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

Е.А.Акулова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГЕОДЕЗИЯ»

для студентов очного и заочного обучения

направления подготовки (специальности)
21.05.04 Горное дело
(уровень специалитета)

Екатеринбург, 2019 г

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВО «УГГУ»)

Рассмотрено методической комиссией
горно-технологического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(Подпись)

Колчина Н. В.
(Фамилия И. О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Е.А.Акулова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГЕОДЕЗИЯ»

для студентов очного и заочного обучения

направления подготовки (специальности)
21.05.04 Горное дело
(уровень специалитета)

Содержание

	Стр.
1.Общие положения …….	**4**
2. Требования к уровню освоения дисциплины «Геодезия»……	**5**
3. Внутренние факторы, способствующие активизации самостоятельной работы	**6**
4. Виды самостоятельной работы …….	**7**
5. Организация СРС…….	**9**
6. Деятельность студентов по формированию и развитию навыков учебной самостоятельной работы……	**19**
7. Требования к учебно-методическому обеспечению самостоятельной работы студентов……	**26**
8. Самостоятельная работа студента - необходимое звено становления исследователя и специалиста…….	**30**
Список используемой литературы……	**32**

1.Общие положения

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. Государственным стандартом предусматривается, как правило, 50% часов из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу студентов (далее СРС). В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Самостоятельная работа студентов - это любая деятельность, связанная с воспитанием мышления будущего профессионала. Любой вид занятий, создающий условия для зарождения самостоятельной мысли, познавательной активности студента связан с самостоятельной работой. В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне её, в контакте с преподавателем и в его отсутствии.

Самостоятельная работа студентов – это средство вовлечения студента в самостоятельную познавательную деятельность, формирующую у него психологическую потребность в систематическом самообразовании.

Сущность самостоятельной работы студентов как специфической педагогической конструкции определяется особенностями поставленных в ней учебно-познавательных задач. Следовательно, самостоятельная работа – это не просто самостоятельная деятельность по усвоению учебного материала, а особая система условий обучения, организуемых преподавателем.

Основные задачи самостоятельной работы:

- развитие и привитие навыков студентам самостоятельной учебной работы и формирование потребностей в самообразовании;

- освоение содержания дисциплины в рамках тем, выносимых на самостоятельное изучение студента;

- осознание, углубление содержания и основных положений курса в ходе конспектирования материала на лекциях, отработки в ходе подготовки к семинарским и практическим занятиям;

- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий, при написании курсовых и дипломной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Активная самостоятельная работа студентов возможна только при наличии серьезной и устойчивой мотивации. Самый сильный мотивирующий фактор - подготовка к дальнейшей эффективной профессиональной деятельности.

2. Требования к уровню освоения дисциплины «Геодезия»

Объектом профессиональной деятельности выпускника по направлению подготовки специалитета по специальности 21.05.04 «Горное дело» являются: недра Земли, включая производственные объекты, оборудование и технические системы их освоения; техника и технологии обеспечения безопасной и эффективной реализации геотехнологий добычи, переработки твердых полезных ископаемых и рационального использования подземного пространства.

Дисциплина «Геодезия» является дисциплиной базовой части Блока 1 «Дисциплины» учебного плана по направлению подготовки 21.05.04 «Горное дело».

Цель дисциплины: формирование научного и практического представления о средствах и методах геодезических работ при топографо-геодезических изысканиях; овладение навыков определения пространственно-геометрического положения объектов, выполнения необходимых геодезических и маркшейдерских измерений, обработки и интерпретации их результатов.

Выпускник по направлению подготовки специалитета по специальности 21.05.04 «Горное дело» в результате изучения дисциплины должен:

Знать:

- содержание, предмет и задачи геодезии;
- современные воззрения на форму и фигуру Земли;
- классификацию карт и планов, системы координат, используемые в геодезии;
- основные требования к составлению картографического материала;

– методики проведений геодезических измерений;

– назначение и классификацию геодезических сетей;

– основные виды инженерно-геодезических работ.

Уметь:

– определять плановое положение точек в геодезической и прямоугольной системах координат, абсолютные и относительные высоты;

– составлять топографический план;

– измерять горизонтальные, вертикальные углы, дальномерные расстояния и превышения;

– решать прямые и обратные геодезические задачи;

– выполнять построение профиля трассы.

Владеть:

– навыками работы с топографо-геодезическими приборами;

– методами обработки результатов измерений.

Для эффективного использования времени, отведенного для самостоятельной работы при подготовке дипломированного специалиста необходимо рационально его использовать, грамотно организовать работу и иметь мотивацию для ее реализации.

3. Внутренние факторы, способствующие активизации самостоятельной работы

Среди них можно выделить следующие:

1. Полезность выполняемой работы. Если студент знает, что результаты его работы будут использованы в лекционном курсе, в методическом пособии, в лабораторном практикуме, при подготовке публикации или иным образом, то отношение к выполнению задания существенно меняется в лучшую сторону и качество выполняемой работы возрастает. При этом важно психологически настроить студента, показать ему, как необходима выполняемая работа.

Другим вариантом использования фактора полезности является активное применение результатов работы в профессиональной подготовке. Так, например, если студент получил задание на дипломную (квалификационную) работу на одном из младших курсов, он может выполнять самостоятельные задания по ряду дисциплин гуманитарного и социально-

экономического, естественно-научного и общепрофессионального циклов дисциплин, которые затем войдут как разделы в его квалификационную работу.

Материальные стимулирующие факторы могут выражаться в надбавках к основной стипендии, номинированные на именные стипендии, участие в конкурсах научно-исследовательских работ, где в качестве приза могут выступать материальные поощрения.

2. Участие студентов в творческой деятельности. Это может быть участие в научно-исследовательской, опытно-конструкторской или методической работе, проводимой на кафедре.

3. Участие в олимпиадах по учебным дисциплинам, конкурсах научно-исследовательских или прикладных работ и т.д.

4. Использование мотивирующих факторов контроля знаний (накопительные оценки, рейтинг, тесты, нестандартные экзаменационные процедуры). Эти факторы при определенных условиях могут вызвать стремление к состязательности, что само по себе является сильным мотивационным фактором самосовершенствования студента.

5. Поощрение студентов за успехи в учебе и творческой деятельности (стипендии, премирование, поощрительные баллы) и санкции за плохую учебу. Например, за работу, сданную раньше срока, можно проставлять повышенную оценку, а в противном случае ее снижать.

6. Индивидуализация заданий, выполняемых как в аудитории, так и вне ее, постоянное их обновление.

7. Мотивационным фактором в интенсивной учебной работе и, в первую очередь, самостоятельной является личность преподавателя. Преподаватель может быть примером для студента как профессионал, как творческая личность. Преподаватель может и должен помочь студенту раскрыть свой творческий потенциал, определить перспективы своего внутреннего роста.

4. Виды самостоятельной работы

В образовательном процессе высшего профессионального образовательного учреждения выделяется два вида самостоятельной работы – аудиторная, под руководством преподавателя, и внеаудиторная. Тесная взаимосвязь этих видов работ предусматривает

дифференциацию и эффективность результатов ее выполнения и зависит от организации, содержания, логики учебного процесса (межпредметных связей, перспективных знаний и др.):

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателей являются:

— формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);

— подготовка к лабораторным работам, их оформление;

— выполнение микроисследований;

— подготовка практических разработок;

— выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;

— выполнение конкретного задания в период прохождения учебной практики;

— компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;

— подготовка докладов и презентаций для конкурсов НИРС и конкурсов профессионального мастерства;

— подготовка к контрольным мероприятиям, таким как текущий контроль знаний в виде проверочных тестов или расчетно-графических работ, зачетов, экзаменов;

Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателей являются:

— текущие консультации;

— прием и разбор домашних заданий (в часы практических занятий);

— прием и защита лабораторных работ (во время проведения л/р);

— выполнение учебно-исследовательской работы (руководство, консультирование и защита УИРС);

— прохождение и оформление результатов практик (руководство и оценка уровня сформированности профессиональных умений и навыков) и др.

5. Организация СРС

Аудиторная самостоятельная работа может реализовываться при проведении практических занятий, семинаров, выполнении лабораторного практикума и во время чтения лекций.

При чтении лекционного курса непосредственно в аудитории контролируется усвоение материала основной массой студентов путем проведения экспресс-опросов по конкретным темам, тестового контроля знаний, опроса студентов и т.д.

На практических и лабораторных занятиях различные виды СРС позволяют сделать процесс обучения более интересным и поднять активность значительной части студентов в группе.

На практических занятиях не менее 1 часа из двух (50% времени) отводится на самостоятельное решение задач. Лабораторные занятия строятся следующим образом:

1. Вводное слово преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены).

2. Беглый опрос.

3. Решение 1-2 типовых задач.

4. Самостоятельное решение задач.

5. Проверка решения задач с обязательной работой над ошибками. Лабораторная или практическая работа считается выполненной при условии отсутствия ошибок.

Для проведения занятий необходимо иметь большой банк заданий и задач для самостоятельного решения, причем эти задания могут быть дифференцированы по степени сложности. В зависимости от дисциплины или от ее раздела можно использовать два пути:

1. Давать определенное количество задач для самостоятельного решения, равных по трудности, а оценку ставить за количество решенных за определенное время задач.

2. Выдавать задания с задачами разной трудности и оценку ставить за трудность решенной задачи.

По результатам самостоятельного решения задач следует выставлять по каждому занятию оценку.

При проведении лабораторных работ и учебных практик студенты могут выполнять СРС как индивидуально, так и малыми группами, каждая из которых разрабатывает свою задачу. Выполненная задача затем рецензируется преподавателем и членами бригады. Публичное обсуждение и защита своего варианта повышают роль СРС и усиливают стремление к ее качественному выполнению. Данная система организации практических занятий позволяет вводить в задачи научно-исследовательские элементы, упрощать или усложнять задания.

Активность работы студентов на обычных практических занятиях может быть усилена введением новой формы СРС, сущность которой состоит в том, что на каждую задачу студент получает свое индивидуальное задание (вариант), при этом условие задачи для всех студентов одинаковое, а исходные данные различны. Перед началом выполнения задачи преподаватель дает лишь общие методические указания (общий порядок решения, точность и единицы измерения определенных величин, имеющиеся справочные материалы и т.п.). Выполнение СРС на занятиях с проверкой результатов преподавателем приучает студентов грамотно и правильно выполнять технические расчеты, пользоваться вычислительными средствами и справочными данными. Изучаемый материал усваивается более глубоко, у студентов меняется отношение к лекциям, так как без понимания теории предмета, без хорошего конспекта трудно рассчитывать на успех в решении задачи. Это улучшает посещаемость как практических, так и лекционных занятий.

Выполнение лабораторного практикума, как и другие виды учебной деятельности, содержит много возможностей применения активных методов обучения и организации СРС на основе индивидуального подхода.

Любая лабораторная работа должна включать глубокую самостоятельную проработку теоретического материала, изучение методик проведения и планирование эксперимента, освоение измерительных средств, обработку и интерпретацию экспериментальных данных. При этом часть работ может не носить обязательный характер, а выполняться в рамках самостоятельной работы по курсу. В ряд работ целесообразно включить разделы с дополнительными элементами научных исследований, которые потребуют углубленной самостоятельной проработки теоретического материала.

Разработка комплекса методического обеспечения учебного процесса является важнейшим условием эффективности самостоятельной работы студентов. К такому комплексу следует отнести тексты лекций, учебные и методические пособия, лабораторные

практикумы, банки заданий и задач, сформулированных на основе реальных данных, банк расчетных, моделирующих, тренажерных программ и программ для самоконтроля, автоматизированные обучающие и контролирующие системы, информационные базы дисциплины или группы родственных дисциплин и другое. Это позволит организовать проблемное обучение, в котором студент является равноправным участником учебного процесса.

Результативность самостоятельной работы студентов во многом определяется наличием активных методов ее контроля. Существуют следующие виды контроля:

- входной контроль знаний и умений студентов при начале изучения очередной дисциплины;

- текущий контроль, то есть регулярное отслеживание уровня усвоения материала на лекциях, практических и лабораторных занятиях;

- промежуточный контроль по окончании изучения раздела или модуля курса;

- самоконтроль, осуществляемый студентом в процессе изучения дисциплины при подготовке к контрольным мероприятиям;

- итоговый контроль по дисциплине в виде зачета или экзамена;

- контроль остаточных знаний и умений спустя определенное время после завершения изучения дисциплины.

В последние годы наряду с традиционными формами контроля - коллоквиумами, зачетами, экзаменами достаточно широко вводятся новые методы, то есть организация самостоятельной работы студентов производится на основе современных образовательных технологий. В качестве такой технологии в современной практике высшего профессионального образования часто рассматривается рейтинговая система обучения, позволяющая студенту и преподавателю выступать в виде субъектов образовательной деятельности, т.е. являться партнерами.

Тестовый контроль знаний и умений студентов, который отличается объективностью, экономит время преподавателя, в значительной мере освобождает его от рутинной работы и позволяет в большей степени сосредоточиться на творческой части преподавания, обладает высокой степенью дифференциации испытуемых по уровню знаний и умений и очень эффективен при реализации рейтинговых систем, дает возможность в значительной мере индивидуализировать процесс обучения путем подбора индивидуальных заданий для

практических занятий, индивидуальной и самостоятельной работы, позволяет прогнозировать темпы и результативность обучения каждого студента.

Тестирование помогает преподавателю выявить структуру знаний студентов и на этой основе переоценить методические подходы к обучению по дисциплине, индивидуализировать процесс обучения. Весьма эффективно использование тестов непосредственно в процессе обучения, при самостоятельной работе студентов. В этом случае студент сам проверяет свои знания. Не ответив сразу на тестовое задание, студент получает подсказку, разъясняющую логику задания и выполняет его второй раз.

Следует отметить и все шире проникающие в учебный процесс автоматизированные обучающие и обучающе-контролирующие системы, которые позволяют студенту самостоятельно изучать ту или иную дисциплину и одновременно контролировать уровень усвоения материала.

Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы.

С первых же сентябрьских дней на студента обрушивается громадный объем информации, которую необходимо усвоить. Нужный материал содержится не только в лекциях (запомнить его – это только малая часть задачи), но и в учебниках, книгах, статьях. Порой возникает необходимость привлекать информационные ресурсы Интернет.

Система вузовского обучения подразумевает значительно большую самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности. Вчерашнему школьнику сделать это бывает весьма непросто: если в школе ежедневный контроль со стороны учителя заставлял постоянно и систематически готовиться к занятиям, то в вузе вопрос об уровне знаний вплотную встает перед студентом только в период сессии. Такая ситуация оборачивается для некоторых соблазном весь семестр посвятить свободному времяпрепровождению («когда будет нужно – выучу!»), а когда приходит пора экзаменов, материала, подлежащего усвоению, оказывается так много, что никакая память не способна с ним справиться в оставшийся промежуток времени.

Работа с книгой.

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой - это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Различают два вида чтения; первичное и вторичное. Первичное - эти внимательное, неторопливое чтение, при котором можно остановиться на трудных местах. После него не должно остаться ни одного непонятного олова. Содержание не всегда может быть понятно после первичного чтения.

Задача вторичного чтения полное усвоение смысла целого (по счету это чтение может быть и не вторым, а третьим или четвертым).

Правила самостоятельной работы с литературой.
Как уже отмечалось, самостоятельная работа с учебниками и книгами (а также самостоятельное теоретическое исследование проблем, обозначенных преподавателем на

лекциях) – это важнейшее условие формирования у себя научного способа познания. Основные советы здесь можно свести к следующим:

• Составить перечень книг, с которыми Вам следует познакомиться; «не старайтесь запомнить все, что вам в ближайшее время не понадобится, – советует студенту и молодому ученому Г. Селье, – запомните только, где это можно отыскать» (Селье, 1987. С. 325).

• Сам такой перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и дипломных работ, а что Вас интересует за рамками официальной учебной деятельности, то есть что может расширить Вашу общую культуру...).

• Обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и дипломных работ это позволит очень сэкономить время).
• Разобраться для себя, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть.

• При составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и научными руководителями (или даже с более подготовленными и эрудированными сокурсниками), которые помогут Вам лучше сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время...

•Естественно, все прочитанные книги, учебники и 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 – Ваша 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 для Вас мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора (это очень хороший совет, позволяющий экономить время и быстро находить «избранные» места в самых разных книгах).

• Если Вы раньше мало работали с научной литературой, то следует выработать в себе способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда Вам понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать), и это может занять немалое время (у кого-то – до нескольких недель и даже месяцев); опыт

показывает, что после этого студент каким-то «чудом» начинает буквально заглатывать книги и чуть ли не видеть «сквозь обложку», стоящая это работа или нет...

• «Либо читайте, либо перелистывайте материал, но не пытайтесь читать быстро... Если текст меня интересует, то чтение, размышление и даже фантазирование по этому поводу сливаются в единый процесс, в то время как вынужденное скорочтение не только не способствует качеству чтения, но и не приносит чувства удовлетворения, которое мы получаем, размышляя о прочитанном», – советует Г. Селье (Селье, 1987. – С. 325-326).

• Есть еще один эффективный способ оптимизировать знакомство с научной литературой – следует увлечься какой-то идеей и все книги просматривать с точки зрения данной идеи. В этом случае студент (или молодой ученый) будет как бы искать аргументы «за» или «против» интересующей его идеи, и одновременно он будет как бы общаться с авторами этих книг по поводу своих идей и размышлений... Проблема лишь в том, как найти «свою» идею...

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько 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.

Выделяют четыре основные установки в чтении научного текста:

- информационно-поисковый (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 научному тексту связано существование и нескольких ***видов чтения***:

1. библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

2. 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;

3. 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;

4. 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;

5. 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 литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках учебной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с научным текстом.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

1. Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

2. Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

3. Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

4. Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

5. 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.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора;

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. 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.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

Выполняя самостоятельную работу под контролем преподавателя

студент должен:

– освоить минимум содержания, выносимый на самостоятельную работу студентов и предложенный преподавателем в соответствии с Государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования (ГОС ВПО/ГОС СПО) по данной дисциплине.

– планировать самостоятельную работу в соответствии с графиком самостоятельной работы, предложенным преподавателем.

– самостоятельную работу студент должен осуществлять в организационных формах, предусмотренных учебным планом и рабочей программой преподавателя.

– выполнять самостоятельную работу и отчитываться по ее результатам в соответствии с графиком представления результатов, видами и сроками отчетности по самостоятельной работе студентов.

студент может:

сверх предложенного преподавателем (при обосновании и согласовании с ним) и минимума обязательного содержания, определяемого ГОС ВПО/ГОС СПО по данной дисциплине:

– самостоятельно определять уровень (глубину) проработки содержания материала;

– предлагать дополнительные темы и вопросы для самостоятельной проработки;

– в рамках общего графика выполнения самостоятельной работы предлагать обоснованный индивидуальный график выполнения и отчетности по результатам самостоятельной работы;

– предлагать свои варианты организационных форм самостоятельной работы;

– использовать для самостоятельной работы методические пособия, учебные пособия, разработки сверх предложенного преподавателем перечня;

– использовать не только контроль, но и самоконтроль результатов самостоятельной работы в соответствии с методами самоконтроля, предложенными преподавателем или выбранными самостоятельно.

Самостоятельная работа студентов должна оказывать важное влияние на формирование личности будущего специалиста, она планируется студентом самостоятельно. Каждый студент самостоятельно определяет режим своей работы и меру труда, затрачиваемого на овладение учебным содержанием по каждой дисциплине. Он выполняет внеаудиторную работу по личному индивидуальному плану, в зависимости от его подготовки, времени и других условий.

6. Деятельность студентов по формированию и развитию навыков учебной самостоятельной работы

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления, саморефлексии и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, их дополнение, рекомендованной литературы, активное участие на практических и семинарских занятиях. Но для успешной учебной деятельности, ее интенсификации, необходимо учитывать следующие субъективные факторы:

1. Знание школьного программного материала, наличие прочной системы зияний, необходимой для усвоения основных вузовских курсов. Это особенно важно для математических дисциплин. Необходимо отличать пробелы в знаниях, затрудняющие усвоение нового материала, от малых способностей. Затратив силы на преодоление этих пробелов, студент обеспечит себе нормальную успеваемость и поверит в свои способности.

2. Наличие умений, навыков умственного труда:

а) умение конспектировать на лекции и при работе с книгой;

б) владение логическими операциями: сравнение, анализ, синтез, обобщение, определение понятий, правила систематизации и классификации.

3. Специфика познавательных психических процессов: внимание, память, речь, наблюдательность, интеллект и мышление. Слабое развитие каждого из них становится серьезным препятствием в учебе.

4. Хорошая работоспособность, которая обеспечивается нормальным физическим состоянием. Ведь серьезное учение - это большой многосторонний и разнообразный труд. Результат обучения оценивается не количеством сообщаемой информации, а качеством ее усвоения, умением ее использовать и развитием у себя способности к дальнейшему самостоятельному образованию.

5. Соответствие избранной деятельности, профессии индивидуальным способностям. Необходимо выработать у себя умение саморегулировать свое эмоциональное состояние и устранять обстоятельства, нарушающие деловой настрой, мешающие намеченной работе.

6. Овладение оптимальным стилем работы, обеспечивающим успех в деятельности. Чередование труда и пауз в работе, периоды отдыха, индивидуально обоснованная норма

продолжительности сна, предпочтение вечерних или утренних занятий, стрессоустойчивость на экзаменах и особенности подготовки к ним,

7. Уровень требований к себе, определяемый сложившейся самооценкой.

Адекватная оценка знаний, достоинств, недостатков - важная составляющая самоорганизации человека, без нее невозможна успешная работа по управлению своим поведением, деятельностью.

Одна из основных особенностей обучения в высшей школе заключается в том, что постоянный внешний контроль заменяется самоконтролем, активная роль в обучении принадлежит уже не столько преподавателю, сколько студенту.

Зная основные методы научной организации умственного труда, можно при наименьших затратах времени, средств и трудовых усилий достичь наилучших результатов.

Эффективность усвоения поступающей информации зависит от работоспособности человека в тот или иной момент его деятельности.

Работоспособность - способность человека к труду с высокой степенью напряженности в течение определенного времени. Различают внутренние и внешние факторы работоспособности.

К внутренним факторам работоспособности относятся интеллектуальные особенности, воля, состояние здоровья.

К внешним:

- организация рабочего места, режим труда и отдыха;
- уровень организации труда - умение получить справку и пользоваться информацией;
- величина умственной нагрузки.

Выдающийся русский физиолог Н. Е. Введенский выделил следующие условия продуктивности умственной деятельности:

- во всякий труд нужно входить постепенно;
- мерность и ритм работы. Разным людям присущ более или менее разный темп работы;
- привычная последовательность и систематичность деятельности;
- правильное чередование труда и отдыха.

Отдых не предполагает обязательного полного бездействия со стороны человека, он может быть достигнут простой переменой дела. В течение дня работоспособность изменяется. Наиболее плодотворным является *утреннее время (с 8 до 14 часов),* причем

максимальная работоспособность приходится на период с 10 до 13 часов, затем *послеобеденное* - (с 16 до 19 часов) и *вечернее* (с 20 до 24 часов). Очень трудный для понимания материал лучше изучать в начале каждого отрезка времени (лучше всего утреннего) после хорошего отдыха. Через 1-1,5 часа нужны перерывы по 10 - 15 мин, через 3 - 4 часа работы отдых должен быть продолжительным - около часа.

Составной частью научной организации умственного труда является овладение техникой умственного труда.

Физически здоровый молодой человек, обладающий хорошей подготовкой и нормальными способностями, должен, будучи студентом, отдавать *учению 9-10 часов в день* (из них 6 часов в вузе и 3 - 4 часа дома). Любой предмет нельзя изучить за несколько дней перед экзаменом. Если студент в году работает систематически, то он быстро все вспомнит, восстановит забытое. Если же подготовка шла аврально, то у студента не будет даже общего представления о предмете, он забудет все сданное.

Следует взять за правило: *учиться ежедневно, начиная с первого дня семестра*.

Время, которым располагает студент для выполнения учебного плана, складывается из двух составляющих: одна из них - это аудиторная работа в вузе по расписанию занятий, другая - внеаудиторная самостоятельная работа. Задания и материалы для самостоятельной работы выдаются во время учебных занятий по расписанию, на этих же занятиях преподаватель осуществляет контроль за самостоятельной работой, а также оказывает помощь студентам по правильной организации работы.

Чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься по 3 - 5 часов ежедневно. Начинать самостоятельные внеаудиторные занятия следует с первых же дней семестра, пропущенные дни будут потеряны безвозвратно, компенсировать их позднее усиленными занятиями без снижения качества работы и ее производительности невозможно. Первые дни семестра очень важны для того, чтобы включиться в работу, установить определенный порядок, равномерный ритм на весь семестр. Ритм в работе - это ежедневные самостоятельные занятия, желательно в одни и те же часы, при целесообразном чередовании занятий с перерывами для отдыха. Вначале для того, чтобы организовать ритмичную работу, требуется сознательное напряжение воли. Как только человек втянулся в работу, принуждение снижается, возникает привычка, работа становится потребностью.

Если порядок в работе и ее ритм установлены правильно, то студент изо дня в день может работать, не снижая своей производительности и не перегружая себя. Правильная смена одного вида работы другим позволяет отдыхать, не прекращая работы.

Таким образом, первая задача организации внеаудиторной самостоятельной работы – это составление расписания, которое должно отражать время занятий, их характер (теоретический курс, практические занятия, графические работы, чтение), перерывы на обед, ужин, отдых, сон, проезд и т.д. Расписание не предопределяет содержания работы, ее содержание неизбежно будет изменяться в течение семестра. Порядок же следует закрепить на весь семестр и приложить все усилия, чтобы поддерживать его неизменным (кроме исправления ошибок в планировании, которые могут возникнуть из-за недооценки объема работы или переоценки своих сил).

При однообразной работе человек утомляется больше, чем при работе разного характера. Однако не всегда целесообразно заниматься многими учебными дисциплинами в один и тот же день, так как при каждом переходе нужно вновь сосредоточить внимание, что может привести к потере времени. Наиболее целесообразно ежедневно работать не более чем над двумя-тремя дисциплинами.

Начиная работу, не нужно стремиться делать вначале самую тяжелую ее часть, надо выбрать что-нибудь среднее по трудности, затем перейти к более трудной работе. И напоследок оставить легкую часть, требующую не столько больших интеллектуальных усилий, сколько определенных моторных действий (черчение, построение графиков и т.п.).

Самостоятельные занятия потребуют интенсивного умственного труда, который необходимо не только правильно организовать, но и стимулировать. При этом очень важно уметь поддерживать устойчивое внимание к изучаемому материалу. Выработка внимания требует значительных волевых усилий. Именно поэтому, если студент замечает, что он часто отвлекается во время самостоятельных занятий, ему надо заставить себя сосредоточиться. Подобную процедуру необходимо проделывать постоянно, так как это является тренировкой внимания. Устойчивое внимание появляется тогда, когда человек относится к делу с интересом.

Следует правильно организовать свои занятия по времени: 50 минут - работа, 5-10 минут - перерыв; после 3 часов работы перерыв - 20-25 минут. Иначе нарастающее утомление повлечет неустойчивость внимания. Очень существенным фактором, влияющим на повышение умственной работоспособности, являются систематические занятия

физической культурой. Организация активного отдыха предусматривает чередование умственной и физической деятельности, что полностью восстанавливает работоспособность человека.

Самопроверка.

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, используя лист опорных сигналов, воспроизвести по памяти определения, выводы формул, формулировки основных положений и доказательств.

В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

Консультации

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удается, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

Подготовка к экзаменам и зачетам.

Изучение многих общепрофессиональных и специальных дисциплин завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

Экзаменационная сессия - это серия экзаменов, установленных учебным планом. Между экзаменами интервал 3-4 дня. Не следует думать, что 3-4 дня достаточно для успешной подготовки к экзаменам.

В эти 3-4 дня нужно систематизировать уже имеющиеся знания. На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. Во-первых, очень важно соблюдение режима дня; сон не менее 8 часов в сутки, занятия заканчиваются не позднее, чем за 2-3 часа до сна. Оптимальное время занятий, особенно по математике - утренние и дневные часы. В перерывах между занятиями рекомендуются прогулки на свежем воздухе, неутомительные занятия спортом. Во-вторых, наличие хороших собственных конспектов лекций. Даже в том случае, если была пропущена какая-либо лекция, необходимо во время ее восстановить (переписать ее на кафедре), обдумать, снять возникшие вопросы для того, чтобы запоминание материала было осознанным. В-третьих, при подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Здесь можно эффективно использовать листы опорных сигналов.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом листы опорных сигналов.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Правила подготовки к зачетам и экзаменам:

• Лучше сразу сориентироваться во всем материале и обязательно расположить весь материал согласно экзаменационным вопросам (или вопросам, обсуждаемым на семинарах), эта работа может занять много времени, но все остальное – это уже технические детали (главное – это ориентировка в материале!).

• Сама подготовка связана не только с «запоминанием». Подготовка также предполагает и переосмысление материала, и даже рассмотрение альтернативных идей.

• Готовить «шпаргалки» полезно, но пользоваться ими рискованно. Главный смысл подготовки «шпаргалок» – это систематизация и оптимизация знаний по данному предмету,

что само по себе прекрасно – это очень сложная и важная для студента работа, более сложная и важная, чем простое поглощение массы учебной информации. Если студент самостоятельно подготовил такие «шпаргалки», то, скорее всего, он и экзамены сдавать будет более уверенно, так как у него уже сформирована общая ориентировка в сложном материале.

• Как это ни парадоксально, но использование «шпаргалок» часто позволяет отвечающему студенту лучше демонстрировать свои познания (точнее – ориентировку в знаниях, что намного важнее знания «запомненного» и «тут же забытого» после сдачи экзамена).

• Сначала студент должен продемонстрировать, что он «усвоил» все, что требуется по программе обучения (или по программе данного преподавателя), и лишь после этого он вправе высказать иные, желательно аргументированные точки зрения.

Правила написания научных текстов:

• Важно разобраться сначала, какова истинная цель Вашего научного текста - это поможет Вам разумно распределить свои силы, время и.

• Важно разобраться, кто будет «читателем» Вашей работы.

• Писать серьезные работы следует тогда, когда есть о чем писать и когда есть настроение поделиться своими рассуждениями.

• Как создать у себя подходящее творческое настроение для работы над научным текстом (как найти «вдохновение»)? Во-первых, должна быть идея, а для этого нужно научиться либо относиться к разным явлениям и фактам несколько критически (своя идея – как иная точка зрения), либо научиться увлекаться какими-то известными идеями, которые нуждаются в доработке (идея – как оптимистическая позиция и направленность на дальнейшее совершенствование уже известного). Во-вторых, важно уметь отвлекаться от окружающей суеты (многие талантливые люди просто «пропадают» в этой суете), для чего важно уметь выделять важнейшие приоритеты в своей учебно-исследовательской деятельности. В-третьих, научиться организовывать свое время, ведь, как известно, свободное (от всяких глупостей) время – важнейшее условие настоящего творчества, для него наконец-то появляется время. Иногда именно на организацию такого времени уходит немалая часть сил и талантов.

• Писать следует ясно и понятно, стараясь основные положения формулировать четко и недвусмысленно (чтобы и самому понятно было), а также стремясь структурировать свой

текст. Каждый раз надо представлять, что ваш текст будет кто-то читать и ему захочется сориентироваться в нем, быстро находить ответы на интересующие вопросы (заодно представьте себя на месте такого человека). Понятно, что работа, написанная «сплошным текстом» (без заголовков, без выделения крупным шрифтом наиболее важным мест и т, п.), у культурного читателя должна вызывать брезгливость и даже жалость к автору (исключения составляют некоторые древние тексты, когда и жанр был иной и к текстам относились иначе, да и самих текстов было гораздо меньше – не то, что в эпоху «информационного взрыва» и соответствующего «информационного мусора»).

• Объем текста и различные оформительские требования во многом зависят от принятых в конкретном учебном заведении порядков.

.

7. Требования к учебно-методическому обеспечению самостоятельной работы студентов

Для нормальной самостоятельной работы студент должен быть обеспечен достаточным количеством учебных пособий разного вида. Чем более разнообразны учебные пособия, тем более успешна будет самостоятельная работа студента, так как каждый может выбрать себе учебное пособие по силам, по склонностям, по материальным возможностям. Должны быть пособия краткие и подробные, с неглубокими и глубокими теоретическими обоснованиями, теоретического и практического содержания. Нужны справочники, конспекты-справочники, учебники. Часть учебных пособий должна находиться в учебной студенческой библиотеке, часть пособий студент должен иметь возможность купить для личного пользования в книжном магазине учебного заведения. Основная часть учебных пособий должна быть в бумажном виде (книги, брошюры, чертежи и т.д.).

Наряду с ними нужно создавать, накапливать в учебных фондах и продавать учебные пособия электронного вида. Этот вид учебных пособий в обозримом будущем не может стать основным и вряд ли когда-нибудь станет. Это – вспомогательные, дополнительные учебные пособия, используемые в основном для заочного, дистанционного образования. Количество учебных пособий в учебном фонде библиотеки должно быть таким, чтобы каждый студент мог получить хотя бы один из рекомендованных учебников.

Многоуровневая система высшего образования должна предоставлять человеку условия для развития его потенциальных возможностей и наиболее полного удовлетворения потребности личности в самореализации. Поэтому на каждом из уровней подготовки самостоятельная работа студентов (СРС) есть обязательное условие, которое должно быть соблюдено для достижения проектируемых результатов обучения. Правильная (психологически и дидактически обоснованная) организация СРС при изучении каждой дисциплины – это один из основных педагогических путей развития и становления творческих качеств личности учащегося на каждом уровне обучения.

Из дидактики следует, что для непрерывного развития учащегося и становления его как творческой личности все элементы содержания образования (знания, умения и навыки, опыт творческой и оценочной деятельности), выделенные в рамках определенной дисциплины, должны быть им усвоены с установкой на перенос и активное использование. Поэтому на первом уровне обучения каждого студента по каждой учебной дисциплине нужно снабдить комплектом учебно-методических материалов, помогающих ему организовывать самостоятельную работу. В такой комплект обязательно должны входить: программа, адаптированная для студента; учебная литература (учебник, задачник, руководство по выполнению лабораторных работ); система заданий для самостоятельной работы студентов; методические указания по организации самостоятельной работы при выполнении заданий по разным видам занятий, включая и курсовые работы (проекты).

На втором и третьем уровнях обучения их следует снабдить методическими указаниями по выполнению выпускной работы, завершающей подготовку специалиста. Программа должна содержать: обоснование необходимости изучения дисциплины, написанное в убеждающей и понятной для студентов форме; четкую формулировку цели изучения и задач, которые должны быть решены для достижения общей цели; последовательность тем и разделов курса дисциплины, обязательных для данного направления подготовки; перечень видов деятельности, которые должен освоить студент, выполняя задания по дисциплине; перечни методологических и предметных знаний, общеобразовательных и специальных умений (с указанием уровня их усвоения), которыми необходимо овладеть в процессе изучения данной дисциплины; сроки и способы текущего, рубежного и итогового контроля уровня усвоения знаний сформированности умений.

Учебная литература по содержанию и последовательности представления материала должна соответствовать программе. Объем, научный уровень и стиль изложения должны

позволять каждому студенту самостоятельно усвоить приведенный в ней материал за время, отведенное на его изучение, и овладеть знаниями, умениями, видами деятельности, перечисленными в программе. Для обеспечения терминологической однозначности в системе знаний, усваиваемых студентом, каждое учебное пособие (или другой вид учебной литературы) должно содержать словарь основных терминов, используемых в нем.

Задания для самостоятельной работы должны быть конкретными. Их содержание, соответствуя программе, должно знакомить студентов с современными методами решения задач данной дисциплины.

Структура заданий должна соответствовать принципу доступности: от известного к неизвестному и от простого к сложному, а трудоемкость – времени, выделенному программой на самостоятельную работу по изучению данной темы. В заданиях следует указывать знания и умения, которыми должен овладеть студент по мере их выполнения. Кроме того, в них нужно включать вопросы для самоконтроля и взаимного контроля, тесты и контрольные вопросы для оценки и самооценки уровня усвоения знаний, сформированности умений.

Методические указания по организации СРС на каждом уровне обучения должны способствовать непрерывному развитию у них рациональных приемов познавательной деятельности в процессе изучения конкретных дисциплин. Основное назначение всех методических указаний – дать возможность каждому студенту перейти от деятельности, выполняемой под руководством преподавателя, к деятельности, организуемой самостоятельно, к полной замене контроля со стороны преподавателя самоконтролем. Поэтому они должны содержать подробное описание рациональных приемов выполнения перечисленных видов деятельности, критериев оценки выполненных работ, а также рекомендации по эффективному использованию консультаций и по работе при подготовке и сдаче экзаменов.

Каждый из названных учебно-методических материалов влияет в большей степени на один из этапов усвоения знаний и видов деятельности, но одновременно способствует осуществлению других этапов и более полной реализации их задач.

Так, программа с четко выделенной целью и перечнем задач, влияющих на ее достижение, определяет мотивационный этап и способствует организации деятельности на всех остальных, указывая последовательность изучаемых разделов, сроки контроля. Учебная литература служит информационной основой, прежде всего для ориентировочного

этапа. В то же время работа с литературой усиливает мотивацию, если изложение материала по уровню сложности соответствует зоне ближайшего развития студента; помогает осуществлению исполнительского и контрольного этапов, если в ней указаны особенности выполнения заданий, даны контрольные вопросы.

Задания для самостоятельной работы организуют исполнительский этап, задавая последовательность видов деятельности, необходимых для усвоения знаний и приобретения умений. Так как задания содержат средства контроля, то они определяют и контрольный этап.

Вопросы и задачи в заданиях требуют от студента не только воспроизведения знаний, но и проявления творчества, формируют и развивают его опыт творческой деятельности. Это расширяет основы мотивации, усиливает и укрепляет ее. В целом содержание и структура заданий, отвечающих перечисленным требованиям, позволяет регулярно занимающимся студентам получать удовлетворение от самостоятельно выполненной работы. Такой эмоциональный фон, в свою очередь, формирует положительное отношение к выполненному делу, а через него – и к изучаемой дисциплине.

Методические указания по организации СРС способствуют грамотному и рациональному осуществлению исполнительского этапа, обеспечивают контрольный этап. Для этого виды деятельности, активно используемые при изучении дисциплины, должны быть подробно описаны в указаниях с выделением последовательности действий и даже операций. В этом случае сами виды деятельности становятся предметом изучения, что дает верное направление ориентировочному этапу и, безусловно, усиливает мотивацию обучения. Работа студентов с такими методическими указаниями позволяет им уже при изучении общенаучных дисциплин усвоить полную и обобщенную ориентировочную основу для каждого из таких видов деятельности, как работа с литературой, проведение эксперимента, решение задач.

Таким образом, создание для каждой учебной дисциплины рассмотренного комплекта учебно-методических материалов обеспечивает обязательные этапы усвоения знаний, видов деятельности, опыта творчества, Снабжение таким комплектом каждого студента – необходимое условие полной реализации в процессе обучения всех возможностей СРС как вида познавательной деятельности, метода и средства учения и преподавания.

8. Самостоятельная работа студента - необходимое звено становления исследователя и специалиста

Прогресс науки и техники, информационных технологий приводит к значительному увеличению научной информации, что предъявляет более высокие требования не только к моральным, нравственным свойствам человека, но и в особенности, постоянно возрастающие требования в области образования – обновление, модернизация общих и профессиональных знаний, умений специалиста.

Всякое образование должно выступать как динамический процесс, присущий человеку и продолжающийся всю его жизнь. Овладение научной мыслью и языком науки является необходимой составляющей в самоорганизации будущего специалиста исследователя. Под этим понимается не столько накопление знаний, сколько овладение научно обоснованными способами их приобретения. В этом, вообще говоря, состоит основная задача вуза.

Специфика вузовского учебного процесса, в организации которого самостоятельной работе студента отводятся все больше места, состоит в том, что он является как будто бы последним и самым адекватным звеном для реализации этой задачи. Ибо во время учебы в вузе происходит выработка стиля, навыков учебной (познавательной) деятельности, рациональный характер которых будет способствовать постоянному обновлению знаний высококвалифицированного выпускника вуза.

Однако до этом пути существуют определенные трудности, в частности, переход студента от синтетического процесса обучения в средней школе, к аналитическому в высшей. Это связано как с новым содержанием обучения (расширение общего образования и углубление профессиональной подготовки), так и с новыми, неизвестными до сих пор формами: обучения (лекции, семинары, лабораторные занятия и т.д.). Студент получает не только знания, предусмотренные программой и учебными пособиями, но он также должен познакомиться со способами приобретения знаний так, чтобы суметь оценить, что мы знаем, откуда мы это знаем и как этого знания мы достигли. Ко всему этому приходят через собственную самостоятельную работу.

Это и потому, что самостоятельно приобретенные знания являются более оперативными, они становятся личной собственностью, а также мотивом поведения, развивают интеллектуальные черты, внимание, наблюдательность, критичность, умение

оценивать. Роль преподавателя в основном заключается в руководстве накопления знаний (по отношению к первокурсникам), а в последующие годы учебы, на старших курсах, в совместном установлении проблем и заботе о самостоятельных поисках студента, а также контролирования за их деятельностью. Отметим, что нельзя ограничиваться только приобретением знаний предусмотренных программой изучаемой дисциплины, надо постоянно углублять полученные знания, сосредотачивая их на какой-нибудь узкой определенной области, соответствующей интересам студента. Углубленное изучение всех предметов, предусмотренных программой, на практике является возможным, и хорошая организация работы позволяет экономить время, что создает условия для глубокого, систематического, заинтересованного изучения самостоятельно выбранной студентом темы.

Конечно, все советы, примеры, рекомендации в этой области, даваемые преподавателем, или определенными публикациями, или другими источниками, не гарантируют никакого успеха без проявления собственной активности в этом деле, т.е. они не дают готовых рецептов, а должны способствовать анализу собственной работы, ее целей, организации в соответствии с индивидуальными особенностями. Учитывая личные возможности, существующие условия жизни и работы, навыки, на основе этих рекомендаций, возможно, выработать индивидуально обоснованную совокупность методов, способов, найти свой стиль или усовершенствовать его, чтобы изучив определенный материал, иметь время оценить его значимость, пригодность и возможности его применения, чтобы, в конечном счете, обеспечить успешность своей учебе с будущей профессиональной деятельности.

Список используемой литературы

1. ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТИ) 21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО (УРОВЕНЬ СПЕЦИАЛИТЕТА)

2. Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной работы./ ГОУ ВПО «Московский государственный гуманитарный университет им. М.А. Шолохова». 2010г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

по дисциплине:

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЕ ДЕЛО

Специальность
21.05.04 Горное дело

все специализации

Автор:[Мухачева Л.В. старший преподаватель, Батанин Ф.К. ассистент]

Одобрены на заседании кафедры

Безопасности горного производства
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Елохин В.А.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 8 от 17.14.2019
(Дата)

Рассмотрено методической комиссией горно-технологического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Колчина Н. В.
(Фамилия И. О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

Оглавление

Тема 1. Становление горноспасательного дела в России 3
Тема 2. Организация и ведение горноспасательных работ..... 25
Тема 3. Тактика ВГСЧ при ликвидации аварий в шахтах 40
Тема 4. Тушение подземных пожаров. 45
Тема 5. Средства индивидуальной защиты горноспасателей. 73
Тема 6. Оживляющая аппаратура на вооружении ВГСЧ..... 168
Тема 7. Аппараты горноспасательной связи 179
Контрольные вопросы 200

Тема 1. Становление горноспасательного дела в России

Возникновение горноспасательного дела в России относится к 1870-1880 годам. С этого времени на угольных шахтах Донбасса начинают создаваться первые добровольные спасательные дружины из наиболее опытных и физически выносливых шахтеров.

Создавали дружины и руководили ими горные инженеры-энтузиасты, работавшие на шахтах. Необходимость создания таких дружин обуславливалась все возрастающим количеством аварий и катастроф, происходящих на шахтах.

Первые вспышки рудничного газа в Донбассе произошли в 1878 году, а затем в начале 1880 года – на Егоринских копях Урала.

В 1888 году Д.И.Менделеев сделал первый анализ газа суфляра из шахты «Капитальная» (Макеевка). В 1890 году профессором Н.Д. Коцовским и академиком Н.С. Курнаковым, обследовавшими шахты Донбасса, было установлено наличие значительное выделение газа, неудовлетворительное проветривание шахт и предложено в качестве меры борьбы с метаном его выжигание.

Несмотря на то, что через полгода после этого обследования, 4 января 1891 года произошел первый крупный взрыв на шахте № 14 Рыковских копий (г.Донецк), в результате которого погибло 55 шахтеров, серьезного внимания на борьбу с рудничным газом обращено не было.

В 1898 году 3 января на шахте «Иван» (Макеевка) произошел взрыв газа, при котором погибло 74 шахтера.

В 1899 году профессор Петербургского горного института И.А. Тимме опубликовал статью «Спасательные артели при каменноугольных рудниках», в которой указывал на несовершенство правил ведения горных работ, и неудовлетворительную организацию работ в области техники безопасности. И.А. Тимме детально изучил состояние техники безопасности и пришел к выводу, что при взрывах гремучего газа или угольной пыли большинство пострадавших умирает вследствие несвоевременного оказания помощи, из-за отсутствия специальных спасательных приборов, позволяющих вести работы в непригодной для дыхания атмосфере.

И.А. Тимме в своих статьях требовал создания на шахтах горноспасательных команд, которые должны проходить специальное обучение и снабжаться необходимыми дыхательными аппаратами.

В начале XX века в русской технической литературе публикуется восемь статей профессора А.А Скочинского, посвященных анализу взрывов гремучего газа и мерам по их предупреждению, пропаганде идей создания горноспасательной службы.

Горным инженером И.О. Кржижановским публикуется две статьи по подземным пожарам: в 1896 году «О подземных пожарах» и в 1903 году «Краткий очерк рудничных пожаров вместе с изложением рациональных систем рудничной противопожарной обороны».

В 1907 году появилась книга профессора А.М. Терпигорева «Рудничные пожары и борьба с ними» – учебник по горноспасательному

делу для студентов Екатеринославского высшего горного училища.

Профессор Б.И. Бокий в 1907 году выступил с докладом собранию Алмазной районной комиссии Совета съезда по вопросу об устройстве и оборудовании спасательных станций.

Впервые вопрос об организации горноспасательной службы в России под давлением общественности был рассмотрен на XXVII съезде горнопромышленников Юга России в 1902 году. Постановлением этого съезда была установлена необходимость организации нескольких спасательных станций на наиболее опасных рудниках Донбасса. Съезд избрал комиссию, которой было поручено собрать данные о борьбе с авариями и об устройстве зарубежных горноспасательных станций. Возглавил комиссию инженер Фрезе, который в течение нескольких лет «изучал» и «собирал» материалы, по каждому поводу тормозя решение этого важного вопроса.

Только в 1907 году XXXII съезд горнопромышленников Юга России принял решение об организации вначале одной спасательной станции на средства съезда и об открытии в дальнейшем семи горноспасательных станций на наиболее опасных шахтах.

Крупные катастрофы на шахтах, одной из которых был взрыв газа на шахте №4 бис в Юзовке в 1907 году, который унес жизнь 273 шахтеров, подтолкнули шахтовладельцев к созданию в 1907 году трех первых спасательных станций: в Макеевке (Донбасс), Кизеле (Урал) и Анжеро-Судженске (Кузбасс).

Первая в России горноспасательная станция начала функционировать с ноября 1907 года в Макеевке. В небольшом здании было размещено наблюдательное помещение, конторка, русская печь и котел для подогрева воды. К станции были подведены железнодорожные пути и телефон. Учебный штрек был устроен в отвале пустой породы шахты «Капитальная». Штат станции состоял из начальника станции – горного инженера, заместителя начальника – штейгера, команды из десяти человек и нескольких разнорабочих.

В первые годы существования Макеевская спасательная станция имела восемь респираторов, два аппарата для производства искусственного дыхания, три транспортных баллона для кислорода и один дожимающий кислородный насос.

Для выезда спасательной дружины на шахты в случае аварии имелись четыре лошади и фургон. Все имеющееся горноспасательное оборудование было иностранным. В России такое оборудование не производилось.

Первым начальником Центральной Макеевской горноспасательной станции был горный инженер Иосиф Иосифович Федорович.

Несмотря на то, что в старой России спасательное оборудование не изготовлялось, русская техническая мысль в области конструирования его не отставала от иностранной, но в ряде вопросов значительно ее опережала.

Горный инженер Д.Г. Левицкий, бывший в течение ряда лет заведующим Макеевской спасательной станцией, еще в 1911 году

сконструировал и изготовил новый по идее респиратор, назвав его «Макеевка», отличавшийся от заграничных резервуарных аппаратов физической регенерацией используемого воздуха. Под влиянием критической статьи Д.Г. Левицкого, опубликованной им в одном английском журнале, германская фирма «Дрегер», специализировавшаяся на горноспасательном оборудовании, переконструировала свой аппарат с учетом замечаний Д.Г. Левицкого.

Для борьбы с огнем русским химиком А.В. Лораном еще в 1904 году впервые был предложен пенообразующий состав. Пена при этом была получена химическим путем в результате взаимодействия кислотного и щелочного растворов в присутствии вяжущего вещества (локрицы), способствующего образованию упругих стенок пузырьков пены. Химическая пена, получаемая с помощью огнетушителей, для тушения очагов пожаров применяется во всем мире до настоящего времени.

Первый противогаз для защиты органов дыхания от ядовитых газов, основанный на адсорбции этих газов, был предложен русским ученым Н.Д.Зелинским. Он стал прототипом для создания самоспасателей для горнорабочих.

Противогаз был создан в 1915 году после того, как на русско-германском фронте в мае 1915 года немцы внезапно произвели газовую атаку против русских войск.

Это изобретение поразило ученых всего мира простотой решения поставленной задачи.

С 1910 года в Макеевской центральной спасательной станции под руководством Дмитрия Гавриловича Левицкого и Николая Николаевича Черницына было положено начало изучения рудничного газа и угольной пыли.

О рудничном газе как о «горючих парах», выделяющихся из рудников Цвикоу (Саксония), впервые упоминается в 1545 году в сочинениях Георгия Агриколы. Сто лет спустя, в 1686 году, английский писатель Роберт Пиот в сочинении «Естественная история Стаффордшира» уже совершенно определенно указывает в числе семи, как он выражается, родов рудничного воздуха гремучий газ.

В начале двадцатого столетия в России мало было известно о свойствах угольной пыли. Работами Д.Г.Левицкого и Н.Н.Черницына, проведенными в 1914-1915 годах, были признаны опасными по взрываемости угольной пыли 24 пласта на шахтах Донбасса.

Н.Н.Черницын, руководивший Макеевской спасательной станцией после Д.Г.Левицкого, был крупным теоретиком и автором исследований в области изучения взрывчатых свойств рудничного газа и угольной пыли. Помимо исследовательских работ Н.Н.Черницын глубоко изучал горноспасательное дело.

В 1914 году печатается его работа «Спасательное дело на рудниках», в которой наряду с описанием и критической оценкой применявшихся в то время аппаратов для горноспасателей опубликован ряд теоретических и

практических соображений по этому вопросу.

Работы, проводимые инженерно-техническим составом станции по безопасности работ на шахтах, определили и ее дальнейшее направление. В 1927

году на ее базе был создан Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ).

В начал девятнадцатого столетия было известно, что гремучий газ взрывается от открытого пламени и что после взрыва в рудничном воздухе некоторое время его не наблюдается. Поэтому меры борьбы с ним сводились к его выжиганию.

«Выжигальщик» надевал кожух и факелом из пакли, навернутой на палку и смоченной в мазуте, поджигал метан, скапливающийся обычно в тупиковом забое. Единственной защитой при этом у «выжигальщика» от возможного взрыва был кожух.

По существовавшим тогда Правилам безопасности надзор шахты должен был привлекаться к ответственности за допущение на работу шахтеров без предварительного выжигания газа в забоях. Такая борьба с газом проводилась обычно между сменами, когда в забоях не было шахтеров.

В 1824 году, спустя сто лет после первого крупного взрыва гремучего газа на шахте возле Ньюкестля, английский инженер Дэви предложил предохранительную лампу для освещения мест работы шахтеров, с помощью которой можно было определять наличие гремучего газа в атмосфере горных выработок.

Впоследствии предохранительная шахтерская лампа была несколько усовершенствована немецким инженером Вольфом и широко применялась в России. Лампа Вольфа послужила прототипом предохранительной бензиновой лампы «Свет шахтера», применявшейся у нас в стране для замера концентраций метана вплоть до 60-х годов XX века.

В 1908 году в Донбассе организуется Мариупольская станция, в 1909 году – Голубовская и Орлово-Еленевская, в 1910 году – Щербиновская, в 1911 – Грушевская и Боково-Хрустальная, в 1912 – Берестовская.

К этому времени во всем Донбассе было 49 спасательных дружин, имеющих 395 респираторов различных систем. При этом число обученных спасательному делу шахтеров- добровольцев было 600 человек.

В 1914 году в Донбассе были организованы Рыковская , Веровская и Екатерининская спасательные станции, а в 1915 году – Чистяковская и Кардовская.

Спасательное дело на шахтах европейских стран было организовано раньше, чем в России. К тому же за рубежом производилось довольно разнообразное горноспасательное оборудование. Однако сама постановка горноспасательного дела была не на много лучше, чем в России. Так, на Международном конгрессе по горноспасательному делу в Вене в 1913 году в одном из докладов, охватывающем данные нескольких европейских стран, были приведены данные: погибло спасателей во время спасательных работ 67 человек, при этом спасено горнорабочих 28 человек.

Одиночки - энтузиасты горноспасательного дела и техники безопасности в России, как И.И. Федорович, Д.Г. Левицкий, Н.Н. Черницын и другие не могли добиться решительного улучшения в этой области.

Именно в результате плохой постановки горноспасательного дела в марте 1917 года при спасательных работах в шахте №1 «Горловка» погиб весь командный состав центральной Макеевской спасательной станции во главе с ее начальником Н.Н. Черницыным.

Примерно так же, как и в Донбассе, развивалось горноспасательное дело и на востоке страны.

Как уже говорилось, первая спасательная станция на востоке России была открыта в1907 году на Анжерских «казенных» копях. Основателем и первым начальником был по совместительству штейгер шахты № 14 Ушаков Анисим Афанасьевич.

В основном спасательная станция состояла из совместителей, именовавшихся «вспомогателями» т.е. работников, которые в свободное, но заранее определенное время, являлись для несения дежурства и учебы в служебное здание спасстанции. Штатным был один инструктор, который и проводил обучение спасателей. На оснащении станции были иностранные респираторы образца 1904-1909 годов и шланговые «Вестфалия». Транспортом станция не располагала, точнее, при станции был фургон с оборудованием с перестановкой на летний и зимний хода в зависимости от времени года, а в случае аварии пожарная команда высылала лошадей, их впрягали в имеющийся фургон и выезжали к месту аварии.

Сбор вспомогателей на аварию осуществлялся сиреной, имеющей зловеще-раздирающие гудки, которые при включении наводили ужас на людей и животных. Как ни странно такой сбор на аварию производился вплоть до 1930 года.

К 1925 году штат станции был доведен до 18 человек с транспортом из 6 лошадей. Начальником горноспасательной станции был назначен Дубинин, а в дальнейшем Безуглый. С этого времени Анжерская горноспасстанция стала носить название «Сибирская Горноспасательная станция», объединяя руководство и организацию горноспасательного дела Кузбасса, Восточной части Сибири и Дальнего Востока.

Началом организации государственной горноспасательной службы России считается 1922 год, когда 6 июля Всероссийским Центральным Исполнительным Комитетом и Советом Народных Комиссаров было принято постановление «О горноспасательном и испытательном деле в РСФСР».

Этим постановлением было положено начало организации профессиональной горноспасательной службы, построенной на принципах централизованного управления.

В 1923 году организуется горноспасательная станция на Щегловском руднике (г.Кемерово), а в 1924 году – в Кольчугине (г. Ленинск-Кузнецкий).

В 1924 году в стране действовало 33 горноспасательных станции, из них: в Донбассе – 22, на Урале – 4, в Кузбассе – 3, в Средней Азии – 2, на Дальнем Востоке – 1 и в Криворожском бассейне – 1.

Эти станции организовывались не только на угольных шахтах, но и на рудниках по добыче железных и полиметаллических руд.

Горноспасательные станции в это время создавались четырех типов: центральные, районные, групповые и рудничные.

18 июня 1927 года организуется профессиональная горноспасательная команда на Прокопьевском руднике.

В 1928 году Правительство принимает решение о создании в Сибирском крае Центральной горноспасательной станции (ЦГСС) в г. Ленинске-Кузнецком – географическом центре будущего индустриального Кузбасса.

Для строительства ЦГСС была отведена большая площадка на северной окраине города, где располагался зеленый пустырь.

Консультацию проекта ЦГСС осуществлял Б.Ф.Гриндлер, прибывший из Донбасса. Горный инженер Болеслав Фридрихович Гриндлер был грамотным по тому времени специалистом горноспасательного дела. Под его руководством в 1932 году было начато строительство новой ЦГСС в г.Ленинске-Кузнецком. Он имел ценный опыт организации оперативных работ при ликвидации аварий. Большое внимание Б.Ф. Гриндлер уделял организации горноспасательной науки. Опубликованные его работы использовались для повышения уровня знаний горноспасателей и работников шахт и рудников. Несмотря на большую загруженность в своем непосредственном деле, в 1932-1934 годах Б.Ф.Гриндлер создает в г. Ленинске-Кузнецком опытную станцию подземной газификации угля на пласте «Журинском». Опыты, проведенные в Кузбассе по подземной газификации угля, были весьма впечатляющими.

Наряду с этим Б.Ф. Гриндлер был крупным организатором-хозяйственником. В 1934 году была сдана в эксплуатацию Сибирская ЦГСС, которая по своим масштабам и техническим возможностям была одной из лучших в России и за рубежом.

Учитывая характер работы горноспасательных команд в непригодной для дыхания атмосфере, особенности профессиональной подготовки спасателей и неукоснительной исполнительности при выполнении приказов, Совет Труда и Обороны, по инициативе секретариата Всесоюзного Центрального Совета Профессиональных Союзов, постановил «…перевести на военизированное положение все горноспасательные станции Союза по типу военизированной охраны промышленных предприятий», а постановлением Совнаркома СССР от 7 января 1934 года № 25 на горноспасателей и членов их семей был распространен порядок государственного обеспечения и льгот, установленный для военизированной охраны.

Центральные станции стали называться инспекциями. Районные горноспасательные станции были реорганизованы в отряды, а групповые и рудничные – в номерные горноспасательные взвода, респираторные команды – в отделения.

Так, в Кузбассе возникли Кемеровский, Анжерский, Прокопьевский и

Особый Ленинский отряды.

Личному составу спасательных станций была определена военная форменная одежда, которой он обеспечивался бесплатно.

Старшему командному составу было выдано личное оружие.

Кроме этого, личному составу вменялось в обязанность изучать и уметь пользоваться стрелковым оружием.

С января 1934 года ЦГСС в г. Ленинске-Кузнецком стала называться Инспекцией ВГСЧ Сибири и Дальнего Востока.

В 1934 году организуется Араличевский горноспасательный взвод (г. Новокузнецк).

Военизация личного состава ВГСЧ и реорганизация горноспасательных станций, укомплектование штатов молодыми инженерами дали возможность устранить отставание горноспасательного дела от темпов развития угольной промышленности.

Особый Ленинский отряд к этому времени помимо конного выезда имел оперативные автомобили ГАЗ-АА, два железнодорожных пассажирских вагона, один почтовый вагон с горноспасательной аппаратурой, один товарный с противопожарным оборудованием и две автодрезины. Железнодорожный состав вагонов предназначался для выезда горноспасателей на помощь при крупных авариях другим отрядам Сибири и Дальнего Востока.

Для подготовки младшего и среднего командного состава при Особом Ленинском отряде были организованы два учебных взвода, личный состав которых, помимо учебы, принимал участие в ликвидации аварий на шахтах.

Первыми командирами этих взводов были Николай Ермолаевич Кивлев и пришедший в ВГСЧ в 1934 году молодой горный инженер Алексей Никифорович Белопол, впоследствии ставший начальником ВГСЧ Кузбасса.

Большая роль в создании новой структуры управления горноспасательными станциями принадлежит горному инженеру Евсею Ефимовичу Шубу, который в течение многих лет, начиная с 1934 года, плодотворно трудился в должности в должности начальника горноспасательного отдела УПВО и ВСЧ Наркомтяжпрома СССР.

С военизацией в ВГСЧ вводится «Дисциплинарный устав», «Устав внутренней службы ВГСЧ», Положение о вещевом довольствии личного состава ВГСЧ», «Инструкция по организации и ведению горноспасательных работ» и другие документы, регламентирующие деятельность ВГСЧ. Организуется регулярный выпуск «Сборника трудов и материалов по горноспасательному делу», в котором сотрудничают видные деятели горноспасательного дела: Б.Ф. Гриндлер, С.К. Трапезников, Б.Н. Левенец, Е.Е. Шуб и другие.

Большое внимание в это время уделялось горноспасательному делу академиком Александром Александровичем Скочинским.

Задача Инспекции ВГСЧ Сибири и Дальнего Востока состояла в том, чтобы создать на Востоке страны горноспасательные подразделения, способные оказать практическую помощь горноспасательным станциям,

готовить кадры младшего и среднего комсостава, содействовать оснащению подразделений новой горноспасательной, поставить горноспасательное дело на научную основу.

В 1932 году при районных спасательных станциях городов Анжеро-Судженска, Прокопьевска и Ленинска-Кузнецкого были организованы специальные лаборатории. Тематикой этих лабораторий предусматривалось изучение явлений окисляемости углей и определение степени самовозгораемости мощных пластов Кузбасса. Работы этих лабораторий координировались работниками химической части, которая была организована при ЦГСС.

В 1933 году при районных горноспасательных станциях Сибири и Даль-

него Востока были организованы специальные психотехнические, физиологические и эргометрические лаборатории, которые проверяли состояние здоровья поступающих в ВГСЧ и в последствии постоянно следили за ним. Руководил научно-исследовательской работой Б.Ф.Гриндлер.

В 1934 году все лаборатории, в том числе и специальные, объединяются в научно-исследовательский отдел при инспекции Сибири и Дальнего Востока. Руководителем научно - исследовательского отдела был назначен доцент Московского горного института Б.Н.Левенец.

В научно-исследовательском отделе были организованы так же горноспасательная лаборатория, чертежно-конструкторское бюро, музей и библиотека.

В 1935 году научно-исследовательский отдел был переименован в научно-исследовательскую лабораторию. Основным направлением в тематике НИЛ продолжала оставаться разработка способов определения самовозгорания угля.

Научно-исследовательские отделы были созданы также при Инспекциях ВГСЧ Донбасса, Урала, Башкирии и Караганды, впоследствии они были переименованы в научно-исследовательские лаборатории (НИЛ ВГСЧ).

Основной тематикой исследований этих отделов и лабораторий была разработка технических требований к респираторам многочасового действия, исследования тепловых импульсов, возникающих в шахтах, и воздействие их на горючие материалы (НИЛ ВГСЧ Донбасса); разработка методов и средств борьбы с эндогенными пожарами в условиях шахт Кузбасса, Караганды и Урала (НИЛы ВГСЧ Кузбасса и ВГСЧ Урала); разработка требований к газоаналитической аппаратуре, исследование особенностей труда горноспасателей (НИЛ ВГСЧ Кузбасса). Работа проводилась и по определению поглотительных свойств известковых поглотителей углекислого газа (НИЛ ВГСЧ Донбасса).

В этот период НИЛами были разработаны тактико-технические требования на ряд газоаналитических приборов, на фильтрующие самоспасатели для рабочих шахт и рудников, осуществлены исследования различных сорбентов для дыхательных аппаратов, начаты разработки по

созданию изолирующих самоспасателей на химически связанном кислороде.

Для совершенствования горноспасательного дела требовались учебные пособия по всем вопросам и в первую очередь по тактике борьбы с авариями. Имевшийся небольшой опыт по этому вопросу также нигде не был зафиксирован.

Первыми учебными пособиями по тактике ВГСЧ были «Боевой устав ВГСЧ», написанный коллективом авторов, написанная Г.Г. Соболевым и Я.М. Мещеряковым книга «Тактика ВГСЧ при ведении горноспасательных работ в шахтах» (1958 г.) и написанная книга Г.Г. Соболевым «Организация горноспасательных работ в шахтах» (1952 г.).

Нерешенной проблемой оставалось обеспечение ВГСЧ горноспасательной аппаратурой и оборудованием, т.к. ВГСЧ были оснащены в основном аппаратурой фирмы «Дрегерверк-АГ» моделей 1924 года.

С 1931 года было положено начало производству отечественных кислородных респираторов (РКР-1 и КИП-3), разработанных группой конструкторов под руководством А.И.Гармаша.

В 1948 году конструкторами Александром Родионовичем Ковшовым и Николаем Николаевичем Кузьменко были созданы новые отечественные респираторы РКК-2 (четырехчасового действия) и РКК-1 (двухчасового действия). Это были самые легкие аппараты данного типа в мировой практике. Эти респираторы выпускались серийно почти 20 лет и ими были оснащены все ВГСЧ угольной промышленности страны.

Созданные впоследствии респираторы «Донбасс-2», «Луганск-2» и «Кузбасс-4» были сняты с оснащения как не отвечающие предъявленным к ним требованиям.

К началу шестидесятых годов к серийному выпуску был допущен респиратор Р-12, а позднее Р-12м, Р-30, Р-34 и Р-35. Таким образом, горноспасатели получили отечественные самые легкие и наиболее совершенные в мире респираторы.

В 1968 году на базе научно-исследовательских лабораторий ВГСЧ Донбасса и ВГСЧ Кузбасса в г. Донецке был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт горноспасательного дела (ВНИИГД) и после развала СССР в 1991 году создается Российский научно-исследовательский институт горноспасательного дела (РосНИИГД).

В предвоенные годы по мере образования отраслевых наркоматов (позднее министерств) в составе каждого из них создавалось управление ВГСЧ. При совнархозах горноспасательные части были разрознены и управлялись децентрализовано, территориально. Во всех угольных бассейнах создаются горноспасательные отряды, руководство которыми осуществляют 4 региональных штаба: ВГСЧ Донбасса, ВГСЧ Урала, Башкирии и Карагандинского бассейна, ВГСЧ Сибири и Дальнего Востока, ВГСЧ Средней Азии и ВГСЧ Закавказья.

При ВГСЧ Донбасса и ВГСЧ Кузбасса создаются механические мастерские по ремонту и выпуску горноспасательной технике, реорганизованные в дальнейшем в заводы соответствующего профиля.

С 1943 года горноспасательную службу в угольной промышленности возглавил видный специалист горноспасательного дела Георгий Георгиевич Соболев. Почти 40 лет он бессменно руководил Управлением горноспасательной отраслью. Под его непосредственным руководством разрабатывались научные основы горноспасательного дела, создавались аппаратура и оборудование для ведения горноспасательных работ, совершенствовались методы и средства предупреждения и ликвидации аварий.

В 1965 году горноспасательные части перешли в отраслевое управление: в составе министерства угольной промышленности СССР было создано Управление ВГСЧ, в 1974 году переименованное во Всесоюзное Управление ВГСЧ.

В 1988 году ВУ ВГСЧ было расформировано и прямое централизованное руководство горноспасательными частями было заменено на нормативно-методическое.

В 1991 году создается Центральный штаб ВГСЧ угольной промышленности Минтопэнерго РФ, который руководит всеми направлениями деятельности горноспасательных частей. Структура, статус и функциональные обязанности

ВГСЧ определены постановлением Правительства РФ от 25 июня 1992

года № 432.

С 1997 года ликвидируются штабы ВГСЧ областей и бассейнов, происходит реструктуризация ВГСЧ, сокращение части взводов и укрупнение горноспасательных отрядов, которые стали называться отдельными.

С этого времени в угольной промышленности функционируют девять горноспасательных отрядов: отряд быстрого реагирования г. Новомосковск, ОВГСО Печорского бассейна, ОВГСО Ростовской области, ОВГСО Урала, Кемеровский ОВГСО, Прокопьевский ОВГСО, Новокузнецкий ОВГСО, ОВГСО Дальнего Востока и Сахалинский ОВГСО.

В 2002 году Центральный штаб ВГСЧ стал именоваться Федеральным Государственным Унитарным Предприятием.

В свое время Всесоюзным Управлением руководили Георгий Георгиевич Соболев и Михаил Николаевич Судиловский. В настоящее время горноспасательную службу угольной промышленности России возглавляет Владимир Алексеевич Горбатов.

Начальниками ВГСЧ Кузбасса были: Гаврилов, Мокрушин, Н.Ф. Чухонцев, И.М. Олейников, А.Н. Белопол, А.К. Кремнев, Л.В. Кухаренко.

Кроме Донбасса и Кузбасса, горноспасательная служба в других регионах России также постепенно зарождалась и развивалась.

Горноспасательная служба Подмосковного угольного бассейна началась в 1930 году, когда была открыта первая Бобриковская районная горноспасательная станция в г. Донском.

На Дону первая центральная спасательная станция Грушевская начала

работать с ноября 1911 года.

Первая горноспасательная команда в Воркуте была создана в мае 1937 года, что положило начало горноспасательной службе Печорского угольного бассейна.

Горноспасательная служба Урала началась с создания в 1911 году первой групповой горноспасательной станции на Кизеловских шахтах.

Организация горноспасательной службы на Дальнем Востоке связана с созданием в 1913 году первой спасательной артели на шахте № 2 Сучанских каменноугольных копей.

В феврале 1932 года на севере о. Сахалин был организован первый горноспасательный пункт на шахте «Октябрьская», положивший начало горноспасательной службе Сахалина.

Такова коротенько история организации и развития горноспасательного дела в России.

Организация горноспасательной службы.

В соответствии с законами Российской Федерации «О недрах» от 03.03.95 г. № 27-Ф36, «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» от 22.08.95 г. № 151-Ф3, постановлением Правительства Российской Федерации

«О военизированных горноспасательных частях угольной промышленности Министерства топлива и энергетики Российской Федерации» от 25.06.92 г. № 432 и «Правилами безопасности в угольных шахтах», военизированные горноспасательные части угольной промышленности являются государственными специализированными организациями, призванными осуществлять горноспасательное обслуживание подземных горных работ.

Главными задачами ВГСЧ являются:

выполнение экстренных и неотложных мер по спасению и эвакуации застигнутых аварией людей и оказание травмированным медицинской помощи;

локализация и ликвидация аварий, в том числе тушение подземных пожаров и ликвидация последствий взрывов метана и угольной пыли, внезапных выбросов угля и газа, загазирований, обрушений и затоплений (водой, глинистой пульпой и др.) горных выработок;

осуществление на обслуживаемых объектах профилактического контроля за готовностью шахт к ликвидации аварий и выполнение технических работ (разгазирование горных выработок и др.) неаварийного характера, требующих защиты органов дыхания и применения специального снаряжения;

участие в работах, вытекающих из задач системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях.

В соответствии с возложенными задачами ВГСЧ дополнительно осуществляют:

научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по

проблемам горноспасательного дела и противоаварийной защиты шахт;

производство, ремонт и техническое обслуживание изолирующих дыхательных аппаратов, контрольных приборов, средств аварийной связи и борьбы с подземными пожарами, а также другие виды специального оборудования;

Развитие социальной сферы для личного состава.

Военизированные горноспасательные части угольной промышленности Министерства энергетики РФ возглавляет ФГУП «ЦШ ВГСЧ», в структуру которой входят оперативные подразделения: отдельные военизированные горноспасательные отряды (ОВГСО), отдельные военизированные горноспасательные взводы (ОВГСВ), военизированные горноспасательные взводы (ВГСВ), пункты (ВГСП), а также службы обеспечения: реанимационно-противошоковые группы (РПГ), газоаналитические лаборатории (ГАЛ), группы воздушно-депрессионных съемок (ДГС), цеха и мастерские по производству и ремонту горноспасательного оснащения, заводы, Российский научно-исследовательский институт горноспасательного дела и др.

Отдельный военизированный горноспасательный отряд состоит из трех и более взводов и обеспечивает выполнение на обслуживаемых объектах всего комплекса горноспасательных, профилактических и других инженерно-технических работ. ОВГСО способен самостоятельно ликвидировать сложную

или длительно действующую аварию в шахте, требующую применения мощных средств и многосменной работы горноспасательных отделений.

Горноспасательный отряд может иметь в своем составе реанимационно-противошоковые группы, газоаналитические лаборатории, механические мастерские, учебные взводы, службу воздушно-депрессионных съемок, водолазную службу и другие инженерные подразделения.

Военизированный горноспасательный взвод создается для обслуживания нескольких шахт и дислоцируется от каждой на расстоянии не далее 20 км, если они отнесены к первой степени по аварийной опасности; не далее 40 км, если они отнесены ко второй степени опасности и не далее 60 км, если они третьей степени аварийной опасности.

Взвод является оперативным подразделением ВГСЧ, способным выполнять горноспасательные работы в пределах лавы, тупикового забоя и других объектов. В его состав могут входить РПГ и ГАЛ.

В случае аварии на обслуживаемом объекте взвод обеспечивает немедленный выезд не менее двух отделений, а также вызов дополнительного количества отделений, РПГ, ГАЛ, ДГС из других взводов и отрядов, для чего взвод должен состоять не менее чем из пяти горноспасательных отделений.

Наиболее крупный, имеющий мощное техническое оснащение, горноспасательный взвод называется оперативным, остальным взводам отряда присваивается порядковый номер.

В том случае, если взвод находится на значительном расстоянии от ОВГСО и обслуживает шахты обособленного района, он может называться отдельным горноспасательным взводом и наделяться необходимыми правами юридического лица.

Военизированный горноспасательный пункт создается для обслуживания одного удаленно расположенного предприятия, состоит из двух-трех отделений, выполняет горноспасательные работы в первоначальный период совместно с членами вспомогательной горноспасательной службы обслуживаемого объекта и обеспечивает выезд одного отделения.

Горноспасательное отделение является первичной оперативной единицей ВГСЧ, способной оказать помощь пострадавшему и выполнить отдельное задание по ликвидации аварии, а в ряде случаев и ликвидировать ее. Для выполнения этих функций отделение должно состоять не менее чем из шести человек (четыре респираторщика, командир отделения и шофер оперативного автобуса). В непригодную для дыхания атмосферу отделение должно направляться в составе не менее пяти человек.

Горноспасательный пункт, взвод и отряд должны иметь прямую телефонную и радиосвязь с диспетчером обслуживаемого предприятия для беспрепятственного вызова по сигналу «Тревога». Взводы должны иметь устройства немедленного оповещения личного состава по сигналу «Тревога», а также надежную телефонную или радиосвязь с горноспасательным отрядом и между собой для оповещения о возникшей аварии и вызова дополнительных отделений.

Структура оперативных подразделений ВГСЧ для обслуживания конкретной группы шахт, количество оперативных отделений и служб в каждом подразделении, их размещение определяется дислокацией ВГСЧ.

Дислокация ВГСЧ – это наиболее целесообразное и экономически оправданное размещение подразделений ВГСЧ в угольном районе, бассейне или в масштабе отрасли промышленности. Дислокация разрабатывается командиром ОВГСО совместно с руководством угольных компаний (самостоятельных предприятий) и территориальных органов горнотехнического надзора на срок не более трех лет, согласовывается с руководством ФУГП «Центральный штаб ВГСЧ» и утверждается Минэнерго России и Госгортехнадзором России.

Дислокация ОВГСО определяется в зависимости от взрыво - пожароопасности обслуживаемых шахт, специфики и трудоемкости ликвидации возможных аварий, а также с учетом количества шахт в районе, их производственной мощности, горнотехнических условий и удаленности от действующих в данном регионе подразделений ВГСЧ.

Порядок выезда на аварию горноспасательных подразделений ОВГСО, перечень специального оснащения по роду аварии определяется диспозицией выездов ОВГСО.

Диспозиция выездов ОВГСО – это заранее разработанный план взаимопомощи подразделений отряда при возникновении аварии на

обслуживаемых объектах. Диспозиция разрабатывается в ОВГСО и утверждается его командиром. Она предусматривает порядок и количество выезжающих на ликвидацию различного рода аварий оперативных отделений, вспомогательных служб и специальных технических средств борьбы с авариями со всех взводов отряда.

Выезд подразделений ВГСЧ на ликвидацию аварий на объектах, обслуживаемых различными ОВГСО, определяется межотрядной диспозицией, утверждаемой руководством ФГУП «Центральный штаб ВГСЧ».

Для ликвидации аварий подразделение ВГСЧ (отряд, взвод) должно иметь следующее табельное оснащение:

- аппараты защиты органов дыхания (респираторы) для выполнения работ в непригодной для дыхания атмосфере;
- приборы искусственной вентиляции легких и средства для оказания первой медицинской помощи пострадавшим и эвакуации их на поверхность;
- приборы для экспресс-определения состава шахтного воздуха и других параметров аварийной ситуации;
- средства связи и сигнализации для управления работами на аварийном участке, в том числе и в непригодной для дыхания атмосфере;
- оборудование и технические средства для ликвидации аварий в обслуживаемом регионе;
- транспортные средства для выезда отделений и командного состава ВГСЧ и доставки их табельного оснащения на объект аварии.

Табельное оснащение и приборы ВГСЧ должны находиться в состоянии постоянной готовности к применению в условиях обслуживаемых предприятий и систематически модернизироваться и обновляться.

Личный состав горноспасательных частей военизирован.

Военизация обуславливает:

- единоначалие при проведении операций по спасению людей и ликвидации аварий и обеспечении профессиональной готовности к выполнению этих операций;
- допустимость риска в ходе спасения людей;
- воинскую дисциплину и ответственность за исполнение служебного долга;
- привлечение на дежурство или аварийные работы в выходные дни;
- ношение форменной одежды при исполнении должностных обязанностей.

Прием на службу работников ВГСЧ осуществляется по срочному трудовому договору (контракту). Договор заключается сроком на два года, а в районах Крайнего Севера – на три года.

Личный состав ВГСЧ комплектуется из числа квалифицированных рабочих и специалистов обслуживаемых объектов.

Должности респираторщиков укомплектовываются из числа горнорабочих очистного забоя, проходчиков, машинистов горных выемочных машин, горнорабочих по ремонту горных выработок, взрывников

(подземных), достигших 20-летнего возраста, имеющих подземный стаж работы не менее одного года и пригодных по состоянию здоровья, физическим и психофизиологическим возможностям к работе в газозащитном дыхательном аппарате.

Допускается прием на должности респираторщика выпускников горных училищ и техникумов, достигших 20-летнего возраста.

Должности младшего командного состава, связанные с необходимостью работать в газозащитных аппаратах, комплектуются горными техниками или окончившими специальные учебные заведения ВГСЧ, а также опытными респираторщиками, имеющими стаж оперативной работы в ВГСЧ не менее двух лет.

Должности командно-начальствующего состава и специалистов средней группы, связанные с работой в газозащитных аппаратах, комплектуются, как правило, горными инженерами или техниками. Назначаемые на должность помощника командира взвода по оперативной или медицинской работе должны иметь высшее или среднее специальное техническое или медицинское образование и стаж оперативной работы в ВГСЧ не менее одного года.

Реанимационно-противошоковые группы ВГСЧ комплектуются врачами, имеющими специальности анастезиолога-реаниматолога, хирурга-травмато-лога, терапевта, со стажем работы по специальности не менее двух лет и прошедшими специальную подготовку при ВГСЧ для работы в подземных условиях с использованием газозащитных аппаратах.

Должности оперативного командного состава старшей и высшей группы комплектуются, как правило, из горных инженеров, прослуживших в ВГСЧ не менее двух лет.

Предельный возраст службы на должности респираторщика, командира от-

деления, командира взвода или отряда и их помощников, обязанных работать в загазированной атмосфере в дыхательных аппаратах, не может превышать 50 лет. Комплектование этой категории работников производится специалистами, имеющими возраст не более 40 лет.

Под несением службы в ВГСЧ понимается такой порядок (регламент) исполнения военизированным составом своих трудовых функций, который обеспечивает оперативность выезда на аварию и эффективность горноспасательных работ в шахте.

Несение службы в подразделении в межаварийный период определяется графиком несения службы и специальной подготовки, диспозицией выездов подразделения на аварии, расписанием занятий и специальной подготовки, текущими планами работ и другими нормативно-распорядительными документами.

График несения службы и специальной подготовки личного состава составляется для обеспечения готовности подразделения и предусматривает очередность дежурства лиц рядового и командного состава в режиме постоянной готовности к выезду, продолжительность и порядок

использования их рабочего времени и времени отдыха.

График несения службы разрабатывается с учетом количества отделений в подразделении, расположения и аварийной опасности обслуживаемых объектов и должен обеспечивать выезд требуемого количества отделений на объект аварии в установленное нормативное время.

График несения службы специальной подготовки личного состава утверждается руководством ФУГП «Центральный штаб военизированных горноспасательных частей».

Для взвода из пяти (десяти) отделений график несения службы предусматривает следующий режим работы: дежурный, резервный, свободный, выходной, выходной.

Военизированный состав, осуществляющий свою деятельность в режиме круглосуточной готовности к выезду, приступает к исполнению своих обязанностей с приема дежурства в подразделении. При этом устанавливается готовность заступающего на дежурство личного состава к выезду по сигналу «тревога», наличие и исправность аварийной связи с обслуживаемыми объектами, технического оснащения и оперативного автотранспорта, чистота и порядок в помещениях и на территории подразделения, исправность аварийной сигнализации и оповещения.

Для совершенствования профессионального мастерства и натренированности разрабатывается расписание занятий по специальной подготовке.

Расписание занятий устанавливает: количество лиц рядового и командного состава, привлекаемых для ведения занятий, тренировок и учебных работ; время, место и тему занятий и тренировок; лиц, ответственных за проведение занятий и работ. В расписании занятий предусматривается упражнения в газозащитных аппаратах в обслуживаемых и учебных шахтах, тепловые и физические тренировки, тактические занятия, практическое изучение оснащения, новостей горноспасательного и горного дела, изучение планов ликвидации аварий

и горных выработок обслуживаемых объектов, проверка горноспасательного оснащения.

Обязанностью каждого работника ВГСЧ является поддержание высокого уровня своей квалификации и специальных знаний, профессиональной, физической и тепловой натренированности, готовности максимально использовать свое мастерство в аварийной обстановке.

На период ликвидации аварии, при необходимости, в подразделении вводится особый режим работы и отдыха, определяемый приказом командира ОВГСО, исходя из имеющихся сил и средств.

Вспомогательная горноспасательнаяслужба на шахтах.

В соответствии с Федеральным законом РФ «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» № 153-ФЗ и «Правилами безопасности в угольных шахтах» на действующих, строящихся, реконструируемых и погашаемых предприятиях угольной промышленности

должна быть организована и функционировать вспомогательная горноспасательная служба (ВГС).

Вспомогательная горноспасательная служба создается для выполнения работ по спасению людей и локализации аварий в начальный период их возникновения, оказания содействия ВГСЧ.

ВГС состоит на балансе шахты и является нештатным аварийно - спасательным формированием, включаемым в дислокацию ВГСЧ.

Главными задачами ВГС являются:

- спасение людей, застигнутых аварией в шахте, оказание первой медицинской помощи пострадавшим и их эвакуация с аварийного участка;
- ликвидация пожаров и других подземных аварий в начале их возникновения;
- участие совместно с ВГСЧ в работе по ликвидации подземных аварий и их последствий, а также в технических работах, требующих применения респираторов;
- повышение противоаварийной подготовленности шахт.

ВГС осуществляет следующие функции:

- обеспечивает ежесменное присутствие на рабочих местах в шахте установленного числа членов ВГС и привлечение их к выполнению аварийно – спасательных работ;
- осуществляет сбор и привлечение к горноспасательным работам членов ВГС в их свободное от работы время;
- обеспечивает наличие подземных пунктов ВГС с комплектом оснащения, постоянно готовым к применению в аварийных условиях;
- осуществляет подбор и подготовку членов ВГС к выполнению возложенных на них задач;
- обеспечивает дежурство членов ВГС при ведении огневых работ в подземных выработках и надшахтных зданиях;
- выполняет работы по профилактике аварий и улучшению подготовленности шахт к их ликвидации и спасению людей с требованиями «Правил безопасности в угольных шахтах».

Работу ВГС возглавляет первый руководитель угольного предприятия (начальник ВГС). ВГС включает в себя участковые горноспасательные команды (УГК), которые организуются на эксплуатационных и подготовительных участках, участках конвейерного и электровозного транспорта, вентиляции и дегазации, в энергомеханической службе и др. Руководство УГК осуществляется начальниками участков (начальники УГК).

Численность и расстановка членов ВГС определяется из расчета наличия двух членов ВГС в смену в очистном забое, одного члена ВГС – в подготовительном забое (протяженностью 500 м и более) и на участках конвейерного транспорта. Расстановка членов ВГС

должна обеспечивать прибытие к месту аварии со стороны свежей струи воздуха не менее двух человек с респираторами и другим оснащением не более чем через 30 минут с момента получения задания.

Для осуществления повседневной деятельности ВГС приказом по

шахте назначается старшее должностное лицо (подземной группы) с высшим или средним техническим горным образованием, имеющее стаж работы в подземных условиях не менее двух лет, пригодное к работе в изолирующем респираторе, имеющее опыт оперативной работы в ВГСЧ или прошедшее специальную подготовку в региональном учебном центре ВГСЧ по программе специалиста в должности командира взвода.

Для организации и проведения плановых проверок, ремонта и технического обслуживания горноспасательной аппаратуры и оборудования, используемого членами ВГС на авариях и тренировках, участия в процессе переподготовки членов ВГС на шахте вводится должность механика ВГС. На эту должность назначается специалист со среднетехническим горным образованием, пригодный к работе в изолирующем респираторе, имеющий опыт оперативной работы в ВГСЧ или прошедший специальную подготовку в учебном центре ВГСЧ.

Для проверки и ремонта горноспасательного оснащения, обеспечения исправного их содержания, замены респираторов в подземных пунктах ВГС на шахте вводится должность подземный слесарь ВГС.

Комплектование ВГС осуществляется на добровольной (контрактной) основе из числа квалифицированных горнорабочих ведущих горных специальностей (ГРОЗ, проходчик, машинист горно-выемочных машин, электрослесарь и др.) и инженерно-технических работников в возрасте от 21 до 50 лет, имеющих подземный стаж работы не менее 2 лет, пригодных по состоянию здоровья к работе в газозащитных респираторах и обученных горноспасательному делу.

На членов ВГС и их семьи распространяются все виды и нормы социальной защиты и льготы, предусмотренные Федеральным Законом «Об аварийно спасательных службах и статусе спасателей», а также все льготы и компенсационные выплаты, предусмотренные для работников ВГСЧ.

Вся деятельность ВГС регламентируется «Положением о вспомогательной горноспасательной службе на предприятиях по добыче угля».

Оперативные действия ВГС при возникновении аварий в шахте должны быть предусмотрены планом ликвидации аварий и до прибытия ВГСЧ должны быть направлены на спасение людей и ликвидацию аварии в начальный период ее возникновения.

Горный диспетчер шахты, получив сообщение об аварии, обязан выдать по телефону предусмотренные в плане ликвидации аварий задания членам ВГС аварийного и смежных с ним участков и способствовать их эффективным действиям в зоне аварии до прибытия ВГСЧ.

Руководство действиями членов ВГС в зоне аварии до прибытия ВГСЧ осуществляет сменный инженерно-технический работник участка или шахты. При отсутствии инженерно-технического работника члены ВГС участка, на котором произошла авария, в начальный период должны действовать самостоятельно, направляя свои усилия на спасение людей и ликвидацию аварии.

Если члены ВГС в момент возникновения пожара, взрыва, внезапного выброса угля или газа оказались за очагом, они обязаны:

включиться в респиратор или самоспасатель и выводить людей из аварийного участка по маршруту, предусмотренному планом ликвидации аварий шахты;

в случае обнаружения людей, потерявших сознание, принять меры по включению их в самоспасатели, выносу пострадавших на свежую струю воздуха и оказанию им первой помощи;

сообщить горному диспетчеру шахты об аварии, местонахождении рабочих участка и действовать по его указанию или указанию ответственного руководителя работ по ликвидации аварии.

Члены ВГС аварийного участка, находящиеся на свежей струе до очага пожара, взрыва, внезапного выброса, обязаны:

- лично или через посыльного сообщить об аварии горному диспетчеру;
- при пожаре немедленно приступить к его тушению первичными средствами и водой, привлекая к этому находящихся поблизости горняков;
- при пожаре в тупиковой выработке – включиться в респираторы, организовать вывод людей на свежую струю воздуха, обеспечить нормальную работу вентилятора местного проветривания и тушить пожар имеющимися средствами;
- при взрыве – включиться в респираторы или изолирующий самоспасатель и следовать к месту аварии для вывода пострадавших на свежую струю воздуха и ликвидации возможных очагов горения;
- при внезапном выбросе угля и газа – включиться в респиратор или изолирующий самоспасатель, оказать необходимую помощь пострада-вшим, используя для этого пункты группового хранения самоспасателей и резервные изолирующие самоспасатели.

Члены ВГС смежных с аварийным участков согласно плану ликвидацииаварий направляются ответственным руководителем по ликвидации аварии кратчайшим путем по свежей струе воздуха для оказания помощи членам ВГС аварийного участка.

По прибытию к месту работы отделений ВГСЧ члены ВГС информируют старшего командира об обстановке и состоянии работ и поступают в его распоряжение. В ходе дальнейшей ликвидации аварии члены ВГС могут привлекаться в составе отделений ВГСЧ для выполнения работ в загазированной среде по доставке аварийных материалов, управлению механизмами, монтажу и демонтажу оборудования, возведения изоляционных сооружений, отбору проб возду- ха и др. При этом численный состав ВГС не должен превышать двух человек на отделение ВГСЧ.

Оперативные действия ВГС организуются в соответствии с «Планом ликвидации аварий», «Уставом ВГСЧ по организации и ведению горноспасательных работ на предприятиях угольной и сланцевой промышленности», «Правилами безопасности в угольных шахтах» и «Положением о ВГС на предприятиях по добыче угля».

Техническим оснащением ВГС укомплектовывается согласно «Табелю

технического оснащения ВГС шахты», который разрабатывается применительно к специфике местных условий в соответствии с «Типовым табелем» (см. приложение) и утверждается первым руководителем шахты.

В поверхностном помещении ВГС размещается дыхательная и оживляющая аппаратура, горноспасательное оборудование, приборы контроля, необходимые для проверки, перезарядки и технического обслуживания дыхательных аппаратов, выполнения горноспасательных работ членами ВГС.

На подземных пунктах ВГС респираторы содержатся в контейнерах, окрашенных в красный цвет с отличительным знаком ВГС и опломбированных в присутствии начальника участка. Подземные пункты ВГС должны быть освещены и оборудованы телефонным аппаратом.

Места расположения подземных пунктов определяются первым техническим руководителем шахты с командиром ВГСЧ при составлении плана ликвидации аварий и устанавливаются:

в очистных забоях:

а) пологих и наклонных – по одному на забой в начале воздухоподающей выработки лавы;

б) крутого падения – по одному на забой у передовой воздухоподающей печи на откаточном штреке.

в подготовительных выработках:

а) протяженностью от 200 до 500 метров – по одному вблизи забоя;

б) в подготовительных выработках протяженностью более 500 метров – по два (один – вблизи от ее устья, в прилегающей к ней выработке, со стороны свежей струи воздуха, другой – у забоя).

в конвейерных выработках:по одному в начале движения воздушной струи.

Для шахт, удаленных от подразделений ВГСЧ более 15 км, а также находящихся в сложных климатических условиях, кроме указанных подземных пунктов ВГС, создаются центральные подземные пункты ВГС.

ВГС должна размещаться в специально оборудованных служебных помещениях, которые должны обеспечивать возможность:

- проведения учебных занятий с членами ВГС;
- проведение проверок и ремонта кислородно-дыхательной аппаратуры и оборудования;
- хранения рабочих и запасных респираторов, запчастей к ним и другого минимального оснащения ВГСЧ;
- мойки, сушки и переоснащения респираторов;
- проведения практических занятий по приемам тушения горящей крепи, конвейерных лент, электрооборудования, угля, масел и других горючих материалов, имеющихся в шахте, различными средствами пожаротушения (водой, пенными и порошковыми огнетушителями и т.д.);
- проведения упражнений в дыхательных аппаратах и обучения приемам и действиям по спасению людей в задымленной атмосфере;
- выполнения физических и тепловых тренировок для повышения

физической выносливости и тепловой устойчивости членов ВГС.

Принятые в члены ВГС рабочие и ИТР должны пройти первичную подготовку по 32-х часовой программе обучения, с последующей сдачей экзаменов.Для поддержания боеготовности члены ВГС должны один раз в полугодие проходить переподготовку по программе повторного обучения, включающую 2-х часовую тренировку в респираторе и 6 часов теоретических и практических занятий по горноспасательному делу.

Типовой табель
технического оснащения ВГС

№	Наименование оснащения	Количество		
		на подземном пункте	на центр.подз. пункте	на поверхности
1	Респираторы, шт. 4-х часового действия 2-х часового действия	 - 2	 5 -	 10 10
2	Аппараты ИВЛ, шт.	-	-	1
3	Носилки медициские,шт.	1	1	-
4	Индпакет, шт.	4	4	-
5	Шины медицинские,ком.	1	2	-
6	Настойка йода, мл	10	10	-
7	Жгут эластичный, шт.	1	2	-
8	Рукава пожарные 66 мм,м	40	100	100
9	Ствол пожарный, шт.	1	2	5
10	Разветвление РТ-70, шт.	-	1	1
11	Рукавные головки, компл.	-	2	2
12	Огнетушители порошк.шт.	2	5	5
13	Пики пожарные, компл.	-	1	3
14	Сумка ком. отделения,ком.	-	1	1
15	Горный инструмент,комп.	-	1	2
16	Спецодежда шахт. компл.	-	-	10-20
17	Компрессор кислородн.шт.	-	-	1
18	Весы ВНЦ компл.	-	-	1
19	Индикатор ИР, шт.	-	-	1
20	Транспортные баллоны с кислородом, шт.	-	-	6
21	Контрольный прибор типа УКП, шт.	-	-	1
22	ХПИ, кг.	-	-	160

23	Наглядные пособия, учебники, плакаты и стенды для обучения чл. ВГС, ком.	-	-	1

Тема 2. Организация и ведение горноспасательных работ

Сбор и выезд по сигналу «Тревога».

Получив первое сообщение об аварии, горный диспетчер шахты немедленно вводит в действие план ликвидации аварий и вызывает на шахту подразделения ВГСЧ.

Дежурный у телефона подразделения ВГСЧ, получив сообщение от горного диспетчера об аварии, немедленно включает сигнал «Тревога» и другие средства быстрого оповещения личного состава и заполняет под копирку путевку на выезд. Один экземпляр путевки вручается командиру дежурного отделения, а другой – остается у дежурного. Респираторщики, командиры и водители дежурных, резервных и свободных смен в отведенное нормативом время направляются в оперативный гараж, садятся в оперативные автобусы и по команде старшего командира выезжают на шахту.

Отделение, выезжающее первым, должно иметь путевку на выезд, план ликвидации аварии соответствующей шахты и комплект высокочастотной (радио) связи.

Введение в действие диспозиции выездов, а также порядок передачи в другие подразделения, штаб отряда и Центральный Штаб ВГСЧ информации о выезде отделений на аварию определяется командиром ОВГСО.

При движении отделений на аварийный объект старший командир обязан поддерживать непрерывную связь с дежурным ВГСЧ, а при вынужденных остановках в пути обязан сообщить о случившемся и принять необходимые меры для прибытия на аварийный объект.

Прибыв на объект аварии, старший командир и командиры отделений направляются на командный пункт по ликвидации аварии (КП) за получением задания, а личный состав прибывших отделений подготавливает необходимое по роду аварии оснащение к спуску в шахту. Командир отделения, прибывший на шахту первым, оставляет на КП командный аппарат высокочастотной (радио) связи.

На КП ответственный руководитель ликвидации аварии (горный диспетчер или главный инженер шахты) объясняет командирам аварийную обстановку на момент их прибытия и ставит перед ВГСЧ основную задачу (в письменной форме). В соответствии с этой задачей старший из прибывших командиров ВГСЧ становится руководителем горноспасательных работ и выдает задания командирам отделений на спуск в шахту, после чего принимает меры по обеспечению связи с ушедшими в шахту отделениями.

Отделениям ВГСЧ на КП кроме письменного задания выдаются микросхемы горных выработок шахты.

Командир отделения, получив задание на КП, разъясняет респираторщикам аварийную обстановку и содержание оперативного задания, определяет порядок следования к месту аварии и действия в шахте, дает команду взять дополнительное оснащение, необходимое для выполнения задания, и немедленно приступает к его исполнению.

Для быстрого сосредоточения подразделений ВГСЧ на объекте аварии и оперативного управления горноспасательными работами должны быть организованы следующие виды связи и оповещения:

- диспетчера шахты с дежурным у телефона подразделения ВГСЧ, обслуживающего данную шахту;
- между подразделениями ВГСЧ, вызываемыми на шахту по диспозиции выездов;
- ответственного руководителя ликвидации аварии с местами ведения горноспасательных работ и основными службами шахты;
- руководителя горноспасательных работ с отделениями в шахте, подземными и наземными базами, газоаналитической лабораторией и пунктами медицинского обеспечения, с подразделениями ВГСЧ, обслуживающими шахты данного района;
- отделений ВГСЧ, работающих в загазированной среде, с подземными базами и руководителем горноспасательных работ;
- между респираторщиками отделения во время работы в загазированной атмосфере, спуска и подъема транспортными средствами по вертикальным и наклонным выработкам;
- между отдельными местами работ пи одновременном закрытии проемов в изолирующих перемычках, запуске генератора инертных газов и других работах, требующих согласованных действий.

Для вызова ВГСЧ на аварию шахта обязана обеспечить с обслуживающим ее подразделением ВГСЧ прямую телефонную или радио связь.

Оперативные автобусы отделения, спецавтотранспорт для доставки аварийных материалов и оборудования, а также автомобили для выезда комсостава и специалистов ВГСЧ должны быть оборудованы радиосвязью с дежурным у телефона подразделения.

Каждое отделение ВГСЧ должно иметь переносные средства связи, позволяющие передавать на подземную базу или КП информацию об аварийной обстановке и ходе работ.

На протяжении всего времени, пока ведутся работы по ликвидации аварии, должна действовать постоянная проводная и беспроводная связь между КП и работающими в шахте отделениями. Ее организует и обеспечивает исправность действия ответственный руководитель ликвидации аварии. Связь с подземной базой и отделениями ВГСЧ, ведущими работы в загазированной среде, организует руководитель горноспасательных работ.

Связь при ликвидации аварии организуется сверху вниз – от руководителя горноспасательных работ к работающим отделениям. Средствами связи являются: световая и звуковая сигнализация, шахтные телефоны, горноспасательная проводная и высокочастотная связь, радиосвязь и др.

В непригодной для дыхания атмосфере звуковая сигнализация осуществляется по следующему коду:

- один сигнал – «Стоп» (в движении) или «Прекрати работу»;

- два сигнала – «Назад»;
- три сигнала – «Вперед» или «Продолжай работу»;
- четыре сигнала – «Уходи от опасности»;
- пять сигналов – «Помоги в работе»;
- многократные сигналы – «Плохо себя чувствую», «Несчастье, помогите».

При механическом спуске и подъеме по вертикальным и наклонным выработкам применяются следующие сигналы:

- один сигнал – «Стоп»;
- два сигнала – «Вверх»;
- три сигнала – «Вниз».

Если проложенная линия связи нарушилась, то обнаруживший это командир или респираторщик обязан наладить ее своими силами, не ожидая распоряжения руководителя горноспасательных работ.

Отменять дежурство у средств связи и переносить средства связи на новое место допускается с разрешения руководителя горноспасательных работ.

Организация аварийно-спасательных работ.

Ответственным руководителем работ по ликвидации аварии является главный инженер шахты или лицо его замещающее. До прибытия ответственного руководителя его функции выполняет горный диспетчер шахты.

В первоначальный момент ликвидации аварии руководителем горноспасательных работ является командир обслуживающего шахту взвода или его помощник по оперативно-технической работе. Прибывший на шахту командир горноспасательного отряда или его заместитель (помощник) по оперативно-технической работе после ознакомления с аварийной обстановкой и оценки осуществляемых мер принимает решение о руководстве горноспасательными работами (берет руководство на себя или оставляет руководить командира взвода).

Если в ликвидации аварии участвуют два горноспасательных взвода и более, а также отделения одного взвода, когда ведутся работы по спасению людей, руководство горноспасательными работами обязан принять командир ОВГСО или его заместитель (помощник) по оперативно-технической работе.

При ведении аварийно-спасательных работ должен быть организован командный пункт в соответствии с «Положением об организации и деятельности командного пункта при ликвидации аварий на предприятиях угольной промышленности Российской Федерации».

Командный пункт (КП) является органом оперативного управления службами шахты, подразделениями ВГСЧ и другими организациями, которые принимают участие в спасении людей и ликвидации аварии.

КП возглавляет ответственный руководитель ликвидации аварии. В состав КП в обязательном порядке входят руководитель горноспасательных работ и специалисты, осуществляющие ведение оперативной документации и

поддержание связи с местами выполнения горноспасательных работ. В состав КП могут входить также посыльные (курьеры) и машинистка.

КП размещается в кабинете главного инженера шахты или другом помещении АБК шахты. До прибытия на шахту главного инженера или лица его замещающего КП размещается на рабочем месте горного диспетчера шахты.

Запрещается нахождение на КП лиц, не связанных с ликвидацией аварии.

Основная задача КП заключается в организации работ по спасению застигнутых аварией людей, ликвидации аварии и ее последствий и в руководстве этими работами.

Для выполнения этих задач КП выполняет следующие функции:

- определяет количество и местонахождения аварией людей, организует их спасение и оказание им первой медицинской помощи;
- организует работы по ликвидации аварии и ее последствий, разведку и сбор информации о развитии аварии;
- разрабатывает оперативные планы спасения людей и ликвидации аварии;
- организует горноспасательные работы в шахте в соответствии с оперативными планами и контролирует выполнение оперативных заданий;
- организует постоянный контроль за развитием аварии в шахте, состоянием горных выработок, газовым и температурным режимом на аварийном и угрожаемых участках шахты;
- анализирует сведения о развитии аварии и эффективности применяемых мер и на этой основе принимает решение о дальнейшем ведении горноспасательных работ;
- создает безопасные условия ведения аварийно-спасательных работ;
- организует бесперебойное функционирование вспомогательных служб по ликвидации аварии;
- разрабатывает безопасный режим работы отдельных участков и шахты в целом на период ведения горноспасательных работ.

При организации аварийно-спасательных работ КП создаются следующие специальные службы:

- служба связи, которая должна обеспечить оперативное управление с КП аварийно-спасательными работами и наличие телефонной связи со всеми службами шахты и ВГСЧ;
- группа воздушно-депрессионной съемки должна обеспечивать анализ устойчивости принятого режима проветривания аварийного участка и разработку соответствующих мер, предотвращающих самопроизвольное опрокидывание вентиляционной струи;
- аварийная газоаналитическая лаборатория осуществляет оперативный контроль за состоянием шахтного воздуха и ведение графика изменений состава шахтного воздуха и его температуры;
- наземная база обеспечивает концентрацию резерва горношахтного и горноспасательного оборудования и специальных материалов, необходимых

для ликвидации аварии;

- подземная база, на которой размещаются резервные отделения ВГСЧ, технические средства, оборудование и материалы, а также средства связи с отделениями, ведущими работы в загазированной среде, и КП;
- медицинская служба обеспечивает оказание врачебной помощи людям, пострадавшим в результате аварии или в ходе ведения аварийно-спасательных работ;
- служба главного механика организует аварийное водоснабжение пожарного участка, осуществляет изготовление различных приспособлений и технических устройств для выполнения аварийных работ;
- служба инженерного обеспечения организации горноспасательных работ разрабатывает графики работ отделений и командиров ВГСЧ, планирует объем горноспасательных работ, производит необходимые инженерные расчеты и т.д.

Во время ликвидации аварии на КП ведется следующая документация:

- оперативный журнал по ликвидации аварии шахты и ВГСЧ;
- оперативные планы ликвидации аварии;
- журнал учета работы отделений ВГСЧ по ликвидации аварии;
- графики дежурства ИТР шахты;
- суточные графики работы подразделений и комсостава ВГСЧ;
- таблицы, графики и другие документы по ликвидации аварии.

В первоначальный момент возникновения аварии аварийно-спасательные работы руководителем ликвидации аварии организуются по плану ликвидации аварий, одновременно уточняется количество не выехавших из шахты людей, их состояние и места нахождения, режим проветривания, зоны загазирования и обстановка на аварийном участке.

Решения ответственного руководителя ликвидации аварии и руководителя горноспасательных работ, направленные на спасение людей и ликвидацию аварии, являются обязательными для всех лиц и организаций, участвующих в ликвидации аварии.

В случае разногласия между ответственным руководителем ликвидации аварии и руководителем горноспасательных работ обязательным к выполнению является решение первого, если оно не противоречит требованиям Устава. В противном случае оно не выполняется, и особое мнение руководителя горноспасательных работ записывается в оперативном журнале.

Если мероприятия плана и не дали положительных результатов или в ходе их реализации становится ясно, что принимаемых мер недостаточно, а также в случае изменения аварийной обстановки, ответственный руководитель ликвидации аварии и руководитель горноспасательными работами обязаны обеспечить разработку оперативного плана ликвидации аварии. После реализации его мероприятий или при новом изменении обстановки в ходе его выполнения составляется второй оперативный план и т.д. до окончания аварийно-спасательных работ.

В оперативных планах предусматриваются способы, средства и силы

ВГСЧ и шахты, необходимые для дальнейшей борьбы с аварией, а также аварийная обстановка и прогноз развития аварии, дата и время принятия оперативного плана, меры безопасности, исполнители и сроки выполнения предусматриваемых работ.

Оперативный план подписывается ответственным руководителем ликвидации аварии и руководителем горноспасательных работ и утверждению не подлежит.

Горноспасательные работы по тушению пожаров и ликвидации последствий взрывов в выработках, в которых содержание в поступающих и исходящих вентиляционных струях, слоевых и местных скоплениях метана составляет 2% и более, не допускаются.

Если в горной выработке обнаружена опасная концентрация сернистого газа (0,5%) или токсических веществ, высокая температура (40ºС и более) или имеются иные осложнения, представляющие угрозу жизни и здоровью работающих, горноспасательные работы в этой выработке, не связанные со спасением людей, допускаются только после осуществления необходимых мер безопасности и жизнеобеспечения.

Командир ВГСЧ, выдавая задания и распоряжения отделениям и исполнителям, имеет право допускать риск и отступления от Устава ВГСЧ лишь в том случае, когда проводимое мероприятие осуществляется исключительно в целях спасения людей.

Для согласования взаимодействия личного состава отделения при ведении горноспасательных работ каждому респираторщику присваивается порядковый номер (1,2,3 и 4) и определяются его обязанности при подготовке к спуску в шахту, движении по маршруту и действиям в загазированной атмосфере.

В зависимости от вида аварии и содержания задания отделение берет с собой оснащение согласно «Табелю минимального оснащения ОВГСО».

Передвижение отделения по горным выработкам производится в следующем порядке:

- при следовании на аварию ведущим является командир отделения или старший командир, возглавляющий отделение;
- при возвращении с места работы возглавляющий его командир следует последним.

При следовании к месту работ старший командир обязан систематически информировать КП об обстановке по маршруту движения и о своем местонахождении. При следовании в задымленной атмосфере по маршруту со сложной сетью выработок необходимо оставлять в местах их разветвления условные знаки, указывающие направление движения отделения.

При выполнении горноспасательных или технических работ запрещается спуск в шахту респираторщиков и командиров без респираторов.

В выработках со свежим воздухом снимать респиратор допускается с разрешения руководителя горноспасательных работ. При этом респиратор

должен находиться на месте работ, рядом с исполнителем не далее 10 м.

При авариях, сопровождающихся загазированием горных выработок, первое отделение должно следовать кратчайшим путем в выработки с исходящей с аварийного участка струей воздуха навстречу выходящим людям для оказания им помощи, а второе – по выработкам с поступающей струей воздуха для ликвидации аварии.

Место включения отделения в респираторы (перед зоной загазирования) устанавливает руководитель горноспасательных работ. При отсутствии достаточной информации о границах зоны загазирования и состоянии проветривания выработок аварийного участка место включения в респираторы определяет старший командир по результатам экспресс-анализа состава шахтной атмосферы на месте.

Перед включением в респираторы производится их беглая проверка. На месте включения в респираторы оставляется световой сигнал (жетон, лампа с красным светом и др.). При заходе в загазированную атмосферу отделением определяется состав шахтной атмосферы и температура. На видном месте записываются: номер отделения и фамилия командира, дата и время ухода в загазированную среду, содержание замеренных газов и температура воздуха.

Отделению, выполняющему работы в загазированной атмосфере, выставляется резервное отделение. Оно размещается в выработке со свежей струей воздуха непосредственно у загазированной зоны (на подземной базе).

Командир резервного отделения по прибытии на подземную базу обязан немедленно организовать:

- непрерывную связь подземной базы с работающим отделением и передачу информации на КП об обстановке в загазированной атмосфере и о действиях отделения;
- контроль за изменением температуры и состава исходящей из аварийной выработки воздуха;
- готовность личного состава резервного отделения к экстренному уходу в загазированную атмосферу на помощь работающим;
- определение состава атмосферы на подземной базе.

Если по истечении срока, рассчитанного для выполнения работы в загазированной атмосфере или в зоне высокой температуры, работающее отделение не возвратилось на подземную базу либо по неизвестной причине прекратилась с ним связь, резервное отделение обязано направиться в загазированные выработки навстречу работающему отделению, доложив об обстановке на КП.

Если место работы в загазированной атмосфере находится вблизи выработки со свежей струей воздуха (время выхода 2-3 минуты, а при наличии задымленности не далее 5-10 м от свежей струи) и выполнение работ отделением в полном составе невозможно или нецелесообразно, допускается направление в загазированную атмосферу группы из 2-3 человек. Остальной состав отделения находится в резерве, поддерживая с работающими непрерывную связь. При этом группа исполнителей должна иметь при себе аппарат связи и вспомогательный респиратор.

При работах в загазированных выработках производится следующий упрощенный расчет кислорода:

- в баллоне респиратора резервируется на непредвиденные случайности 50 ат кислорода;
- рабочий запас кислорода в баллоне респиратора (150 ат) расходуется следующим образом:
- при движении по горизонтальным и наклонным (до 10 градусов) выработкам, а также вверх по наклонным (более 10º), крутым и вертикальным выработкам – половину рабочего запаса кислорода на движение вперед и половину – на возвращение;
- при движении вниз по наклонным (более 10º), крутым и вертикальным выработкам – одну треть на движение вперед и две трети – на возвращение.

Если отделение направляется в загазированные выработки для спасения людей, в баллоне респиратора оставляется резерв 20 ат.

Время прекращения работы или движения по маршруту объявляет командир отделения по манометру респираторщика, у которого расход кислорода максимален.

Если на пути следования отделения в загазированной атмосфере встретился непроходимый завал, оно должно определить состав рудничной атмосферы у завала и температуру воздуха, отобрать пробу воздуха, доложить обстановку на подземную базу или руководителю горноспасательных работ и возвратиться на базу.

Если в загазированной атмосфере кто-либо из личного состава потерял сознание или почувствовал себя плохо, отделение должно оказать ему помощь (переключить во вспомогательный респиратор и др.), отобрать пробу воздуха, сообщить о случившемся на подземную базу и немедленно в полном составе эвакуировать пострадавшего на базу или в ближайшую выработку со свежей струей воздуха.

Отделение должно возвратиться на базу в полном составе и в том случае, в респираторе одного из респираторщиков обнаружена неисправность. При этом респираторщик должен быть переключен во вспомогательный респиратор.

Если самостоятельно не могут выходить два респираторщика и более, о случившемся немедленно сообщается на подземную базу (резервному отделению) и пострадавшие эвакуируются на свежую струю. Если эвакуировать одновременно обоих пострадавших невозможно, отделение должно оставаться возле пострадавших и оказывать им помощь до прихода резервного отделения.

Если запас кислорода у оставшихся респираторщиков не позволяет ждать резервное отделение или последнее отсутствует, они должны эвакуировать на свежую струю в первую очередь пострадавшего с признаками жизни.

При выполнении работ в загазированной атмосфере на значительном удалении от свежей струи (500 м и более), а также в тупиковых выработках длиной более 500 м все работающие должны обеспечиваться запасными

баллонами с кислородом, регенеративными патронами с ХПИ или химически связанным кислородом (при применении респираторов такого типа). По пути движения к месту работы в выработках с загазированной атмосферой необходимо развешивать на видных местах вспомогательные респираторы. Замена баллонов и патронов в респираторе на запасные осуществляется в пригодной для дыхания атмосфере (в горноспасательной бокс-базе).

После выполнения задания в загазированной атмосфере отделение должно возвратиться на подземную базу в полном составе по ранее пройденному маршруту (если маршрут возвращения не был определен при выдаче оперативного задания). Исключением могут быть случаи, когда этот путь прегражден завалом, пожаром, высокой температурой и т.д., когда иной маршрут возвращения был определен при выдаче задания или изменен руководителем горноспасательных работ в ходе выполнения задания.

Отправка отделений ВГСЧ с шахты в свои подразделения после завершения горноспасательных работ производится по письменному разрешению ответственного руководителя ликвидации аварии.

По прибытии в подразделение респираторщики и командиры немедленно приводят в готовность к выезду по «Тревоге» респираторы и оснащение, а водители – оперативные автомобили.

Разведка и спасение людей.

Разведка горных выработок аварийного участка производится для обнаружения и спасения застигнутых аварией людей и может быть организована для выяснения обстановки, состояния выработок и их проветривания, выбора места возведения перемычек и т.п.

Личный состав отделения, идущего в разведку, должен знать основную задачу разведки и порядок ее выполнения, а также:

место возникновения и вид аварии, возможные направления ее распространения;

установленный вентиляционный режим, газовую обстановку на аварийном участке и ее прогноз;

количество застигнутых аварией людей и вероятные места их нахождения, места расположения подземной базы и резервных отделений.

В разведку могут посылаться как одно из первых прибывших отделений, так и последующие отделения в любое время ведения горноспасательных работ, если этого требует обстановка. Целесообразно посылать в разведку отделения, хорошо знающие шахту.

Разведка в целях поиска испасения людей

При разведке задымленных выработок отделение должно располагаться диагонально к оси выработки, соединившись канатиками (соединительными шнурами), чтобы не пропустить пострадавшего. Командир отделения должен идти впереди, обстукивая щупом кровлю выработки и пространство вокруг себя и по той стороне выработки, где могут встретиться печи, скаты и другие наклонные и вертикальные выработки. При

этом должна осуществляться связь между отделением, направленным в разведку, и КП.

Отделение, обнаружившее пострадавшего в загазированной среде, обязано оказать ему первую медицинскую помощь, включить в самоспасатель или респиратор и эвакуировать в выработку со свежей струей воздуха. На месте обнаружения пострадавшего отбирается проба воздуха, определяется его состав газоопределителями и оставляется опознавательный жетон. Дубликат жетона прикрепляется на кисть пострадавшего.

Эвакуация людей из загазированной атмосферы производится кратчайшим путем на свежую струю. В первую очередь из загазированных выработок эвакуируются пострадавшие с признаками жизни и передаются медицинскому персоналу.

Отделение, вынесшее пострадавшего из загазированной выработки на свежую струю воздуха, оказывает ему первую медицинскую помощь или передает его резервному отделению и докладывает на КП о результатах разведки. После этого оно обязано продолжить выполнение задания.

При спасении людей, застигнутых внезапным выбросом угля и газа, необходимо:

- установить местонахождение и количество застигнутых аварией людей, их состояние;
- организовать интенсивную подачу им свежего воздуха, в том числе по пневмопроводам и т.п.;
- определить способ подхода к ним и немедленно приступить к выполнению работ по быстрейшему достижению их местонахождения и оказанию им первой помощи.

При спасении людей, застигнутых обрушением пород, прорывом глинистой пульпы и плывунов, затоплением выработок, кроме вышеуказанного следует поддерживать с застигнутыми аварией людьми постоянную связь перестукиванием или другим способом и по имеющимся трубопроводам, скважинам или по старым выработкам обеспечить их средствами защиты, питанием, теплой одеждой и др.

При движении отделения по разрушенным и заваленным выработкам необходимо использовать все возможные способы для быстрейшего подхода к людям. Во время движения респираторщики отделения должны рассредоточиться на расстояние 3-5 метров друг от друга, а в опасных местах возводить временную крепь.

При обнаружении пострадавшего, пораженного электрическим током, необходимо, прежде всего, прекратить действие тока на него, после чего оказать первую медицинскую помощь.

Разведка для выяснения обстановки

Разведка и обследование выработок аварийного участка для выяснения обстановки, выбора места возведения изолирующих перемычек и т.п. организуется в целях определения более эффективных или безопасных мер по ликвидации аварии. Разведка организуется руководителем

горноспасательных работ в соответствии с оперативным планом ликвидации аварии и не предусматривает спасательных работ.

Организуя разведку для выяснения обстановки, руководитель горноспасательных работ обязан выполнить ориентировочный расчет расстояния, которое может преодолеть отделение при обследовании выработок, и определить давление кислорода, при котором отделение должно возвратиться на подземную базу.

Кроме того, руководитель горноспасательных работ обязан:

- ставить перед исполнителями разведки выполнимые задачи, обеспечить их всем необходимым для выполнения заданий и соблюдения мер безопасности личного состава;
- подробно информировать исполнителей о предполагаемой обстановке в зоне аварии на момент исполнения разведки, о возможных опасностях и ориентирах по маршруту движения;
- обеспечить надежную связь КП и подземной базы с отделением, находящимся в разведке;
- быть готовым оказать экстренную помощь отделению в разведке.

Проведение разведки для выяснения обстановки без резервного отделения на подземной базе запрещается.

Командир, возглавляющий отделение в разведке для выяснения обстановки обязан:

- подробно изучить с личным составом отделения маршрут движения и его особенности, наметить и уточнить ориентиры движения и возвращения на базу;
- распределить среди личного состава отделения обязанности по выполнению задач разведки и определить места выполнения замеров и съемок согласно заданию;
- вести учет расхода кислорода по маршруту движения, а при необходимости и времени пребывания в зонах с высокой температурой;
- пределить меры безопасности в ходе разведки и обследования выработок и порядок возвращения на базу.

Разведку выработок большой протяженности в условиях высокой температуры следует осуществлять несколькими отделениями, последовательно направляя их «волнами» друг за другом через определенные отрезки времени в соответствии с «Руководством по ведению работ в зонах высокой температуры».

При разведке выработок в условиях плохой видимости командиры и респираторщики в отделении должны быть связаны между собой соединительными шнурами.

Командир отделения и замыкающий должны быть включены в респираторы с масками, оборудованными переговорными устройствами.

По маршруту движения отделение должно прокладывать линию связи с подземной базой (при отсутствии высокочастотной или радио связи).

На период выполнения разведки выработки, по которой идет исходящая с очага пожара струя воздуха, запрещается подача воды на этот

очаг со стороны поступающей струи или тушение его другим способом, могущим ухудшить условия разведки.

При выполнении любой разведки запрещается изменять вентиляционный режим (кроме случаев, предусмотренных оперативным планом). В случае непредвиденного изменения вентиляционного режима разведка должна быть прекращена и до выяснения обстановки отделения должны быть выведены в выработки со свежей струей воздуха на безопасные расстояния.

Ведение горноспасательных работ в условиях высоких и низких температур.

При высокой влажности (более 80%) и температуре воздуха в горных выработках шахты от 27 до 40ºС продолжительность непрерывного пребывания или работы в респираторах в этих условиях (без специальных теплозащитных костюмов) ограничивается и не должна превышать следующих значений:

Температура воздуха в выработке, ºС	При работе (пребывании) на одном месте, мин	При движении по выработке
27	210	158
28	180	135
29	150	113
30	120	90
31	90	68
32	60	45
33	50	38
34	40	30
35	34	26
36	30	23
37	26	20
38	22	17
39	20	15
40	18	14

Выполнение работ в респираторах, не связанных со спасением людей, при температуре воздуха в горных выработках выше 40°С запрещается.

Для оказания помощи людям или выполнения неотложных мер, направленных на их спасение, допускается посылка отделений в загазированные выработки с высокой влажностью и температурой воздуха от 40 до 50°С, при этом продолжительность пребывания отделений в зоне высоких температур без специальныхтеплозащитных костюмов не должна превышать 10 минут.

Во всех случаях ведения работ в зоне высоких температур и влажности должны осуществляться меры по их снижению и созданию более комфортных условий средствами вентиляции или охлаждения (до 28-30°С), а исполнители этих работ должны быть обеспечены индивидуальными или

групповыми теплозащитными средствами (костюмы, куртки, бокс-базы и др.).

К работе в условиях высокой температуры воздуха допускаются респираторщики и командиры, прошедшие тепловую адаптацию и выдержавшие проверку на тепловую устойчивость. Перед спуском в шахту горноспасатели, направляемые в зону высокой температуры, должны быть осмотрены медицинским работником ВГСЧ.

На период работы в зоне высоких температур на подземной базе должен находиться работник медицинской службы ВГСЧ, который перед уходом отделения в зону высокой температуры и по возвращении его обязан осмотреть личный состав отделения и оценить состояние здоровья каждого.

Для работающих в зоне высоких температур на подземной базе должна быть газированная питьевая вода, витаминизированные напитки, сменная теплая одежда, одеяла и т.п.

При входе в выработку, в которой ожидается высокая температура воздуха, отделение замеряет температуру воздуха, содержание метана и окиси углерода, а командир отделения определяет допустимое время на движение вперед. В дальнейшем повторные замеры и корректировка допустимого времени движения вперед проводятся через каждые 5 минут и результат передается на подземную базу или КП.

Время на движение отделения вперед в зависимости от температуры воздуха и угла наклона выработки не должно превышать:

- половины допустимого времени движения в условиях высокой температуры воздуха, указанного в таблице Устава ВГСЧ, - при следовании по горизонтальным и пологим выработкам, а также вверх по пологим (более 10 градусов), наклонным, крутым и вертикальным выработкам;
- одной трети допустимого времени движения в условиях высокой температуры воздуха - при движении вниз по пологим (более 10 градусов), наклонным, крутым и вертикальным выработкам.

В тех случаях, когда отделение движется по выработкам с нарастающей температурой против исходящей струи воздуха и возвращение его на базу предусмотрено тем же маршрутом, время его фактического пребывания в зоне высокой температуры исчисляется с момента входа отделения в загазированную выработку независимо от того, была ли в ней при входе отделения высокая температура или нет.

Для определения допустимого времени движения вперед в случае нарастания температуры воздуха в пути следования необходимо из табличного времени на движение, соответствующего максимальной температуре, замеренной по пути следования, вычесть фактическое время, прошедшее с момента входа отделения в загазированную выработку, и расчетное время на возвращение назад. Допустимое время движение вперед будет равно полученной разности, деленной на 2 - при следовании по горизонтальным, пологим (до 10 град) и вверх по наклонным, крутым и вертикальным выработкам, или деленной на 3 - при следовании вниз по выработкам с углом наклона более 10 град.

Пример: отделение движется по горизонтальной выработке в загазированной среде в течение 20 минут. Максимальная температура воздуха, замеренная при этом 30°С. Определить допустимое время движения вперед для этих условий.

Решение: для 30°С табличное время на движение равно 90 минутам. Допустимое время на движение вперед будет равно табличному времени на движение при 30°С (90 мин) минус время фактического движения в загазированной среде (20 мин) и время на возвращение назад (для движения по горизонтальным выработкам такое же, как и на движение вперед, т.е. 20 мин). 90мин-20мин-20мин=50мин. Полученную разность делим на 2 и определяем допустимое время на движение вперед: 50мин:2=25 мин.

Пример: отделение движется по вертикальной выработке вниз в загазированной среде в течение 20 минут. Максимальная температура воздуха, замеренная при этом 30°С. Определить допустимое время движения вперед для этих условий.

Решение: табличное время на движение для 30°С равно 90 минутам. Допустимое время на движение вперед будет равно табличному времени на движение при 30°С (90 мин) минус время фактического движения в загазированной среде (20 мин) и время на возвращение назад (для движения по вертикальным выработкам оно в два раза больше, чем время движения вниз, т.е. равно 40 минутам). 90мин-20мин-40мин=30мин. Полученную разность делим на 3 и определяем допустимое время на движение вперед: 30мин: 3=10мин.

Отделение должно прекратить выполнение задания и немедленно возвратиться из зоны высокой температуры на базу, если:

- температура окружающего воздуха нарастает на 3°С и более за 5 мин;
- истекло допустимое время пребывания или движения вперед.

В зоне высокой температуры необходимо принимать все возможные меры для предотвращения перегревания респираторщиков:

- применять противотепловые средства индивидуальной защиты и респираторы с холодильным устройством;
- пользоваться легкой хлопчатобумажной одеждой (вместо брезентовой);
- применять бокс-базы для организации отдыха респираторщиков и переснаряжения аппаратуры, искусственное охлаждение воздуха с помощью аэраторов или передвижных кондиционеров;
- использовать по возможности нижние части выработок, а также воду, пакеты с охлаждающей смесью или брикеты льда для охлаждения воздуховодной системы респиратора и отдельных частей тела;
- пользоваться подземным транспортом для перевозки отделений и доставки оборудования к месту аварии.

Запрещается ведение работ в выработках с высокой температурой воздуха без резервного отделения и непрерывной связи с подземной базой или КП, за исключением случаев, когда работы связаны со спасением людей.

Отделению после нахождения в зоне высокой температуры в течение допустимого времени пребывания перед повторной работой в зоне высокой

температуры один раз в течение рабочей смены предоставляется отдых продолжительностью не менее 2 часов. Отступление допускается в случае, если это необходимо для спасения людей или когда самочувствие личного состава позволяет продолжать работу.

Отдых организуется в выработке со свежей струей воздуха и температурой не выше 26°С или бокс-базе. К повторной работе не допускаются лица, у которых за время отдыха пульс, температура и дыхание не восстановились до нормы.

После работы в зоне высоких температур необходимо принимать теплый душ в течение 15 минут.

В условиях ***отрицательных температур*** допустимое время непрерывногопребывания и передвижения в респираторах должно быть следующим:

Температура воздуха в выработках, ºС	пребывание в выработке, мин	при движении по выработке, мин	
		горизонтально и вверх по наклонным	вниз по наклонным
от 0 до –5	230	100	75
от –5 до –10	180	75	55
от –10 до –15	150	65	45
от –15 до -20	120	50	35

Для безотказной работы газозащитных респираторов и аппаратов искусственной вентиляции легких в условиях отрицательной температуры их необходимо транспортировать в обогреваемых автомашинах, просушивать воздуховодную систему после каждой аппарато-смены, наполнять баллоны осушенным кислородом.

Включаться в респиратор следует в помещении с положительной температурой после отогрева респиратора. Если включение в респиратор производится при отрицательной температуре, заходить в загазированную атмосферу следует не ранее чем через 10 мин после включения.

Запрещается повторное включение в респиратор при выключении из него на время более 15 мин - при температуре от 0 до -5°С и 5 мин – при температуре ниже -5°С. При выключении на более длительное время респиратор должен быть внесен в теплое помещение, просушен и перезаряжен.

Тема 3. Тактика ВГСЧ при ликвидации аварий в шахтах

Виды аварий в шахтах.

Авария в шахте – это ситуация, возникшая внезапно, неожиданно и влекущая за собой не только нарушение нормальной работы предприятия и материальный ущерб, но и угрожающая здоровью и жизни людей, работающих в это время в шахте.

Авария в шахте, получившая широкое распространение и явившаяся причиной массовой гибели людей, называется катастрофой.

Наиболее опасными подземными авариями являются:

- взрывы метанопылевоздушных смесей;
- подземные пожары;
- внезапные выбросы угля, газа и породы;
- загазирования выработок вредными для людей газами;
- прорывы в горные выработки, где работают люди, воды, скоплений заиловки и глины;
- обрушения горных выработок.

Взрывы газа и угольной пыли являются наиболее сложными и опасными шахтными авариями. При этом основными поражающими факторами для людей являются: ядовитые продукты взрыва и бескислородная среда в исходящей струе воздуха, ударная волна и высокая температура атмосферы. Ведение работ по ликвидации последствий взрывов осложняются дополнительными опасностями для людей: нарушением или полным прекращением проветривания, возможными пожарами, повторными взрывами, завалами горных выработок.

К взрывчатым газам, которые могут появляться в шахтной атмосфере, относятся: метан, водород, окись углерода и сероводород. Сероводород взрывается при содержании в воздухе 6%, окись углерода - от 12,5 до 75%, водород - от 4 до 74%, но эти газы во взрывоопасных концентрациях встречаются в шахте редко. Самыми распространенными в шахтах являются взрывы метана и угольной пыли.

Возникновение взрыва метана возможно при его скоплении в воздухе от 5 до 16% и наличии источника тепла, который может взорвать метан (температура воспламенения метана 650-750ºС).

Угольная пыль воспламеняется при температуре 700-800ºС. Нижний предел запыленности выработки, при котором может произойти взрыв взвешенной угольной пыли, составляет 10-50 г/м³, а верхний предел взрываемости 2000-3000 г/м³. Установлено, что присутствие в воздухе угольной пыли снижает нижний предел взрываемости метана, а метан, в свою очередь, снижает нижний предел взрываемости угольной пыли.

Взрывы метана в горных выработках могут иметь место при недостаточном проветривании, что приводит к повышенному содержанию метана в рудничномвоздухе. Взрывы угольной пыли могут происходить и при нормальном проветривании выработок, но при значительном скоплении пыли в выработках во взвешенном состоянии. Причинами, приводящими к

взрыву газов и угольной пыли, являются: нарушение правил ведения взрывных работ, нарушение правил эксплуатации электрооборудования, искрообразование при замыкании батарей аккумуляторных ламп, искрообразование при работе различных механизмов, курение, открытый огонь в шахте.

Взрывы газа могут происходить при возникновении подземных пожаров, при этом предпосылками или признаками взрыва (образования ударной волны) бывают: внезапное резкое изменение направления вентиляционной струи, внезапная остановка движения воздуха, «давление» на уши, отдаленный звук (гул), вибрация в выработке.

Подземные пожары являются наиболее распространенными и сложными видами аварий в шахтах. Подземными называются пожары, возникающие в горных выработках шахт. К подземным относятся и пожары, которые возникают на поверхностных комплексах и при этом продукты горения могут поступать в горные выработки шахты.

Наиболее опасными являются пожары в действующих выработках шахт, т.к. они характеризуются быстрой активизацией и угрозой массового отравления людей продуктами горения.

Для людей, ведущих борьбу с пожаром, особенно развитым, появляются дополнительные осложняющие факторы и опасности, основными из которых являются: задымленность атмосферы, высокая температура воздуха в районе очага пожара и на исходящей струе, возможные завалы выработок в связи с выгоранием или деформацией крепи, скопление взрывчатых газов до опасных концентраций и их взрывы при пожарах в газовых шахтах, выбросы пара при тушении больших раскаленных масс водой и образование взрывчатых концентраций газов (водорода) при разложении воды, вероятность опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии при пожарах в наклонных и вертикальных выработках.

Пожары в горных выработках по источнику воспламенения бывают двух видов: возникающие от различных внешних причин (экзогенные) и от самовозгорания угля (эндогенные).

К внешним причинам, вызывающим экзогенные пожары относятся:

короткие замыкания электрокабелей и неисправности электрооборудования;

- взрывные работы в шахтах;
- сварочные и автогенные работы;
- курение и открытый огонь в шахтах;
- чрезмерное механическое трение в механизмах и машинах;
- воспламенение горючих жидкостей при нагревании.

Эндогенные пожары происходят от самовозгорания угля, которое зависит от склонности угля к самонагреванию, а также от горно-геологических и горнотехнических условий разрабатываемых месторождений. Самовозгорание появляется от постоянного окисления разрыхленного и раздавленного в целиках угля. Процесс окисления

происходит с выделением тепла. Если условия выемки угля, склонного к самонагреванию, не обеспечивают отвод тепла, образующегося в угле, и 50-70% его остается в нем, а температура достигает 300-350ºС, то самонагревание переходит в самовозгорание.

Экзогенные пожары легко обнаруживаются по следующим признакам: резкий запах гари в рудничном воздухе, появление в выработках дыма, увеличение температуры воздуха, характерный треск горящего дерева и угля и открытый огонь в выработке.

Явными признаками эндогенного пожара являются: появление тумана и отпотевания на крепи горных выработок; выделение пара на поверхности земли из трещин, стволов и шурфов (особенно в зимнее время); появление запахов нефтяных продуктов, которые впоследствии сменяются удушливо-тяжелым запахом горящей смолы и дегтя; увеличение температуры воздуха, угля и боковых пород в районе очага пожара; появление дыма и огня в очаге пожара.

Внезапные выбросы угля, газа и породы – весьма сложные и опасные шахтные аварии, происходящие внезапно, при которых в нормальных производственных условиях из разрабатываемого пласта с большой силой выбрасывается масса измельченного угля и газа, а иногда и боковых пород.

При этих авариях происходят завалы горных выработок, загазирования сети выработок по всей исходящей струе, возможны взрывы газа, самовозгорание выброшенного угля, нарушение проветривания аварийных участков.

Масштабы выбросов бывают огромными и достигают сотен и тысяч тонн измельченного угля и породы и сотен тысяч кубических метров газа.

Предупредительными признаками внезапного выброса угля и газа являются: выдавливание угля из забоя, удары и треск различной силы и частоты в массиве, отскакивание кусочков угля и шелушение забоя, снижение прочности угля, усиленное давление на крепь, резкое увеличение газовыделения в выработку, зажатие буровых инструментов при бурении, выбросы штыба и газа из шпуров и скважин.

Сам внезапный выброс сопровождается звуковым эффектом, отбросом угля на значительное расстояние и тонким его измельчением, выделением метана в большом количестве и образованием характерной полости в пласте в месте выброса.

Загазирование выработок вредными для здоровья и жизни людей газами может быть опасным, если оно происходит быстро и люди не успевают покинуть эти выработки и выйти на свежую струю воздуха. Загазирование выработок может происходить разными газами, в том числе углекислотой, метаном, окисью углерода, сернистым газом, сероводородом и др.

Углекислый газ обычно может проникать в горные выработки из старых, заполненных этим газом выработок или из изолированных пожарных участков. При всех условиях появление углекислого газа в местах работы людей опасно, так как, вытесняя кислород, он делает рудничную атмосферу

непригодной для дыхания.

Окись углерода, сернистый газ и сероводород могут поступать в действующие выработки из пожарного участка.

Загазирование действующих выработок может произойти и в результате нарушения проветривания отдельных участков, горизонтов и шахты в целом при остановке вентилятора, в результате завалов в горных выработках, затопления их водой.

Загазирование выработок вредными газами можно определить путем их замера различными газоопределителями.

Внешние признаки загазирования выработок различными вредными газами определяются их физическими свойствами. Так, загазование атмосферы углекислым газом ощущается по слабокислому вкусу и запаху, учащением дыхания и появлением одышки. Присутствие сероводорода определяется характерным запахом тухлых яиц. Сернистый газ характерен запахом горящей серы и сильным раздражением слизистых оболочек, особенно глаз. Окислы азота наполняют атмосферу чесночным запахом и окрашивают в краснобурый цвет (лисий хвост). Загазование атмосферы аммиаком характерно запахом нашатыря, а хлор имеет зеленовато-желтый цвет и резкий запах.

Затопление выработок водой может произойти в шахтах, имеющих большой приток воды, при остановке насосов главного водоотлива. Но аварии от внезапных прорывов воды, скопившейся в выработках верхних отработанных горизонтов шахт или в естественных резервуарах на поверхности, являются опасными для людей, работающих в нижних горизонтах и наклонных тупиковых выработках. При этом кроме угрозы затопления, возникает еще недостаток воздуха и создается опасность затопления запасных выходов из шахты. Угрожающий приток воды с поверхности (при таянии снега, сильных дождях и т.д.) может поступать в горные выработки через устья стволов, шурфов, буровых скважин, по трещинам и провалам. Необходимо иметь в виду, что большинство прорывов воды из старых выработок сопровождается выделением взрывчатых и ядовитых газов (метана, углекислого газа, сероводорода и др.), а также обвалами пород в выработках.

Признаками приближения к затопленным выработкам являются: потение забоя, усиление капежа и горного давления, потрескивание, появление струек воды, внезапное появление воды в сухом забое или усиленный ее приток в мокром забое.

Прорывы в горные выработки заиловки и глин могут явиться причиной несчастных случаев с людьми и выхода из строя на продолжительное время горных выработок и выемочных участков. Работы по ликвидации последствий этих аварий очень трудоемки и длительны по времени.

Обрушения горных выработок являются довольно распространенной причиной травматизма людей. Завалы, а также горные удары характеризуются быстрым обрушением больших объемов горной массы, в результате чего горная выработка выходит из строя, а под обрушением или за

ним могут оказаться люди. При этом для людей, оказавшихся застигнутыми обрушением, а также ведущих спасательные работы, появляются дополнительные опасности: повторные завалы и обрушения, загазирования выработок в результате нарушения или полного прекращения проветривания, пожары от короткого замыкания в электрокабелях при их нарушении, внезапные выбросы угля и газа на выбросоопасных пластах. Обрушения обычно носят локальный характер, однако, эти аварии на крутых пластах наиболее опасны, а ведение спасательных работ при этом связазано с большими трудностями.

Обычно обрушению кровли предшествуют предупредительные признаки: обсыпание мелких кусочков породы с кровли – «капание», усиление давления на крепь, треск крепи и т.д.

Горные удары все чаще появляются с увеличением глубины разработки месторождений и ростом горного давления.

Горный удар – быстропротекающее разрушение предельно напряженной части массива угля (породы), прилегающей к горной выработке, возникающее вследствие мгновенного превращения в кинетическую энергию накопленной в массиве потенциальной энергии упругого сжатия его в очаге горного удара и упругих деформаций вмещающих пород.

Признаками возможного проявления горного удара являются: «стреляние» угля и породы, треск, толчки, проявляющиеся в основном во время разрушения массива при работе комбайнов, бурении и т.д. Горный удар сопровождается сильным звуковым эффектом, сотрясением, воздушной волной, выбросом угля, разрушением крепи и образованием пыли.

Тема4. Тушение подземных пожаров.

По аварийной опасностишахты подразделяются на три степени:

первая - шахты, опасные по внезапным выбросам угля и газа и горным ударам, а также сверхкатегорные по метану, разрабатывающие склонные к самовозгоранию пласты угля;

вторая - шахты, сверхкатегорные по метану, разрабатывающие не склонные к самовозгоранию пласты угля; все шахты III категории по метану; шахты II и I категории по метану, разрабатывающие пласты угля, склонные к самовозгоранию;

третья - шахты II и I категории по метану, разрабатывающие пласты угля, не склонные к самовозгоранию, и все шахты, не опасные по газу метану, или опасные только по взрывчатости угольной пыли.

Наиболее распространенным видом аварии в шахтах являются пожары.

Пожары, возникающие непосредственно в горных выработках (подземных и открытых) и в массиве полезного ископаемого, называются рудничными или подземными пожарами. К ним относятся также пожары, происходящие на поверхности, когда продукты горения и огонь могут распространиться в шахту. Подземные пожары по источнику воспламенения горючего материала делятся на два вида: экзогенные и эндогенные.

Экзогенными называются пожары, возникшие от внешних источников тепла (открытого огня, короткого замыкания в электрокабелях, нарушения правил ведения огневых работ, трения и др.).

Эндогенными называются пожары от самовозгорания угля, возникающие врезультате окислительных процессов, происходящих в полезном ископаемомпри определенных условиях.

Основными причинами возникновения экзогенных пожаров являются: нарушение правил эксплуатации электрооборудования, ведения электрогазосварочных и взрывных работ, неосторожное обращение с огнем, наличие в машинах и механизмах трущихся частей, нарушение правил эксплуатации ленточных конвейеров.

Эндогенная пожароопасность выемочных участков характеризуется степенью склонности угля к самовозгоранию. Самовозгорание происходит при аккумулировании не менее 60-70% теплоты, выделяющейся при окислении угля.

Самовозгорание - это воспламенение горючего материала, происходящее в результате непрерывно развивающихся окислительных реакций в самом веществе. Самовозгоранию всегда предшествует более или менее длительный процесс низкотемпературного окисления и самонагревания, являющегося процессом естественного повышения температуры в результате окисления угля. Скорость самонагревания определяется химической активностью угля, условиями притока воздуха и возможностью отдачи тепла в окружающую среду.

Несвоевременная и некачественная изоляция отработанных и погашенных выработок (особенно в сложных горно-геологических условиях), большие эксплуатационные потери угля, несвоевременное и

некачественное профилактическое заиливание отработанных участков, нарушение порядка отработки пластов угля, склонного к самовозгоранию, медленное внедрение закладки выработанного пространства и другие факторы усиливают эндогенную пожароопасность шахт.

Подземные пожары, особенно экзогенные, возникающие внезапно, представляют большую опасность для жизни людей, занятых на участках, на которые могут проникать продукты горения и вызывать отравления.

Для людей, ведущих борьбу с пожаром, особенно развитым, появляются дополнительные осложняющие факторы и опасности, основными из которых являются: задымленность атмосферы, высокая температура воздуха в районе очага пожара и на исходящей струе воздуха, возможные завалы выработок в связи с выгоранием или деформацией крепи, скопление взрывчатых газов до опасных концентраций и их взрывы при пожарах в газовых шахтах, выбросы пара при тушении больших раскаленных масс водой и образование взрывчатых концентраций газов (водорода) при разложении воды, вероятность опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии при пожарах в наклонных и вертикальных выработках.

Степеньразвития экзогенного пожара качественно может быть охарактеризована тремя стадиями:

I - разгорание: характеризуется увеличением массы сгорающего в единицу времени материала и расхода кислорода воздуха на горение;

II - развившийся пожар: практически полностью расходуется кислород на горение и при постоянном расходе воздуха сгорает постоянная масса горючего материала;

III - затухание: нарастание в продуктах горения концентрации кислорода и снижение концентраций углеродосодержащих газов.

Для выбора эффективных средств и способов тушения подземных пожаров в конкретных условиях необходимо знать основные его параметры:

- среднюю скорость перемещения очага горения по выработке;
- максимальную и среднюю температуру пожарных газов в очаге горения и на заданном удалении от него;
- длину зоны горящей крепи в выработке;
- площадь горящей поверхности;
- расход материала на горение;
- длину зоны действия конвективных потоков навстречу вентиляционному потоку;
- дальность (радиус) эффективного применения (действия) пожаротушащих средств;
- площадь тушения;
- скорость и продолжительность тушения.

Для эффективного тушения подземного пожара необходимо, чтобы параметры тушения планируемых к применению технических средств соответствовали параметрам развития пожара или превышали их. При этом необходимо учитывать:

- возможность доставки средств к месту применения исходя из его габаритов, конструктивных особенностей и состояния горных выработок (угол наклона, ширина и высота, вид транспортных средств);
- возможность обеспечения пожаротушащего средства источниками энергии и огнетушащими веществами (вода, порошок, пенообразователь и др.);
- возможность применения технического средства исходя из газовой обстановки на аварийном участке, температуры, влажности и задымленности в месте установки средства и др.;
- время доставки технического средства к месту применения, его монтажа и подготовки к работе.

Подземный пожар независимо от причин его возникновения и вида горючего материала (уголь, древесина, конвейерная лента, трансформаторное масло и др.) сопровождается сложными физико-химическими процессами, приводящими к существенному изменению состава рудничной атмосферы.

Постоянной и обязательной составляющей пожарных газов является окись углерода. С ее появлением в исходящей струе пожарного участка непременно наблюдается уменьшение объемных долей кислорода, увеличение содержания углекислого газа, метана, водяного пара. В дальнейшем появляются водород и гомологи метана.

На всех стадиях тушения пожара для ограничения его активности и снижения скорости распространения по горным выработкам необходимо осуществлять меры по его локализации:

- сокращение расхода воздуха, поступающего к очагу горения;
- установка водяных завес и создание преград на пути распространения пожара (установка временных перемычек, закрытие противопожарных дверей и др.);
- местное реверсирование вентиляционной струи;
- удаление горючего материала из зоны горения или на пути распространения
- пожара;
- сочетание вышеперечисленных способов локализации.

С момента возникновения пожара, независимо от его размеров и характера развития, ответственный руководитель ликвидации аварии и руководитель горноспасательных работ обязаны принять меры по бесперебойной подаче воды на пожарный участок и сосредоточению в шахте мощных средств пожаротушения и аварийных материалов.

В зависимости от места возникновения пожара предусматривается следующий порядок посылки отделенийна выполнение оперативных заданий:

- при пожарах в стволах, по которым подается в шахту свежий воздух, и надшахтных зданиях первое отделение ВГСЧ направляется для тушения пожара и перекрытия стволов, а второе - для вывода людей из околоствольных выработок этих стволов и последующего тушения первичными средствами пожаротушения возникших очагов в

околоствольном дворе;

- при пожарах в околоствольных дворах стволов, подающих в шахту воздух, а также в главных выработках, расположенных в начале вентиляционной струи (главные квершлаги, коренные штреки и т.п.), первое отделение направляется на тушение пожара, а второе - для вывода людей из наиболее опасных мест;
- при пожарах в участковых штреках, квершлагах и камерах, а также в лавах, вентиляционных ходках и сбойках, когда загазированию подвергается один участок, первое отделение направляется кратчайшим путем по свежей струе в выработки с исходящей с участка струей воздуха для вывода людей, а второе - по поступающей струе для тушения пожара;
- при пожарах в вертикальных стволах и шурфах с исходящей струей воздуха и их надшахтных зданиях первое отделение направляется на тушение пожара и вывод людей из надшахтного здания, второе - в околоствольный двор для предотвращения распространения пожара в горные выработки шахты;
- при пожарах в наклонных стволах, вентиляционных сбойках, имеющих выход на поверхность, и в околоствольных дворах с исходящей струей воздуха первое отделение направляется в шахту для спасения людей, второе - на тушение пожара.

Последующие отделения направляются в места, где их действия наиболее необходимы.

Вентиляционные режимы при тушении подземных пожаров

При тушении пожара в шахте должен быть установлен режим вентиляции, снижающий активность пожара и создающий условия для его тушения, а также предотвращающий скопление горючих газов до взрывоопасных концентраций и распространение газообразных продуктов горения в места нахождения людей.

При тушении пожаров в шахтах применяются следующие вентиляционныережимы:

- прекращение проветривания горящих выработок пожарного участка;
- сохранение режима проветривания выработок пожарного участка, существовавшего до возникновения пожара;
- увеличение или уменьшение расхода воздуха, поступающего к очагу пожара, при сохранении существовавшего направления вентиляционной струи;
- реверсирование (опрокидывание) вентиляционной струи с сохранением, увеличением или уменьшением расхода воздуха, поступавшего по выработкам до возникновения пожара;
- закорачивание вентиляционной струи в нормальном или реверсивном режиме проветривания.

Выбор вентиляционного режима определяется степенью опасности шахты по газу метану и взрывчатости угольной пыли и возможностями ее вентиляционной сети. При этом следует также учитывать фактические

условия аварийной обстановки, место возникновения пожара и скорость его распространения, величину и направление естественной и тепловой депрессии.

Принятый вентиляционный режим должен быть устойчивым и управляемым.

Для спасения людей при пожарах в надшахтных зданиях воздухоподающих стволов, в стволах со свежей струей воздуха, околоствольных дворах и примыкающих к ним главных воздухоподающих выработках наиболее эффективным является реверсирование вентиляционной струи в масштабе всей шахты.

При пожарах и взрывах в пределах выемочных полей (панелей) и в выработках с исходящими струями (вентиляционные выработки горизонта, крыла или шахты в целом, шурфы, вентиляционные сбойки, воздуховыдающие стволы и их надшахтные здания) сохраняется существующее направление вентиляционной струи с неизменяемым, уменьшенным или увеличенным расходом воздуха.

В ходе тушения подземного пожара особенно в газовых шахтах должен осуществляться непрерывный контроль за содержанием горючих газов, кислорода и других параметров пожара. Если содержание метана у места тушения пожара достигает 2%,все люди, в том числе и горноспасатели, должны быть выведены из опасной зоны, а для тушения пожара должен быть применен способ, обеспечивающий безопасность работ.

Способы тушения подземных пожаров

Тушение пожаров в шахтах может осуществляться следующими способами:

- активным способом, т.е. непосредственным воздействием на очаг огнегасительными средствами или дистанционная подача в зону горения воды, пены и других огнегасительных веществ по трубопроводам, скважинам или по подводящим выработкам;
- изоляцией пожарного участка от действующих выработок перемычками, "рубашками" и другими изоляционными сооружениями с целью прекращения
- доступа воздуха к очагу пожара;
- комбинированным способом - временной изоляцией пожарного участка
- перемычками (глухими или со шлюзами) для локализации горения с последующим вскрытием перемычек и окончательным тушением пожара активным способом.

При выборе того или иного способа ликвидации пожара учитываются характер пожара, место его возникновения, размеры, стадия его развития и наличие необходимых сил и средств пожаротушения, время, необходимое для тушения пожара, и возможные экономические затраты.

Большинство экзогенных пожаров тушат активным способом, но иногда осложненные экзогенные пожары изолируются. Этот способ применяют при развившихся пожарах в тех случаях, когда нет достаточно

средств для активной борьбы или она опасна для людей, работающих по ликвидации пожара (наличие метана 2% и т.д.), а также в условиях, когда применять активные способы неэкономично. Эндогенные пожары чаще ликвидируют способом изоляции или комбинированным.

Ответственный руководитель ликвидации аварии и руководитель горноспасательных работ, отправив первые отделения ВГСЧ в шахту при пожаре по плану ликвидации аварий, обязаны выполнить следующее:

- оценить режим проветривания и по возможности направить продукты горения, минуя скопления людей;
- установить все возможные подходы к очагам горения по действующим и отработанным выработкам, скважинам, провалам и др.;
- выбрать способ тушения очагов горения и рассчитать параметры проветривания пожарного участка;
- определить объемы и места размещения сил и средств для локализации и тушения пожара.

Тушение пожаров активным способом

Активный способ тушения подземных пожаров предполагает применение различных огнегасительных средств, которые в зависимости от физико-химических свойств и особенностей применения делятся на жидкие (вода, пена), газообразные (углекислый газ, азот, парогазовая смесь), сыпучие (огнегасительные порошки, инертная пыль, песок) и флегматизаторы (бромэтиловая смесь).

Вода является основным и наиболее распространенным огнегасительным средством. Она обладает рядом достоинств:

- поданная под напором струя воды механически сбивает пламя с горящих предметов, и, покрывая их поверхность, охлаждает эти предметы до температуры ниже той, которая необходима для поддержания горения;
- смачивая смежные с горящей поверхностью участки и предметы, вода предотвращает распространение пламени и их воспламенение;
- образующийся при попадании воды на горящую поверхность пар (1700 л из 1 л воды) изолирует ее на некоторое время от кислорода воздуха и снижает активность горения;
- легко транспортируется в больших количествах в любую выработку шахты.

Для тушения подземных пожаров вода может подаваться в виде компактной струи и в распыленном состоянии.

Если к очагу пожара имеется свободный доступ, вода применяется в виде компактной струи, при этом:

- возможно подавать большую массу воды на ограниченный участок горящей площади;
- возможно маневрировать струей за счет перемещения ее на различные участки очага пожара;
- используя дальность полета компактной струи, можно тушить пожар, находясь от него на определенном расстоянии, или "перерезать"

распространившийся по выработке пожар на малые участки.

Зачастую используется вода в распыленном состоянии.

В зоне пожара из-за наличия высокой температуры распыленная вода, превращаясь в пар, поглощает значительно больше тепла, чем вода компактной струи. Величина поглощения тепла тем больше, чем мельче распылена вода.

Но вода имеет и ряд недостатков:

- при попадании внутрь очага пожара в количестве, не достаточном для полного его тушения, вода под воздействием высокой температуры разлагается на водород и кислород, образуя взрывчатую смесь, а большое парообразование опасно для людей, тушащих пожар;
- вода является проводником электричества, поэтому прежде чем тушить горящее электрооборудование необходимо снять с него напряжение;
- водой нельзя тушить горящее масло и другие легковоспламеняющиеся жидкости, так как они, будучи легче воды, разбрызгиваясь, увеличивают площадь горения и усиливают пожар;
- образующийся при тушении пожара водой водяной пар способствует отслаиванию боковых пород и обрушению их;
- вода малоэффективна при тушении загораний метана.

Химическая и воздушно-механическая пены широко применяются при активном тушении подземных пожаров.

Химическая пена-это продукт взаимодействия кислоты и водно-щелочного состава. Так как пенные огнетушители в шахтах и ВГСЧ отсутствуют, химическая пена практически для тушения пожаров не применяется.

Воздушно-механическая пена, подаваемая в больших количествах, может быть успешно применена для тушения пожаров в труднодоступных местах (в куполах обрушений, за бетонной крепью и т.д.), а также в вертикальных и наклонных выработках.

Преимуществом пенных средств является то, что пена, попадая на горящие предметы, помимо охлаждения, покрывает их и изолирует от доступа кислорода, прерывая горение.

Воздушно-механическая пена, кроме того:

- имеет более высокий коэффициент полезного использования воды (из единицы объема воды получается до 500 объемов и более пены);
- за счет общешахтной депрессии может перемещаться по горным выработкам на значительные расстояния, сохраняя структуру и объем;
- перемещаясь, способна проникать в свободные объемы выработок и заполнять их;
- имея небольшую среднюю плотность, она не разбрызгивает горящую жидкость, а покрывает ее и тушит;
- эффективна при тушении горящих трудносмачиваемых материалов.

Воздушно-механическая пена представляет собой подвижную массу, состоящую из наполненных воздухом пузырьков, оболочкой которых является водный раствор пенообразователя. Получается воздушно-

механическая пена в различного рода пеногенераторах. Пенообразователи относятся к группе поверхностно-активных веществ, добавки которых в воду (0,5-6%) снижают поверхностное натяжение и повышают смачивающую способность, обеспечивают процесс пеногенерации и устойчивости пены.

Основные физико-химические свойства пенообразователей следующие:

Показатели	ПО-1	ПО-3А	«Сампо»	«Поток»	ПФ-2 «Кубок-салим»	РФ-3 «Фторам»
плотность, кг/м³	1100	1040	1060	1050	1120	1120
массовая доля ПАВ	45%	26%	19,5%	20%	20%	20%
кратность пены 2% раствора	6	6	6	7	7	7
устойчивость пены кратность пены,	270с	300с	720с	420с	480с	540с
получаемой генератором	70	70	70	70	70	70
концентрация в растворе, %	6	5	5	5	5	5

Эффективность действия воздушно-механической пены зависит от ее кратности и устойчивости. Различают пену низкой (до 50), средней (50-300) и высокой (свыше 300) кратности. Максимально допустимая ее кратность для тушения подземных пожаров равна 1000, что соответствует содержанию 0,001 кубических метров жидкости в 1 кубическом метре пены.

Для тушения подземных пожаров применяется пена устойчивостью до 2 часов.

Наибольший эффект локализации и тушения пожаров достигается при комбинированном применении пены с огнетушащим порошком и инертными газами (газомеханическая пена). При этом порошковое облако прекращает пламенное горение, а пена более эффективно охлаждает горящие материалы и боковые породы. Инертная пена содержит в пузырьке инертный газ, который после разрушения пены локализующе воздействует на очаг пожара, снижая концентрацию кислорода в зоне горения.

Пену средней кратности целесообразно применять для тушения пожаров в куполах выработок, электромашинных камерах и тупиковых забоях незначительного объема; пену высокой кратности - для быстрейшего заполнения вертикальных, крутых и наклонных выработок большого объема и локализации пожара в горизонтальных выработках протяженностью 1000-1500 м.

Пена даже высокой кратности (500 и более) электропроводна, поэтому тушить пеной горящее электрооборудование под напряжением запрещается.

Во всех случаях применения воздушно-механической пены особое внимание должно уделяться проветриванию аварийного участка и шахты, в связи с тем, что заполнение выработок пеной приводит к уменьшению расхода воздуха и даже полному прекращению проветривания.

Инертные газы (азот и углекислый газ) будучи поданными в выработанное пространство снижают содержание кислорода в атмосфере пожарного участка. Эти газы, проникая в недоступные места, трещины, вытесняют кислород и создают инертную среду. Однако из-за низкой производительности существующих средств выпуска инертных газов и сложности доставки их к очагу горения они пока не нашли широкого применения для активного тушения подземных пожаров.

Парогазовая смесь - это смесь водяного пара и продуктов сгорания керосина, состоящая из азота (51,8%), водяного пара (40%),углекислого газа (7,0%) и кислорода (1%). Такая парогазовая смесь получается при работе генератора инертных газов. Пожаротушащий эффект парогазовой смеси заключается в том, что в очаге пожара создается бескислородная среда, в которой прекращается горение, а продолжительная подача этой смеси, имеющей температуру 80-100°С обеспечивает охлаждение горящих предметов и материалов до температуры, меньшей чем температура воспламенения. Парогазовой смесью можно потушить любого рода экзогенные пожары в выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии. Применение этой смеси для активного тушения эндогенных пожаров нецелесообразно, так как самовозгорающийся уголь тлеет при концентрации кислорода 2%.

Огнегасительные порошки, как правило, состоят из неорганических солей сульфатов и фосфатов аммония и годрофобизирующих (отталкивающих воду) добавок. На основе ингибирования (замедления) активных центров пламени поверхностью частиц порошка и продуктами его разложения порошки прекращают цепную реакцию горения. Эффект ингибирования усиливается также за счет поглощения теплоты на испарение частичек порошка. Кроме того, частички порошка, попадая в пламя и на горящую поверхность, под действием высокой температуры расплавляются и, спекаясь, образуют твердое стекловидное покрытие (полифосфатную пленку), которое препятствует доступу кислорода к очагам горения. Таким образом, попадая на горящую поверхность, порошок действует одновременно как средство замедления реакции горения (ингибитор), средство изоляции очага горения и средство охлаждения.

Частички порошка, находящиеся во взвешенном состоянии в рудничной атмосфере, могут образовывать воздушно-порошковое облако с содержанием порошка 70-150 г на кубический метр, при котором невозможно пламенное горение. Кроме того, выходящая из огнетушителя струя порошка может механически сбивать пламя с горящих объектов.

Огнегасительные порошки П-1А, П-2АП, П-3АТ предназначены для тушения легковоспламеняющихся горючих жидкостей, древесины, угля, резинотехнических, полимерных изделий и электрооборудования под напряжением. Порошок П-1А используется для снаряжения герметичных емкостей порошковой техники, порошки П-2АП и П-3АТ - при дистанционном тушении подземных пожаров в горизонтальных и наклонных

выработках шахт путем подачи их по трубопроводам или в спутный вентиляционный поток с помощью устройств типа "Вихрь".

Основные технические характеристики порошков:

Показатели	П-1А	П-2АП	П-3АТ
массовая доля компонента, %			
аммофоса	99,0-99,5	91,0-93,5	96,5-97,0
аэросила	0,5-1,0	1,5-2,0	3,0-3,5
пирофиллит	-	5-7	-
содержание влаги, %	0,5	0,5	0,5
текучесть, с	20	10	5
размер частиц, мкм	80-90	40-50	10-15

Инертные сыпучие материалы (песок, инертная пыль, сухая известь) считаются подручными вспомогательными средствами и применяются для тушения небольших очагов в начальный период их возникновения, а также при горении находящегося под напряжением электрооборудования. При тушении сыпучие инертные материалы изолируют очаг пожара от воздуха (а горящие жидкости впитываются сыпучими материалами) и тем самым прекращают процесс горения. Использовать сыпучие материалы необходимо лопатой или совком, посыпая горящие поверхности так, чтобы вся площадь горения была покрыта материалом и через него не прорывался огонь.

Флегматизаторы - это средства объемного пожаротушения, основанного на вытеснении или разбавлении воздуха, а также введении в горящую среду тормозящих (ингибирующих) веществ, прекращающих процесс горения. В качестве флегматизаторов в ВГСЧ в основном применяются вещества на основе хладонов. Наибольшее распространение получил состав БФ-2,состоящий из бромистого этила (73%) и хладона 114В2, называемого тетрофтордибромэтаном (27%). Пожаротушащее действие этого состава заключаются в том, что благодаря низкой температуре кипения (+38,46°С) он испаряется и, достигая в атмосфере вокруг очага пожара концентрации 4,6%, прерывает реакцию горения. Вследствие того, что огнегасительный состав практически не снижает температуру в зоне горения, его действие эффективно в закрытом, слабо проветриваемом объеме (камеры, тупиковые выработки и др.) Данные составы используются в огнетушителях ОГС-5, ОГСФ-5, ОХГШ-2, которые целесообразно применять для тушения:

- горящего метана в доступных местах в начальный момент его загорания в шахте;
- горящего масла и других легковоспламеняющихся жидкостей;
- горящей изоляции электрооборудования, в том числе под напряжением.

Способность различных огнегасительных средств тушить горящие материалы следующая:

Огнегасительное средство	Электро оборуд.	Минер. масла	Уголь	Дерево	Резина	Метан
песок или инертная пыль						
все виды пен						
вода						
инертные газы						
огнегасительные порошки						
хладоны и их составы						

	- гасят		- частично гасят		- не гасят

Тушение пожаров в тупиковыхгорных выработках

Процессы развития и тушения пожаров в тупиковых выработках имеют ряд отличительных особенностей:

- ограниченность подступов к очагу и ведение работ только со стороны исходящей струи воздуха в условиях высокой температуры и задымленности воздуха;
- высокая опасность нарушения проветривания и возможность накопления горючих газов до взрывоопасной концентрации при остановке ВМП или повреждении вентиляционного трубопровода;
- малые скорости вентиляционного потока, приводящие к образованию слоевых скоплений метана в газообильных выработках и способствующие высокой степени задымленности и резкому перепаду температуры воздуха по длине и высоте выработки;
- неидентичность состава атмосферы в исходящей из тупиковой выработки струе воздуха составу атмосферы у места горения.

При возникновении пожара в метанообильной тупиковой выработке в нее кратчайшим путем по свежей струе направляются два отделения ВГСЧ: первое - на вывод людей, второе - на тушение пожара.

В шахтах, опасных по газу и пыли, действия отделений ВГСЧ по разведке очага горения и его тушению в тупиковой выработке должны осуществляться с учетом газовой обстановки в ее забое.

Если на момент прибытия отделения к тупиковой выработке, в которой возник пожар, она проветривается, отделение обязано разведать выработку и тушить пожар в ней.

В том случае, если выработка не проветривается и имеется достоверная информация о том, что содержание горючих газов в выработке не достигло нижнего предела взрываемости, отделение по команде руководителя горноспасательных работ обязано включить вентилятор, проветривающий эту выработку, осуществить ее разведку и приступить к тушению пожара. Если же информация о составе атмосферы в тупиковой выработке отсутствует и в ней нет пострадавших, направление отделения для разведки очага пожара и его тушения не допускается.

Последующие действия определяются временем накопления в тупиковой выработке метана и других горючих газов до взрывоопасной концентрации.

Если имеется резерв времени, то производится: установка водяной за весы как можно ближе к очагу, обработка выработки огнетушащим порошком, прокладка специальных шлангов или приспособление имеющихся в выработке трубопроводов для дистанционного отбора проб воздуха, подачи инертных газов и огнетушащих веществ, сооружение в устье выработки быстровозводимой изоляционной перемычки и т.д.

В случае если время образования взрывоопасной концентрации горючих газов не позволяет вести горноспасательные работы, то планируется с безопасного расстояния производить инертизацию атмосферы в тупиковой выработке азотом, парогазовой смесью, углекислым газом, хладоном и осуществлять дистанционное тушение пожара водой, порошком или пеной. В тупиковых выработках, проводимых сверху - вниз, предусматривается затопление очагов водой.

Для непосредственного тушения пожара в тупиковой выработке используются ручные и передвижные порошковые огнетушители, средства водяного пожаротушения (пожарные рукава, стволы, пики, водоразбрызгиватели).

Для дистанционного тушения пожаров применяются порошково-пенная установка ППУ, устройство "Вихрь", установка порошкового пожаротушения УПШ-1000, порошковый огнетушитель ОПШ-100, а также различные пеногенераторные установки и генераторы инертного газа.

Не допускается непосредственное тушение пожара или другие работы в тупиковой выработке шахты, опасной по газу метану, если произошло нарушение ее проветривания (остановился вентилятор, перегорели вентиляционные трубы и др.) или концентрация метана достигла 2% и продолжает нарастать.

Тушение пожара непосредственным воздействием на очаг в восстающих выработках с углом наклона до 20° следует производить под прикрытием барьеров, а с углом наклона более 20°- запрещается.

Запрещается тушение пожара со стороны забоя тупиковой выработки независимо от угла ее наклона.

В длинных тупиковых выработках (500 м и более) горноспасательные работы по тушению пожаров ведутся с применением индивидуальных и групповых противотепловых средств. При этом должна быть обеспечена

непрерывная связь каждого отделения с подземной базой или КП; по пути следования отделений через каждые 100-200 м загазированной выработки должны размещаться вспомогательные респираторы.

Если горноспасатели вынуждены покинуть забой из-за резкого осложнения обстановки, они должны перед уходом оставить открытыми концевой пожарный кран или установить и подсоединить к нему водоразбрызгиватель.

Тушение пожара в выработках водой осуществляется компактной струей. Начинать тушение нужно с наиболее удаленной рамы, которую достанет активная часть струи. По мере тушения струя воды переносится на ближе расположенную раму крепи. После ликвидации пожара на этом участке выработки необходимо проверить состояние крепи и при необходимости усилить ее. После этого продвинуться вперед и начать тушение следующего участка.

Тушение горящей деревянной крепи порошковыми огнетушителями следует начинать с нижней части последней рамы или рамы, отстоящей от места нахождения респираторщика на длину полета порошкового факела, затем движением вверх по периметру надо сбить пламенное горение, после чего в такой же последовательности тушить близко расположенные крепежные рамы.

Тушение пожаров в наклонных горных выработках

В выработках с восходящим проветриванием по мере развития пожара образуется высокая температура выше очага пожара, а при нисходящем проветривании возникает угроза опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии. При угле наклона выработки более 30° падающие горящие предметы создают опасность травмирования людей, работающих ниже очага пожара. Большая скорость вентиляционной струи в наклонных выработках способствует быстрому развитию пожаров и распространению огня как вверх, так и в смежные выработки промежуточных горизонтов (сбойки, просеки, печи и ходки). При возникновении пожаров в уклонах, бремсбергах и других наклонных выработках создается угроза заполнения продуктами горения значительной сети горных выработок и отравления работающих в них людей.

Вентиляционный режим при пожарах в наклонных выработках должен, прежде всего, обеспечить безопасный выход людей с аварийного и угрожаемых участков, а также исключить возможность самопроизвольного опрокидывания вентиляционной струи. Для этого производят реверсирование или закорачивание вентиляционной струи через расположенные выше или ниже очага выработки, а также обеспечивают устойчивость проветривания за счет увеличения подачи воздуха в наклонную выработку. "Нулевой" режим проветривания в этих условиях не допускается.

В выработках с восходящим проветриванием при пожарах обычно сохраняют существующее направление вентиляционной струи и уменьшают подачу воздуха установкой перемычки или закрытием противопожарных дверей ниже очага пожара.

При пожаре в наклонной выработке с нисходящим проветриванием должны быть приняты меры по предотвращению самопроизвольного опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии путем увеличения сопротивления параллельных вентиляционных ветвей, повышения депрессии и производительности вентилятора главного проветривания. Если воздух движется вниз по двум параллельным наклонным выработкам и между ними имеются сбойки, то в последних, в целях повышения устойчивости проветривания, должны быть возведены перемычки.

Если расчетным путем установлено, что опрокидывание вентиляционной струи предотвратить невозможно, необходимо в планах ликвидации аварий предусматривать для этого случая местное или общешахтное реверсирование вентиляционной струи в аварийной выработке.

Если угроза опрокидывания вентиляционной струи возникает в ходе тушения пожара, люди, работающие по его ликвидации, отводятся в безопасное место и принимаются меры по установлению устойчивого проветривания.

Тушение пожара в наклонной выработке с углом наклона более 20° независимо от направления движения воздушной струи осуществляется путем дистанционного воздействия на очаг пожара огнетушащими веществами (пена, инертные газы, порошки, разбрызгиваемая вода). При этом следует выбирать кратчайшие пути подхода к очагу пожара (из параллельных выработок, сбоек и т.п.).

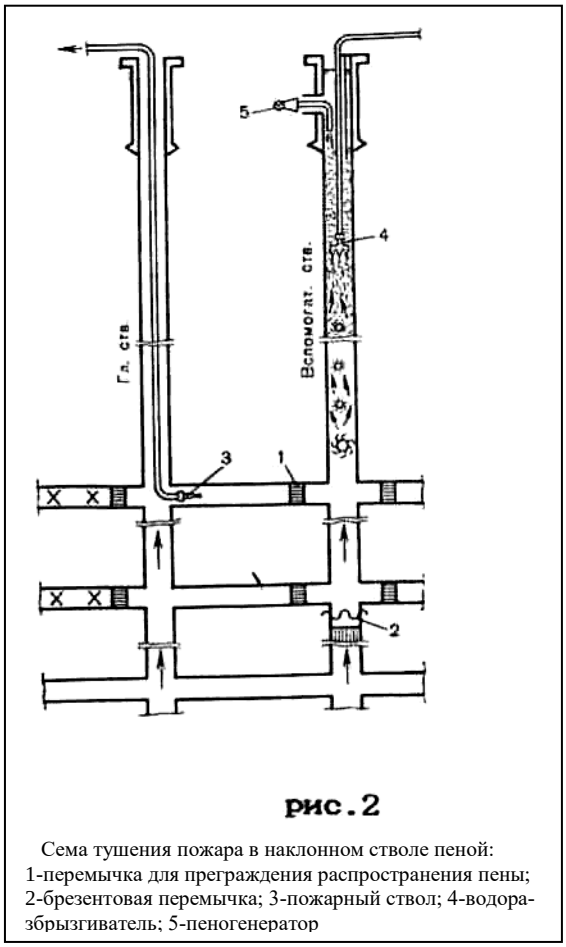


рис.2

Сема тушения пожара в наклонном стволе пеной: 1-перемычка для преграждения распространения пены; 2-брезентовая перемычка; 3-пожарный ствол; 4-водоразбрызгиватель; 5-пеногенератор

Тушение пожара в наклонной выработке непосредственным воздействием на очаг горения сверху допускается только при отсутствии опасности опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии.

При направлении отделения сверху в наклонную выработку запрещается закрывать противопожарные двери в аварийной выработке.

Тушение пожара в наклонной выработке непосредственным воздействием на очаг горения снизу допустимо при условии, если выработка проветривается снизу-вверх и отсутствует опасность травмирования горноспасателей в результате падения горящих предметов, обрушившихся пород и др. или принятия мер по его предотвращению.

При наличии в наклонной выработке канатной откатки принимаются меры по фиксации подъемных сосудов на верхней и нижней приемных площадках.

Тактика тушения пожаров в наклонных выработках определяется главным образом характером развития пожара и углом наклона выработки.

Наиболее эффективным и безопасным способом тушения пожаров в наклонных выработках следует считать заполнение их воздушно-механической пеной, подаваемой сверху-вниз независимо от направления вентиляционной струи. Пример такого метода тушения изображен на рисунке 2. При значительной скорости восходящего потока воздуха необходимо снизить ее до 2-3 м/с закорачиванием струи или возведением временных перемычек, которые позволяют не только сократить расход воздуха, но также исключить утечку пены вниз по уклону или в выработки промежуточных горизонтов.

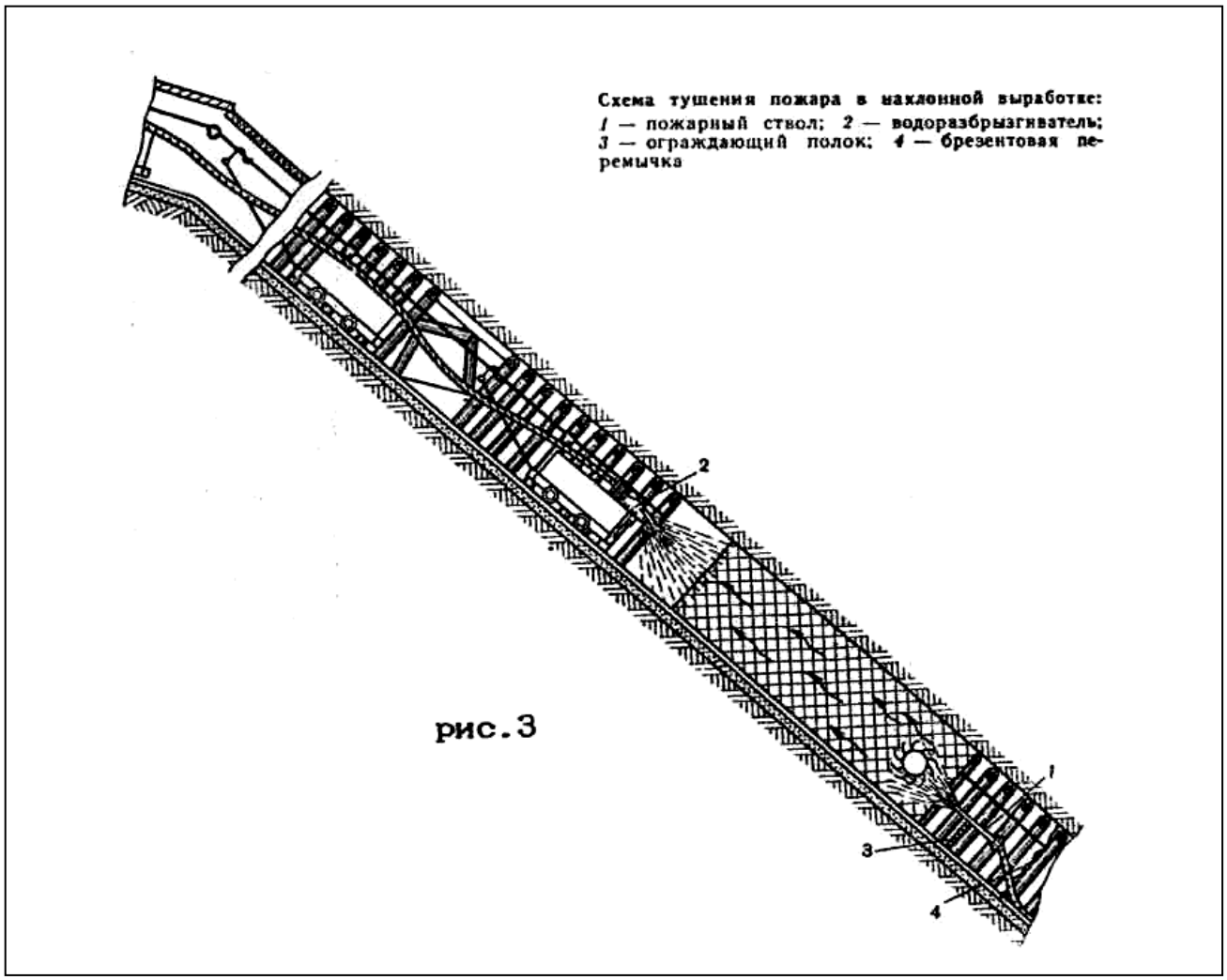


рис.3

Тушение пожаров в наклонных выработках часто осуществляется по схеме, изображенной на рисунке 3, при этом учитывается возможность сочетания дистанционного способа тушения или распространения пожара водой с непосредственным воздействием на очаг огнегасительными средствами.

Если пожар принял угрожающие размеры, а применяемые огнегасительные средства не оказывают эффективного воздействия, следует

принять меры поизоляции наклонной выработки или всего аварийного участка.

Тушение пожаров на ленточных конвейерах

При горении конвейерной ленты в первую очередь принимаются меры посокращению количества воздуха до минимально возможного по газовому фактору.

Независимо от размеров и характера пожара принимаются меры по локализации пожара (установка водяных завес, уборка горючих элементов крепи, разрыв ленты и т.п.) и доставке к месту пожара и введению в действие мощных средств пожаротушения (генераторы инертных газов, порошковые установки При тушении и локализации пожара в наклонной конвейерной выработке принимаются меры по предотвращению травмирования людей и распространения пожара вследствие обрыва и скатывания конвейерной ленты вниз.

С момента возникновения пожара в конвейерной выработке ответственный руководитель ликвидации аварии обязан принять меры по увеличению подачи воды к местам тушения очагов в целях компенсации ее расхода на работу установок автоматического пожаротушения.

Тушение пожаров в горизонтальныхвыработках и камерах

Пожары в горизонтальных выработках имеют свои особенности:

- при пожарах в штреках, квершлагах и других горизонтальных выработках прямое тушение очагов огнегасительными средствами, как правило, возможно лишь со стороны свежей струи воздуха;
- в случае выгорания в выработке крепи и наличия неустойчивых пород кровли могут происходить завалы, затрудняющие тушение пожара, и нарушение нормальных режимов проветривания аварийного участка, что приводит к накоплению горючих газов в пожарном участке до опасных концентраций;
- значительная протяженность штреков и большие скорости вентиляционного потока исключают возможность прямого тушения очагов пожара со стороны исходящей струи, если эти очаги находятся на больших расстояниях (сотни метров) от пересечения штреков с выработками, по которым идет свежий воздух;
- при пожаре в откаточном или вентиляционном штреках создается угроза распространения огня в лаву, а также в выработанное пространство через печи, скаты, гезенки;
- в случае возникновения пожара на вентиляционном штреке активное его тушение со стороны свежей струи воздуха затрудняется из-за сложности доставки пожаротушащих средств через лаву, а со стороны исходящей струи – из- за высокой температуры и сильной задымленности.

При тушении пожаров в штреках, квершлагах и других горизонтальных выработках, расположенных на общей поступающей вентиляционной струе крыла или шахты, а также в выработках добычных участков установленный

вентиляционный режим должен способствовать затуханию пожара и позволять эффективно вести работы по локализации пожара с обеих сторон. Чтобы подойти к очагу пожара со стороны исходящей струи для его локализации водяной завесой или возведения изолирующей перемычки, применяют местное реверсирование вентиляционной струи на участке. После выполнения работ на исходящей из пожара струе восстанавливается нормальное проветривание.

Тушение пожаров в горизонтальных выработках осуществляется со стороны поступающей струи путем непосредственного или дистанционного воздействия на очаг огнегасительными средствами. Для предотвращения распространения огня по выработкам на его пути необходимо устанавливать водяные завесы, сооружать огнепреградительные перемычки или по возможности создавать противопожарные разрывы, а также маневрировать вентиляционной струей.

Когда потушить пожар в горизонтальной выработке со стороны свежей струи воздуха невозможно, тушение необходимо производить с противоположной стороны, предварительно реверсировав вентиляционную струю.

Реверсирование вентиляционной струи должно осуществляться после вывода людей и принятия мер по предупреждению распространения пожара в выработке, по которой после реверсирования будут выходить продукты горения.

При пожаре в выработках околоствольного двора с поступающей в шахту струей воздуха необходимо произвести реверсирование или закорачивание вентиляционной струи, чтобы не допустить распространения продуктов горения на рабочие участки. При пожаре в выработках околоствольного двора на исходящей струе воздуха сохраняется нормальное направление вентиляционной струи с уменьшением расхода воздуха, поступающего к очагу пожара.

Пожары могут распространяться не только по выработке, в которых они возникли, но и проникать в погашенные выработки, в закрепное пространство и другие труднодоступные места. Для предотвращения этого устанавливаются водяные завесы и принимаются другие меры.

При пожарах в выработках и камерах околоствольного двора во избежание распространения огня по шахте необходимо закрыть противопожарные двери околоствольного двора. Однако если закрытие дверей приведет к нарушению вентиляционного режима, установленного планом ликвидации аварий, закрывать их категорически запрещается.

При отсутствии возможности непосредственного тушения пожара его тушат дистанционно порошково-пенными и другими средствами, используя для этого передвижные огнетушители УП-250,УП-500 и установки "Вихрь", ППУ и др.

Применение установки "Вихрь" в выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, наиболее эффективно при расходе воздуха в них до 600 метров кубических в минуту и скорости вентиляционной струи от 1,5 до

2 м/с. Расход порошка должен быть не менее 2,5 кг/с. Эффективность действия установки "Вихрь" при подаче огнетушащего порошка П-2АП в спутный вентиляционный поток зависит от сечения выработки и скорости проходящего по ней воздуха и не превышает 50-60 м.

Тактика тушения пожара при использовании установки ППУ следующая. Первоначально огнетушащим порошком дистанционно гасится пламя, затем тушение оставшихся очагов и охлаждение выработки производится воздушно-механической пеной. При этом тонкодисперсный порошок подают в течение 15-20 минут с расходом не менее 4-5 кг/с, а воздушно-механическую пену - до окончания охлаждения выработки (расход пены 8-10 кубов в сек.).

При тушении пожара, распространившегося в закрепное пространство, в обрушенные породы и другие труднодоступные места, следует использовать пеногенераторы эжекционные типа ПЭК, устройство УЛЭП-2 или устройство УИП.

При тушении пожаров в ***камерах***в зависимости от их назначения руководитель горноспасательных работ и командиры исполнители заданий обязаны предусмотреть проведение следующих мероприятий:

- со складов взрывчатых материалов вынести ВМ, в первую очередь детонаторы. Если это сделать невозможно по каким-либо причинам, то необходимо закрыть противопожарные двери склада и удалиться в безопасное место;
- в лебедочных камерах для предупреждения обрыва канатов в уклонах и бремсбергах от нагрева закрепить грузовую и порожняковую ветви ниже очага пожара;
- в депо аккумуляторных электровозов для предупреждения взрыва водорода прекратить зарядку аккумуляторов, усилить вентиляцию или изменить ее направление и своевременно удалить батареи из камеры.

При тушении ВВ следует применять распыленную воду, пенные и углекислотные огнетушители. Применение песка и кошмы запрещается.

ушить горящие элементы электровозных батарей необходимо в защитных очках на случай разбрызгивания электролита. Тушение батареи производится огнетушащими порошками, песком, инертной пылью.

Горящие жидкости тушат огнетушащим порошком, пеной, песком, инертной пылью или распыленной водой.

Тушение горящих кабелей, электродвигателей, пускателей и другого электрооборудования осуществляется после отключения электроэнергии. Тушение оборудования, находящегося под напряжением, допускается только огнетушащими порошками, песком или инертными газами.

Тушение пожаров в надшахтных зданияхи вертикальных выработках

К наиболее значительным осложнениям могут привести пожары ***в надшахтных зданиях*** воздухоподающих стволов, так как продукты горения в таких случаях с поступающей в шахту вентиляционной струей разносятся по выработкам, угрожая людям отравлением.

Первоочередными мероприятиями при возникновении пожара в надшахтном здании воздухоподающего ствола являются: реверсирование вентиляционной струи по всей шахте, перекрытие устья ствола противопожарными лядами для предупреждения распространения в шахту огня и продуктов горения, а также быстрое сосредоточение и ввод в действие сил и средств для ликвидации пожара. Если по ходу тушения требуется его локализация, то необходимо удалить из помещения все горючие материалы, а также закрыть и уплотнить все имеющиеся двери и окна в горящем помещении, чтобы предотвратить поступление воздуха к очагу пожара.

Тушение пожара в отдельных изолированных помещениях при отсутствии безопасного подхода может быть произведено эффективно с помощью воздушно-механической пены средней кратности, подаваемой пеногенераторами. Для предупреждения образования пылевоздушных взрывчатых смесей нельзя открывать на длительное время двери и окна, а также подавать компактные струи воды из пожарных стволов в места скопления пыли. При тушении пожара в сильно запыленном помещении необходимо смыть и увлажнить осевшую пыль распыленной струей воды.

При пожаре в ***здании вентиляторной установки*** возникает угроза выхода из строя вентилятора, что может привести к изменению режима проветривания шахты. Кроме того, появляется возможность проникновения продуктов горения в шахту при нормальной работе других вентиляторов. При пожаре в вентиляционных каналах возможно распространение огня в смежные горные выработки (стволы, шурфы, вентиляционные сбойки и др.).

Первоочередными мероприятиями по спасению находящихся в шахте людей и локализации пожара в этих условиях являются перевод на реверсивную работу других вентиляторов, закрытие шибера, изолирующего вентиляционный канал от здания вентилятора, перекрытие ляд или противопожарных дверей в устье стволов и шурфов и быстрейшее тушение пожара.

Запрещаются остановка аварийного вентилятора и вскрытие вентиляционного канала, шейки ствола или шурфа до установления устойчивого вентиляционного режима,исключающего попадание продуктов горения в шахту. Необходимо принять меры по предупреждению распространения огня в смежные выработки. Для тушения пожара применяются вода, пенные и порошковые огнетушители и установки, воздушно-механическая пена средней кратности и др.

В процессе тушения пожара принимаются меры по защите электродвигателя вентилятора, контрольной, измерительной и пусковой аппаратуры и оборудования. В вентиляционном канале для локализации пожара со стороны ствола, шурфа или сбойки устанавливают водоразбрызгиватели, удаляют горящие материалы и возводят временные и постоянные изоляционные и противопожарные перемычки. Подачу воздушно-механической пены производят при остановленном вентиляторе через устье канала вентилятора с предварительным перекрытием канала со

стороны шурфа, ствола или вентиляционной сбойки брезентовой или дощатой перемычкой.

При пожарах в ***вертикальных стволах*** с поступающей вентиляционной струей первоочередным и важным мероприятием, обеспечивающим спасение находящихся в шахте людей, является быстрейшее реверсирование вентиляционной струи, а при невозможности реверсирования - закрытие пожарных ляд в устье ствола, пожарных и вентиляционных дверей в околоствольном дворе, остановка вентилятора или закорачивание вентиляц следует учитывать направле образующуюся при пожаре. І воздуха направление вентиля

Независимо от направ очагов пожаров в вертикалы или из выработок вышележа струю воды или воздушно- околоствольных выработках принимают меры по тушени

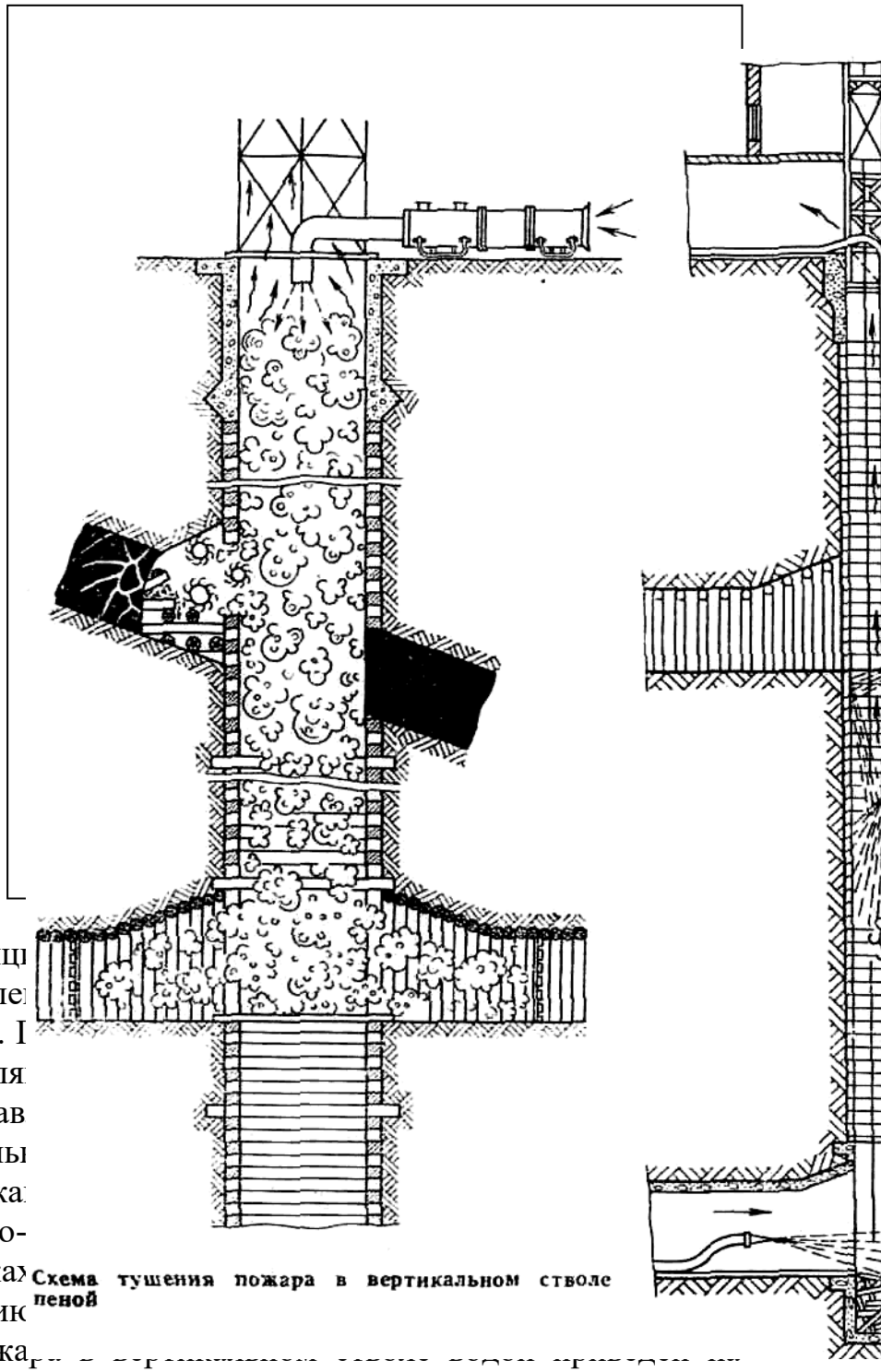


Схема тушения пожара в вертикальном стволе пеной

Пример тушения пожа рисунке 5.

Наиболее простым, безопасным и эффективным средством дистанционного тушения пожаров в вертикальных выработках является воздушно-механическая пена, помощью которой можно быстро заполнить объем ствола (рис.4). Свободно проникая за крепь, в трещины и щели, пена хорошо смачивает и охлаждает горящую крепь и раскаленные боковые породы. Пену в ствол следует подавать высокопроизводительными установками с максимальной интенсивностью для быстрейшего заполнения объема горящей части ствола. После этого поддерживается столб пены в течение 5-6 часов до полного исчезновения признаков горения.

В вертикальных и крутых выработках при пожарах за счет тепловой депрессии обычно устанавливается восходящий поток пожарных газов. При его скорости более 2 м/с пена высокой кратности не может перемещаться вниз под действием собственной массы, поэтому перед подачей необходимо снизить скорость восходящего потока до 1,0-1,5 м/с путем перекрытия выработки полком или временной перемычкой. Пена средней кратности, имеющая большую плотность, может перемещаться под действием собственной массы сверху вниз при скорости восходящего потока воздуха 2-2,5 м/с. Если горящая выработка заполнена пеной, но ее разрушение происходит медленно, снижается пожаротушащий и охлаждающий эффект. В этом случае следует уменьшить содержание пенообразователя в водном растворе до 1,5-3%, чтобы снизилась устойчивость пены. Быстрое разрушение пены ускорит охлаждение очага пожара и стенок выработки.

Посылка отделений ВГСЧ в вертикальные выработки для тушения пожаров запрещается, за исключением случаев, когда есть полная уверенность в безопасности этих работ для исполнителей.

При пожаре в надшахтном здании ствола, находящегося в проходке, когда подходы к застигнутым аварией людям отрезаны пожаром, все силы ВГСЧ и пожарной команды должны быть направлены на тушение пожара для быстрейшего проникновения к людям.

При пожарах в надшахтных зданиях, стволах и других вертикальных выработках должны быть осуществлены меры, предотвращающие обрыв канатов и подъемных сосудов.

При пожарах в копрах башенного типа первое отделение направляется в помещение копра для вывода людей, а второе - на тушение пожара.

Тушение пожаров воколоствольных выработках

Пожары в околоствольных выработках с деятельной вентиляционной струей отличаются быстрым развитием. В результате возникает угроза распространения зоны горения к стволу, складу взрывчатых материалов, электроподстанциям, насосным и другим машинным камерам, выход из строя которых может привести к осложнению аварии. Кроме того, создается угроза распространения продуктов горения по всем выработкам шахты и отравления ими людей. Вместе с тем имеющаяся в околоствольных дворах разветвленная сеть выработок обеспечивает возможность подхода к очагу пожара с нескольких сторон, а наличие достаточного запаса воды в пожарных трубопроводах и водосборниках позволяет эффективно тушить пожар.

Первоочередным мероприятием при пожаре в околоствольных выработках с входящей вентиляционной струей, направленным на спасение находящихся в шахте людей, является реверсирование вентиляционной струи. Остановку главного вентилятора можно допускать только при устойчивом совпадении естественной тяги воздуха с исходящей струей.

При пожарах в околоствольных выработках с исходящей струей воздуха, как правило, сохраняется ее нормальное направление с уменьшением подачи воздуха.

Тушат пожар в этих выработках активным способом, охлаждая очаги пожара водой со стороны поступающей струи воздуха с одновременной установкой водяных завес на всех путях возможного распространения огня. Первоочередные усилия направляются на защиту основных объектов (ствола, электроподстанции, насосной, склада ВМ и др.), а также на предупреждение проникновения огня за бетонную крепь.

Если пожар проник за бетонную крепь, то в ней пробивают отверстия, через которые при помощи поворотных пожарных стволов и водоструйных пик подают в закрепное пространство воду или воздушно-механическую пену под давлением и тушат пожар. Следует иметь в виду, что вскрытие бетонной крепи, особенно в нескольких местах, способствует поступлению воздуха к очагам, что содействует активизации горения.

Тушение пожаров в лавах

При пожарах в лавах имеются следующие особенности:

- в лавах на пластах с углом падения более 30° подход к очагу пожара снизу, как правило, невозможен из-за угрозы травмирования людей падающими горящими предметами и обрушившейся породой;
- тушение пожаров в лавах на тонких пластах мощностью менее 0,6 м трудно осуществимо, а иногда и невозможно ввиду отсутствия необходимого подхода
- к очагу в респираторах;
- в лавах с высокой газообильностью в случае нарушения проветривания возможны вспышки и взрывы метано-воздушной смеси, что значительно осложняет ход ведения горноспасательных работ;
- выгорание крепи в лаве при наличии слабых пород кровли приводит к обрушению, что затрудняет тушение пожара и содействует его распространению в выработанном пространстве.

При тушении пожаров в лавах применяется, как правило, нормальный вентиляционный режим. Тушение пожара в лавах с углом падения до 30° обычно производится снизу вверх, воздействием на очаги огнегасящим порошком из установки "Вихрь" и компактными струями воды из пожарных стволов. Одновременно с этим для предотвращения выхода огня на вентиляционный штрек на сопряжении его с лавой или вблизи нее (5-15 м) устанавливают водяную завесу.

Если угол падения пласта более 30° тушение возникшего в лаве пожара следует производить со стороны вентиляционного штрека с применением пожаротушащих средств дистанционного воздействия (воздушно-механическая пена средней кратности и др.) Вода при этом может подаваться через устанавливаемые вверху лавы водоразбрызгиватели.

В случае если пожар осложнился завалом без нарушения режима проветривания аварийного участка, следует приступить к проведению обходных выработок по целику или обрушенным породам для окружения очага пожара и предупреждения его распространения в выработанное пространство. При наличии в лаве взрывоопасной угольной пыли перед

началом тушения развившегося пожара необходимо обеспечить тщательную обработку огнегасящим порошком лавы и прилегающих выработок.

Во всех случаях тушения пожаров активным способом для предотвращения ожогов и теплового травмирования респираторщиков в результате парообразования запрещается:

- подача воды в очаг, когда на исходящей из очага пожара струе воздуха выполняется разведка или другие работы;
- подача водяной струи в центр очага горения при непосредственном тушении пожаров в тупиковых забоях, камерах и других слабо проветриваемых выработках.

Допускается подача воды в очаг пожара из водоразбрызгивателей, стволов или пожарных пик, установленных стационарно при условии отсутствия людей вблизи очага и на исходящей струе воздуха.

Для предотвращения обильного парообразования и возможного при этом взрыва водорода струю воды следует направлять не в центр очага, а по периферии для постепенного снижения температуры очага пожара.

Выемка пожарных очагов

К выемке пожарных очагов обычно прибегают при тушении подземных пожаров, возникающих от самовозгорания угля в выработанном пространстве, в надштрековых целиках угля и в других труднодоступных местах на тонких пологих и крутых пластах.

Такой пожар, как правило, обнаруживается по появлению продуктов горения в рудничной атмосфере горных выработок, а предполагаемое место его возникновения определяется проведением специальной газовой съемки, т.е. последовательным набором и анализом проб воздуха в наиболее характерных точках выработок по специально разработанному плану. После того как наиболее вероятная зона пожара установлена, проводят серию скважин или горных выработок, а затем такими же выработками оконтуривают зону пожара, а горящий уголь и породу охлаждают водой и выгружают в вагонетки или размещают в свободных местах.

На пластах средней мощности, когда в зоне пожара угольный пласт и боковые породы сильно нарушены, успешное тушение пожара может быть достигнуто подачей воды с помощью водоструйных пик, забиваемых в обрушенную породу. Количество забиваемых пик определяется размером очага пожара и зависит от наличия воды, подаваемой к месту пожара.

При выпуске горящие массы в шахтных вагонетках тщательно охлаждаются водой, а их выпуск по возможности регулируют так, чтобы не допустить воспламенение деревянных элементов крепи. Работающие по тушению таких пожаров должны находиться со стороны запасного выхода из выработки со свежей струей воздуха, чтобы не оказаться отрезанными при внезапном просыпании больших масс горящего угля и породы или внезапном обрушении кровли.

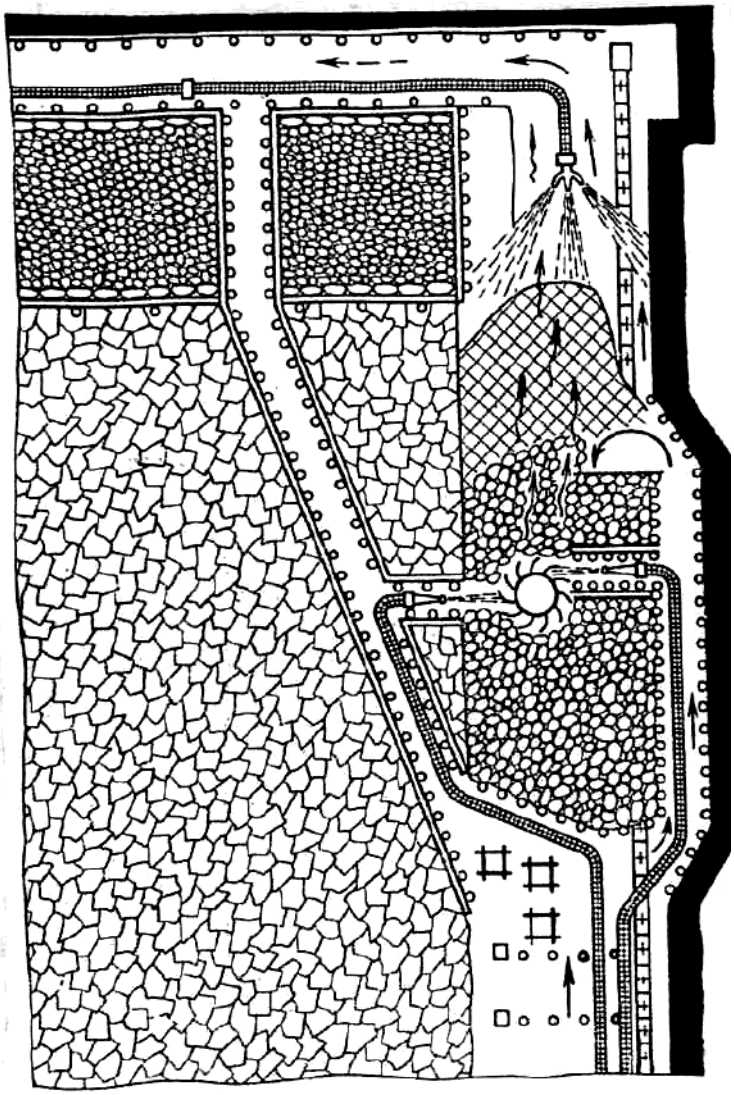


Рис.6

Нельзя заходить в тупиковую часть таких выработок без твердой уверенности в невозможности прогорания крепи сверху и внезапного обрушения пород.

На рисунке 6 приведена характерная схема тушения пожара активным способом выемки горящих масс в очистном забое пологого пласта. В этих условиях пожары обычно тушат со стороны поступающей вентиляционной струи. Чтобы огонь не распространился вверх по лаве и не вышел на вентиляционный штрек, устанавливают водяную завесу выше очага пожара или на сопряжении лавы с указанным штреком. Для этого реверсируют вентиляционную струю.

Если возникший в лаве пожар осложнился завалом, то принимают меры к предотвращению распространения горения в выработанное пространство. Для оконтуривания пожара в таких случаях от нижней границы завала через выработанное пространство на вентиляционный штрек проводят диагональную печь, а вдоль забоя лавы - присечку по углю до верхней границы завала. После этого приступают к проведению выработок по завалу по направлению к очагу пожара для его ликвидации.

При пожарах в очистных забоях обычно породу от проведения выработок не выгружают, а раскладывают в свободных местах лавы.

Во всех случаях ведения работ по активному тушению пожара возникает необходимость в прокладке рукавных линий для подачи огнетушащих веществ к очагу горения. При этом необходимо соблюдать основные ***правила прокладки рукавных линий.***

К месту пожара выкидные рукава доставляются уложенными в двойные скатки. Рукав складывается вдвое и туго скатывается, начиная с

места сгиба по направлению к гайкам. Прокладка рукавной линии осуществляется с руки и ведется обычно от насоса (источника водоснабжения) в сторону очага пожара. Порядок действия личного состава отделения при этом определен "Наставлением по тактико-технической подготовке рядового и командного состава ВГСЧ".

Если выкидная линия огибает остро выступающие предметы, под рукав следует подкладывать специальные седла для создания плавных переходов.

При наличии в выработке рельсовых путей и необходимости перехода через них рукавную линию следует прокладывать, продев один из рукавов под рельсы между шпалами. Во избежание повреждения линии ее необходимо подвешивать выше габарита подвижного состава.

При прокладке рукавной линии необходимо не допускать перекручивания или перегибов ее. За этим необходимо следить постоянно, просматривая линию во время подачи воды.

При наличии тройников их следует устанавливать как можно ближе к очагу пожара. Для прокладки главной магистрали нужно пользоваться рукавами большого диаметра и более прочными по сравнению с ответвлениями.

По возможности необходимо избегать пересечения выкидных линий, чтобы не создавать излишних трудностей при маневрировании с ними. В случае одновременного применения новых и старых рукавов первые из них располагаются непосредственно у насоса, так как они лучше выдержат первоначальное, болеевысокое давление.

При прокладке рукавной линии по крутым и вертикальным выработкам ее необходимо укреплять проволокой за полугайки к крепи.

Подавать воду в проложенную рукавную линию необходимо плавно до полного заполнения водой. Во время подачи воды линейному (обычно респираторщик N 2) постоянно следить за поступлением воды и исправностью рукавной линии и при ее повреждении устранять, используя приспособления сумки линейного.

После применения пожарные рукава должны быть вычищены и хорошо просушены.

При возникновении пожара в шахте, особенно экзогенного, в горных выработках, примыкающих к очагу пожара, нарушается тепловой режим. Значительные его нарушения происходят при пожарах в наклонной или вертикальной выработке. В этом случае появляется дополнительная тяга - ***тепловая депрессия.*** Она в зависимости от места возникновения пожара и его развития может достигнуть значительных размеров.

В связи с тем, что тепловая депрессия постоянно направлена вверх по восстанию выработки, она не всегда совпадает с депрессией вентилятора главного проветривания.

Опрокидывание воздушной струи в пожарной выработке с нисходящим проветриванием может произойти под действием тепловой депрессии, когда ее значение превысит критическое. Критической называется депрессия, создаваемая вентилятором главного проветривания в аварийной выработке в

момент прекращения поступления в нее воздуха из-за противодействия тепловой депрессии.

При пожаре в выработке с восходящим движением воздуха под действием тепловой депрессии может опрокинуться вентиляционная струя в параллельной выработке.

Опрокидывание вентиляционной струи под действием тепловой депрессии не произойдет, если критическая депрессия будет больше тепловой.

Величина тепловой депрессии рассчитывается различными способами.

Критическая депрессия для каждой наклонной выработки с нисходящим проветриванием должна определяться заблаговременно при составлении плана ликвидации аварии. Ее можно определить опытным путем или моделированием.

Сравнивая величины тепловых и критических депрессий для каждой наклонной выработки, можно сделать вывод об устойчивости проветривания или возможности опрокидывания вентиляционной струи при пожарах в этих выработках и предусмотреть в плане ликвидации аварий соответствующие меры и режимы проветривания.

Основными способами предотвращения самопроизвольного опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии являются увеличение сопротивления параллельных вентиляционных ветвей, повышение депрессии и производительности вентилятора главного проветривания.

Тушение пожаров способомизоляции пожарных участков

Если возникший пожар невозможно потушить активным способом путем непосредственного или дистанционного воздействия на очаг огнетушащими веществами (скорость распространения горения превышает скорость тушения имеющимися средствами) или очаг пожара недоступен и возможно взрывоопасное скопление метана и попадание его к очагам горения, пожар необходимо изолировать.

Изоляция пожарных участков, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, заключается в сооружении перемычек во всех примыкающих к нему выработках. Способ тушения пожаров изоляцией следует считать эффективным, если в изолированном пространстве в районе горения будет достигнуто содержание кислорода воздуха, при котором прекращается горение горючих материалов (для угля 2%).

Тип и конструкция изоляционных сооружений определяются оперативным планом ликвидации аварии.

Изоляционные сооружения

Шахтные перемычки классифицируются: по сроку службы - на временные и постоянные; по материалу, из которого они изготовлены - на парусные, надувные, глинобитные, чураковые, кирпичные, бетонитовые, брусчатые, бетонные, пенопластовые и др.; по назначению - на изоляционные, пульпоупорные, водоупорные, фильтрующие,

вентиляционные, взрывоустойчивые; по конструкции – на глухие, с лазами (проемами), врубовые, безврубовые, с "рубашками", усиленные контрфорсами.

Временные перемычки (парусные, дощатые, надувные) применяют для сокращения поступления воздуха на пожарный участок с целью снижения интенсивности горения.

В качестве ***парусной*** перемычки может быть использована любая ткань или синтетическая пленка, обладающая достаточной воздухонепроницаемостью и механической прочностью. Такие перемычки имеются в арсенале ВГСЧ и берутся отделениями на ликвидацию пожаров.

Для навески парусной перемычки в выработке выбирается рама деревянной крепи, наиболее плотно прилегающая к боковым породам. В выработках, закрепленных бетоном, железобетонной или другой монолитной крепью, для возведения парусной перемычки возводится рама деревянной крепи. В выработке, закрепленной металлической крепью, парусная перемычка закрепляется с помощью деревянных клиньев, забиваемых между рамой и затяжкой.

Тема 5. Средства индивидуальной защиты горноспасателей.

Респираторы изолирующие регенеративные

Респираторы изолирующие регенеративные со сжатым кислородом предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания человека от воздействия непригодной для дыхания атмосферы при выполнении горноспасательных и технических работ в угольных шахтах, в т. ч. опасных по газу метану и пыли, рудниках и карьерах.

Для этих целей в основном используются респираторы Р-30 4-х часового строка защитного действия, являющиеся рабочими, и респираторы Р-34 2-х часового защитного срока действия, являющиеся вспомогательными. В спасательных частях находят применение и иные модели респираторов отечественного и зарубежного производства (Р-30М, Р-30Е и др.).

*Рис 1.***Респиратор Р-30** (рабочий)

Рис.2. **Респиратор Р-34** (вспомогательный)

Респираторы Р-30 и Р-34 (рис. 1 и рис. 1) не имеют принципиальных конструктивных отличий в большинстве узлов (блок кислородораспределительный, система шланговая, клапан избыточный, капилляр с манометром, вентиль баллона и ряд других), отличия заключаются только в объеме патрона ХП-И и кислородного баллона, поэтому в настоящем разделе они рассматриваются совместно.

Респираторы Р-30 и Р-34 обеспечивают надежную изоляцию органов дыхания человека в атмосфере, содержащей в отдельности или в сочетаниях следующие газы CO – до 10 %; SO2 – до 2%; H2S – до 1 %; NO2 - до 1 %; CO2 – до 40 %; CH4 – до 100 %; O2 от 0 до 21 %; N2 – до 100 %; а также угольную (породную) пыль – до 10 г/м3. За условный эквивалент максимальной концентрации сочетания вредных газов, при которой допускается работа в респираторе, принято содержание CO, равное 10 %.

Таблица 1. Технические характеристики респираторов Р-30 и Р-34

Показатели	Значения	
	Р-30	Р-34
Гарантированное время защитного действия при работе средней тяжести, температуре окружающей среды (25±1) °С и атмосферном давлении (100±2) кПа (750±15 мм рт.ст.), ч, не менее	4	2
Давление в баллоне, МПа (кгс/см^2)	20(200)	20(200)
Запас кислорода, л, не менее	400	200
Масса поглотителя химического известкового (ХП-И), кг, не менее	2	1,6
Подача кислорода в систему респиратора, л/мин: - постоянная - легочно-автоматическая при давлении в баллоне от 20 до 2МПа (от 200 до 20 кгс/см^2), не менее	 1,4±01 70	 1,4±01 70
- аварийным клапаном (байпасом) при давлении в баллоне от 20 до 3 МПа (от 200 до 30 кгс/см^2),не менее	60-150	60-150
Вакуумметрическое давление, при котором открывается клапан легочного автомата при отсосе из системы респиратора 10 л/мин.	200±100 (20±10)	200±100 (20±10)
Избыточное давление, при котором открывается избыточный клапан, Па (мм вод.ст.)	200±100 (20±10)	200±100 (20±10)
Полезная вместимость дыхательного мешка, л, не менее	5 (4,5)	5 (4,5)
Габаритные размеры, мм:	450х375х165	460х340х140
Масса респиратора в снаряженном виде без охлаждающего элемента, лицевых частей и крышки холодильника, кг	11,6	9,0

Защитные свойства регенеративного респиратора основаны на восстановлении (регенерации) газового состава воздуха для обеспечения нормального дыхания человека.

Процесс регенерации состоит из двух фаз: очистка выдыхаемого воздуха от углекислого газа (оксида углерода) посредством химического поглотителя известкового (ХП-И) и добавления к нему недостающего кислорода из баллона респиратора. В респираторах Р-30 и Р-34 применена круговая схема циркуляции воздуха.

Схема действия респираторов Р-30 (Р-34) и их устройство представлены на рис. 3.

Респиратор Р-34 может быть укомплектован приставкой для проведения искусственной вентиляции легких пострадавшему, включенному в респиратор, в том числе и в непригодной для дыхания атмосфере.

В респираторе Р-34 может применяться шлем-маска.

Техническое обслуживание

Виды и периодичность проверки респиратора

Проверку респираторов выполняют:

- при постановке на боевой расчет;
- во время эксплуатации: после каждой его разборки для переснаряжения; после годовой ревизии;
- после ремонта или замены составных частей;
- в случаях, когда время хранения в состоянии ожидания применения превышает установленный период (более одного месяца).

Примечание: к респираторам, находящимся в ожидании применения,

относятся резервные респираторы и респираторы оперативного состава, находящегося в отпусках, командировках или отсутствующего по болезни.

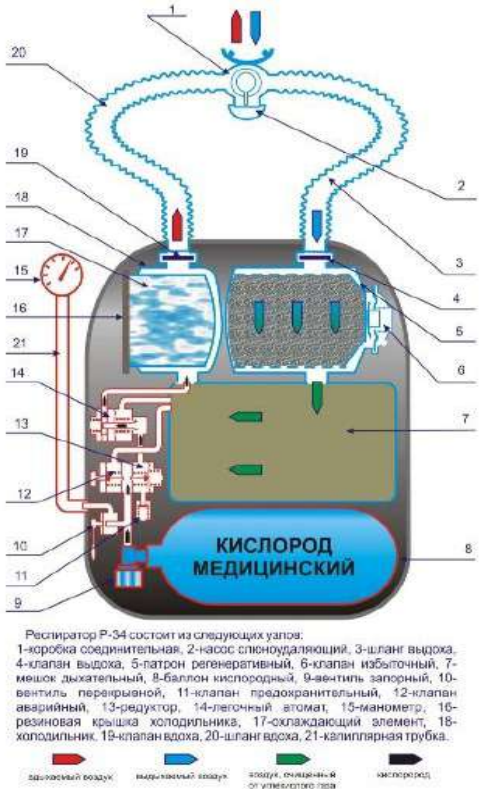


Рис. 3. **Схема респиратора Р-34**

Проверка респираторов в сборе включает:

- внешний осмотр;
- проверку с помощью контрольного прибора УКП-5 или индикаторе ИР;
- субъективную (беглую).

При внешнем осмотре проверяют целостность гофрированных шлангов, дыхательного мешка, состояние патрубков клапанных и мундштучной коробки, исправность носового зажима, головного гарнитура, противодымных очков, защитного чехла загубника. Проверяют надежность крепления баллона, холодильника, патрона, исправность замков корпуса и т. д.

При постановке на боевой расчет нового изделия проверяют его комплектность и наличие документации, а также наличие пломб, клейм и т. д.

Перед проверкой на контрольном приборе (индикаторе) необходимо провести проверку герметичности кислородоподающей системы (баллона с вентилем, кислородораспределительного блока, капилляра с манометром) с помощью тлеющего фитилька или нанесения мыльной эмульсии на места согласно руководству по эксплуатации (или погружением в чистую воду) при открытом вентиле баллона.

Основные показатели, определяющие исправность и работоспособность респиратора проверяются на соответствие нормам

технической документации с помощью контрольного прибора (индикатора).

С помощью приборов осуществляют проверку следующих эксплуатационных показателей:

- герметичность воздуховодной системы респиратора при давлении и разрежении;
- постоянная подача кислорода;
- давление, при котором открывается избыточный клапан;
- разрежение, при котором открывается легочный автомат;
- работоспособность насоса слюноотсасывателя;
- подача кислорода легочным автоматом;
- подача кислорода аварийным клапаном (байпасом);
- давление открытия предохранительного клапана.

Все виды проверок на контрольных приборах проводят в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации конкретного типа респиратора и прибора.

Субъективной проверке без приборов подвергается герметичность дыхательных клапанов и подача кислорода легочным автоматом и байпасом. Кроме того, проверяют герметичность кислородоподающей системы, исправность перекрывного вентиля магистрали манометра, давление кислорода в баллоне по манометру и исправность всех составных частей респиратора.

Разновидностью субъективной проверки является беглая проверка респиратора перед спуском в шахту и заходом отделения в загазованную атмосферу. При этом проверяется герметичность респиратора, работа легочного автомата, аварийного и избыточного клапанов, запас кислорода, исправность сигнального устройства, наличие вспомогательных принадлежностей.

Проверка респираторов (Р-30, Р-34) с помощью контрольного прибора УКП-5

Контрольный прибор подготавливается к проверке в соответствии с инструкцией по его эксплуатации. Затем загубник или маску респиратора присоединяют к контрольному прибору, как указано на рис. 1.5.

Для проверки герметичности системы респиратора при избыточном давлении выключают избыточный клапан с помощью приспособления, предотвращающего его срабатывание. Устанавливают в приборе рычаг КЛАПАН в положение ОТКР., маховичок КР – в положение МАНОМЕТР, а маховичок КЭ – в положение НАГНЕТ. Маховичок ПОТОК должен быть повернут в сторону МЕНЬШЕ до упора, а верхний штуцер манометра-реометра открыт. Вентиль кислородного баллона прибора открывают и, плавно вращая маховичок ПОТОК в сторону БОЛЬШЕ, создают в системе респиратора давление, равное 800 Па (80 мм вод. ст.). После этого быстро переводят рычаг КЛАПАН в положение ЗАКР. Маховичок ПОТОК поворачивают в сторону МЕНЬШЕ до упора.

Если давление в системе респиратора оказалось больше заданного, его уменьшают до необходимого значения с помощью клапана СБРОС. При

установившемся в системе респиратора давлении включают секундомер и наблюдают за уровнем жидкости в трубке манометра-реометра. Давление за одну минуту не должно снизиться больше, чем на 50 Па (5 мм вод. ст.).

Подачу кислорода редуктором и герметичность кислородоподающей системы проверяют следующим образом. Сохраняя прежнее положение органов управления на панели контрольного прибора и не снимая приспособления, предотвращающего срабатывание избыточного клапана, переводят маховичок КР прибора в положение РЕОМЕТР и открывают вентиль баллона в проверяемом респираторе (проверку подачи кислорода устройствами респиратора необходимо проводить при полностью открытом вентиле кислородного баллона).

Время, в течение которого в трубке манометра-реометра устанавливается мениск жидкости, используют для проверки герметичности всех соединений кислородоподающей системы респиратора тлеющим фитильком или мыльной пеной. При этом не должно быть утечки кислорода. После того, как мениск жидкости в измерительной трубке установится, по шкале манометра-реометра проверяют постоянную подачу. При давлении в баллоне (20 ± 1) МПа мениск должен установиться в пределах зоны, ограниченной указательными стрелками.

При проверке на срабатывание избыточного клапана, сохраняя прежнее положение органов управления на панели прибора, из респиратора удаляют приспособление, предотвращающее срабатывание избыточного клапана. Затем в приборе переводят маховичок КР в положение МАНОМЕТР, закрывают крышку респиратора и при наличии постоянной подачи кислорода редуктором по шкале манометра-реометра определяют давление, при котором открывается и работает избыточный клапан. Это давление должно быть равным (20 ± 10) Па.

При проверке на срабатывание легочного автомата переводят в приборе рычаг КЛАПАН в положение ОТКР., а маховичок КЭ – в положение ОТСОС. Вращая маховичок ПОТОК в сторону БОЛЬШЕ, создают поток воздуха 10 л/мин (определяется по расходомеру) и следят за мениском жидкости по шкале манометра-реометра. Срабатывание легочного автомата определяют при установившемся вакуумметрическом давлении (200 ± 100) Па (20 ± 10 мм вод. ст.). После снятия показаний маховичок ПОТОК поворачивают в сторону МЕНЬШЕ до упора.

Проверяют подачу кислорода легочным автоматом, для чего создают поток воздуха 70 л/мин, при этом вакуумметрическое давление (разряжение) не должно превышать 500 Па.

Для проверки герметичности системы респиратора при вакуумметрическом давлении, сохраняя прежнее положение органов управления на панели прибора, закрывают вентиль баллона в респираторе. Вращая маховичок ПОТОК прибора в сторону БОЛЬШЕ, в системе респиратора создают вакуумметрическое давление 800 Па (80 мм вод. ст.) и быстро переводят рычаг КЛАПАН в положение ЗАКР. Поворачивают маховичок ПОТОК в сторону МЕНЬШЕ до упора. Если при этом давление

оказалось больше необходимого, его уменьшают, перепуская воздух с помощью клапана СБРОС. Затем включают секундомер и по шкале манометра-реометра наблюдают за уровнем жидкости. Давление за одну минуту не должно повыситься больше чем на 50 Па (5 мм вод. ст.).

Для проверки насоса слюноотсасывателя, сохраняя вакуумметрическое давление в респираторе, нажимают 3-4 раза на грушу насоса. Если давление увеличивается, насос слюноотсасывателя исправен. По окончании проверки респиратор отсоединяют от прибора.

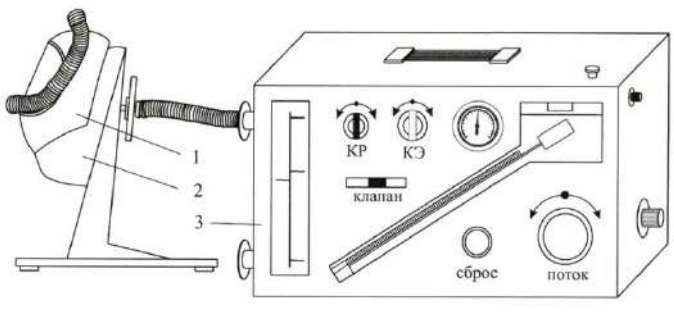
При проверке герметичности перекрытия капиллярной трубки открывают вентиль баллона, закрывают перекрывной вентиль магистрали манометра, затем вентиль баллона закрывают и через байпас выпускают кислород из кислородоподающей системы. Наблюдают за показанием манометра респиратора. Давление за одну минуту не должно снизиться больше, чем на 2,0 МПа. После проверки перекрывной вентиль снова открывают.

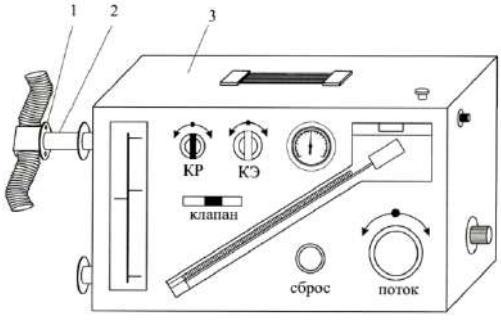
Положение органов управления при проверке респираторов приведено в табл. 2.

Таблица 2. Положение органов управления при проверке респираторов

Вид операции	Положение органов управления на панели			
	КЛАПАН	КР	КЭ	ПОТОК
Нагнетание воздуха в систему	Откр.	Манометр	Нагнет.	Больше
Отсасывание воздуха из системы	Откр.	Манометр	Отсас.	Больше
Измерение герметичности при избыточном давлении	Закр.	Манометр	Нагнет.	Меньше
Измерение герметичности при вакуумметрическом давлении	Закр.	Манометр	Отсас.	Меньше
Измерение расхода реометром	Закр.	Реометр	Нагнет.	Меньше
Измерение потока, поступающего через штуцер расходомера	Закр.	Любое	Отсас.	Меньше
Отсасывание воздуха через штуцер расходомера	Закр.	Любое	Отсас.	Больше
Нерабочее состояние	Откр.	Манометр	Любое	Меньше

Корректировка фактического расхода кислорода в зависимости от температуры и перепада давления в месте измерения проводится по тарировочному графику (таблицам) согласно инструкции по эксплуатации.





ров
ерк
а
рес

Рис. 4. Схема подсоединения респиратора с маской к УКП-5
1 – панорамная маска; 2 – приспособление ПМ;
3 – прибор УКП-5

Индикатор готовят к работе в соответствии с инструкцией по его эксплуатации. Затем загубник или маску респиратора присоединяют к индикатору, как показано на рис. 6 и рис. 7.

Для проверки герметичности системы респиратора при избыточном давлении включают избыточный клапан, устанавливают переключающий кран индикатора в положение «+», нажимают на кнопку КЛАПАН до отказа, ручным насосом создают в системе респиратора такое давление, при котором стрелка контрольного устройства выходит за конечную риску зоны «Г», и отпускают кнопку КЛАПАН. Перепуская воздух из системы респиратора с помощью кнопки КЛАПАН, доводят давление до такого значения, при котором стрелка установится на конечной риске зоны «Г». Затем включают секундомер и наблюдают за стрелкой контрольного устройства. В течение одной минуты стрелка не должна выйти за нижний предел зоны «Г».

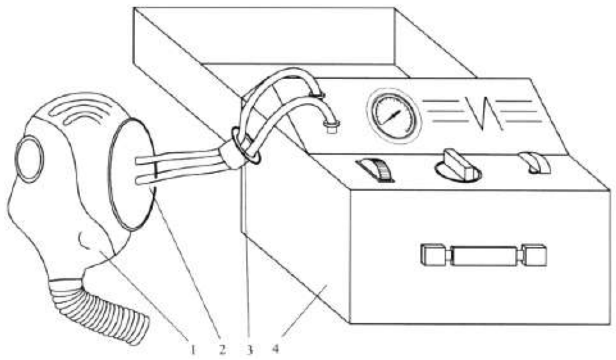


Рис. 6. Схема присоединения респиратора со шлем-маской к индикатору ИР
1 – шлем-маска; 2 – приспособление для проверки шлем-маски; 3 – фланец овальный присоединительный; 4– индикатор ИР

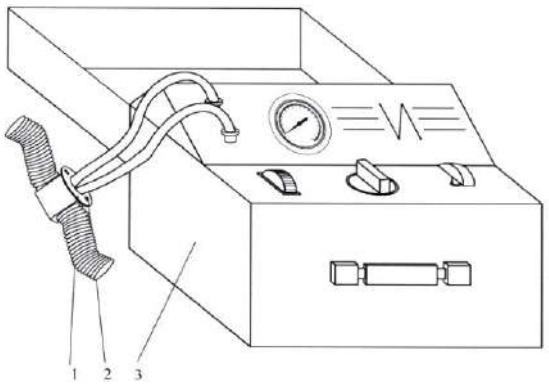


*Рис. 7.***Схема присоединения респиратора с загубником к индикатору ИР**
1 – загубник; 2 – фланец овальный присоединительный; 3 – индикатор ИР со шлем-

При проверке герметичности кислородоподающей системы и подачи кислорода редуктором, не удаляя из респиратора приспособление, предотвращающее срабатывание избыточного клапана, переключающий кран индикатора переводят в положение «Д» и открывают вентиль баллона респиратора. Герметичность всех соединений кислородоподающей системы респиратора проверяют тлеющим фитильком или мыльной пеной. Утечек кислорода не должно быть. Установившаяся стрелка контрольного устройства показывает величину постоянной подачи кислорода. При давлении в баллоне (20±1) МПа стрелка должна находиться в пределах зоны «Д».

При проверке на срабатывание избыточного клапана его освобождают от приспособления. Переключающий кран индикатора устанавливают в положение «+», закрывают крышку респиратора и, при наличии постоянной подачи кислорода, определяют давление, при котором открывается и работает избыточный клапан. Стрелка контрольного приспособления должна находиться в пределах зоны «С».

При проверке на срабатывание легочного автомата нажимают кнопку

КЛАПАН индикатора до отказа, переводят переключающий кран в положение «-» и с помощью насоса отсасывают воздух из системы респиратора, наблюдая за показанием стрелки контрольного устройства, которая должна установиться в пределах зоны «С». После проверки отпускают кнопку КЛАПАН.

Для проверки герметичности системы респиратора при вакуумметрическом давлении, переключающий кран индикатора ставят в положении «-», закрывают в респираторе вентиль баллона. Нажимают на кнопку КЛАПАН до отказа и с помощью насоса создают в системе респиратора такое вакуумметрическое давление, при котором стрелка контрольного устройства выйдет за конечную риску зоны «Г», после чего отпускают кнопку КЛАПАН. Слегка нажимая ее, доводят давление в системе респиратора до такой величины, при которой стрелка контрольного устройства устанавливается против конечной риски «Г». Включают секундомер и наблюдают за стрелкой контрольного устройства. В течение одной минуты стрелка не должна выйти за нижний предел зоны «Г».

Проверки насоса слюноотсасывателя и герметичности перекрытия капиллярной трубки осуществляют аналогично проверкам с помощью прибора УКП-5.

Особенности проверок респираторов, укомплектованных панорамными и шлем-масками

Панорамными масками укомплектованы респираторы Р-30, шлем-масками укомплектованы респираторы Р-34. Данные лицевые части респираторов присоединяются к приборам при помощи приспособлений: панорамная маска – герметизирующим диском или устройством ПМ; шлем-маска – при помощи герметизирующего диска с хомутом.

Панорамную маску проверяют на исправность оголовья и разговорного устройства.

При субъективной проверке дыхательных клапанов панорамную маску прижимают к лицу, а шлем-маску выворачивают и прижимают горловиной ко рту.

Годовая ревизия респиратора

Годовая ревизия респиратора (сервисное обслуживание) производится в специализированном предприятии. Перед отправкой респиратора в специализированное предприятие он должен быть в чистом состоянии, освобожденным от ХП-И патроном и пустым кислородным баллоном.

Порядок и объем производства годовой ревизии респиратора (сервисного обслуживания) должен производится в соответствии технического регламента, включающего в себя: разборку респиратора на детали и узлы; осмотр деталей и узлов с последующей их дефектовкой; заменой изношенных деталей и узлов новыми и исправными; настройку рабочих параметров респиратора; метрологическое обеспечение. При этом не должны снижаться требования норм и допусков, установленных заводскими инструкциями по эксплуатации респиратора,в течении гарантийного срока его эксплуатации.

Для текущего ремонта и восстановленияизделийвоздуховодной системы и фурнитуры респиратора собственными силами в каждом подразделении должен быть комплект запасных частей, перечень и количество которых определяется командиром отряда.

Проверка составных частей респиратора

Проверка составных частей респираторов, а также запасных баллонов, патронов и холодильников производится при их ремонте и годовой ревизии.

Проверку массы рабочего регенеративного патрона и холодильника на соответствие нормам, указанным в инструкции, следует проводить после снаряжения их, а также раз в месяц, если аппарат не применялся.

Проверка запасных регенеративных патронов, холодильников и баллонов производится один раз в месяц. Проверяется наличие пломб на ящике для хранения, состояние и плотность набивки патронов.

Проверяется срок годности баллонов и давление в них.

Производится годовое обслуживание (ревизия) запорного вентиля баллона в подразделении ВГСЧ или в специализированном предприятии.

Проверяются условия хранения охлаждающих элементов, их готовность к применению. Элемент считается негодным, если после извлечения его из контейнера из него выльется более 50 г воды. Подробное описание порядка снаряжения холодильников приведено в руководствах (инструкциях) по эксплуатации конкретного типа респиратора.

Критерии пригодности основных деталей респиратора

Воздуховодная система

Дыхательный мешок считается годным, если он герметичен, выворотные фланцы и резиновая трубка хорошо увязаны, резина, из которой он изготовлен, не имеет признаков старения (трещин, потертостей, вздутий, кратеров от выкрошившихся твердых частиц и т.п.), допускается не более 2 заплат.

Регенеративный патрон пригоден для дальнейшей эксплуатации, если он исправен и герметичен, имеет не более трех вмятин глубиной до 3 мм размером 10-15 мм, резьба и поверхности прилегания уплотнительных колец не имеют забоин и рисок, сетки перегородок не имеют порывов и плотно приварены к рамкам.

Холодильник пригоден к дальнейшей эксплуатации, если он герметичен, имеет не более трех вмятин глубиной до 3 мм размером 10-15 мм, резьбы и поверхности прилегания уплотнительных колец и крышки не имеют рисок и забоин.

Клапан избыточный пригоден к дальнейшей эксплуатации при обязательной замене мембраны и обратного (грибкового) клапана, если клапан не имеет рисок и забоин, торец резиновой подушки цел и не имеет рисок и дефектов.

Клапаны дыхательные при годовой ревизии подлежат обязательной замене.

Дыхательные шланги пригодны к дальнейшей эксплуатации, если они герметичны (в сборе с соединительной коробкой, и мундштучным

приспособлением); прочно увязаны на патрубках вдоха и выдоха соединительной коробки; не имеют потертостей и отслоений тканевой оболочки от резиновой основы, а также признаков старения резины; резьбы гаек и поверхности прилегания уплотнительных колец не имеют забоин и рисок.

Соединительная коробка с мундштучным приспособлением пригодна к дальнейшей эксплуатации, если она герметична (в сборе с дыхательными шлангами); места прилегания резиновых колец (прокладок) не имеют забоин и рисок; ремешки для крепления оголовья не имеют трещин и порывов; винт обеспечивает надежное крепление лицевой части с соединительной коробкой; торцевая поверхность и кромка соединительного винта в месте прилегания выбрасывающего резинового клапана не имеет рисок, забоин и налипших частиц; резиновые детали не имеют признаков старения.

Шлем-маска (при наличии) пригодна к дальнейшей эксплуатации, если она герметична и резина не имеет порывов, трещин, расслоений и признаков старения; целы элементы крепления с соединительной коробкой и стекла (отсутствуют трещины, расслоения, не нарушена прозрачность).

Дыхательная маска (при наличии) пригодна к дальнейшей эксплуатации, если она герметична, резина корпуса, подмасочника и оголовья не имеет порывов, трещин, расслоений и не потеряла эластичность; целы пряжки, кнопки (в том числе места их крепления) и панорамное стекло (отсутствуют трещины, расслоения, не нарушена прозрачность).

Кислородораспределительная система

Баллон с вентилем пригоден к дальнейшей эксплуатации, если он герметичен, имеет исправный вентиль, не содержит влаги и продуктов коррозии. При открытии вентиля из штуцера баллона, установленного вертикально горловиной вниз, на белой бумаге, закрепленной на вертикальной стенке на расстоянии 10-15 мм против штуцера, не появляются следы влаги и ржавчины (давление кислорода в баллоне должно быть 15-20 МПа (150-200 кгс/см2).

Запрещается заполнять кислородом баллоны, краска и надписи на которых не соответствуют «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», на которых отсутствуют необходимые клейма, с истекшим сроком испытания, с неисправным вентилем, с поврежденным корпусом или нарушенной окраской.

К повреждениям корпуса баллона относятся: сильная коррозия, трещины, вмятины, вздутия, раковины и риски глубиной более 0,2 мм, а также износ резьбы горловины.

Неисправностями вентиля баллона являются: износ резьбы для присоединения баллона к ножке моноблока; изгиб или поломка шточка; образование глубокой кольцевой вмятины во фторопластовой вставке клапана; не открывается клапан при вращении маховичка; утечка кислорода через клапан и сальниковую гайку; не вращается маховичек вентиля. Шток с перкой пригоден к дальнейшей эксплуатации, если его торцевая и цилиндрическая поверхности, с которыми контактирует прокладка, гладкие и

не имеют царапин и забоин; не искривлены и целы перка и ось; вращение штока с перкой в собранном вентиле происходит свободно, без заеданий.

Гайка сальника пригодна к дальнейшей эксплуатации, если ее торцевая и цилиндрическая поверхности, с которыми соответственно контактируют прокладки, гладкие и не имеют царапин и забоин; грани шестигранника не сорваны.

Прокладка Р30.03.006 (указана классификация завода – изготовителя) пригодна к дальнейшей эксплуатации, если она монолитна, размер по высоте не менее 1,5 мм, отсутствуют риски, порывы, расслоения, порезы и вкрапления металлических и др. твердых частиц.

Прокладка Р30.03.05 пригодна к дальнейшей эксплуатации, если отсутствуют порывы, порезы (в том числе от кромки гайки сальника при предыдущих ее закручиваниях), размер по высоте не менее 1,2 мм.

Клапан Р30.03.120 пригоден к дальнейшей эксплуатации, если цела резьба и не нарушена запрессовка фторопластовой вставки; глубина кольцевой канавки на торце не превышает 0,2 мм и в ней отсутствуют царапины, вырывы и вкрапление инородных частиц.

Ранец и подвесная система

Подвесная система, поясной ремень и амортизатор, плечевой амортизатор пригодны к дальнейшей эксплуатации, если отсутствуют порывы кожи и значительное коробление, обеспечено надежное крепление к дюралюминиевому щитку.

Ранец пригоден к дальнейшей эксплуатации, если он обеспечивает надежное крепление всех узлов респиратора, не имеет более четырех вмятин глубиной до 5 мм размером до 25 мм, которые не исправляются рихтовкой.

Замена запасных частей

Замена составных частей производится по результатам дефектации. Величина износа отдельных составных частей респиратора зависит от ряда причин, в том числе:

- от длительности и интенсивности эксплуатации респиратора и воздействия на него внешних факторов;

- от вида материала детали респиратора.

Наиболее подвержены быстрому износу резинотехнические и резинотканевые изделия (кольца прокладочные, уплотняющие, лепестки клапанов, мембраны) по причине естественного «старения» материала.

В процессе постоянной нагрузки наблюдается «проседание» и потеря упругости у пружин.

Все запасные части, используемые для замены, должны иметь клеймо ОТК завода-изготовителя или должны быть упакованы в полиэтиленовый пакет с документом, подтверждающим их качество. Вновь используемые запасные части должны быть того завода-изготовителя, который производит выпуск респираторов.

При годовой ревизии респиратора резиновые уплотнительные кольца (прокладки) необходимо заменить новыми. Снятые резиновые уплотнительные кольца (прокладки) - утилизировать.

Демонтаж составной части для замены или ремонта должен производиться с помощью инструментов, исключающих повреждение деталей, особенно посадочных мест под уплотнительные кольца и прокладки. Если нормальная разборка не возможна (сорвана резьба, смяты грани гаек, коррозионное и температурное схватывание деталей и т.п.) допускается разрушение или частичное повреждение составной части для достижения разборки с последующей заменой ее составной частью.

Перечень деталей, подлежащих обязательной замене при проведении годовой ревизии респираторов Р-30 и Р-34 указан в табл. 3.

Таблица 3. Перечень деталей, подлежащих обязательной замене при проведении годовой ревизии респираторов Р-30 и Р-34

Методы обнаружения и устранения наиболее характерных неисправностей респиратора

№ п/п	*Наименование*	*Обозначение*	*Норма на одну операцию*
1.	Кольцо	Р30.05.011	1
2.	Клапан	Р30.05.006	1
3.	Кольцо	Р30.05.004	1
4.	Кольцо	Р30.05.003	1
5.	Клапан	Р30.05.002	1
6.	Клапан дыхательный	Р12.00.01.000	2
7.	Клапан	Р30.03.120	1
8.	Прокладка	Р30.03.105	1
9.	Прокладка	Р30.03.106	1
10.	Фильтр	Р30.02.030	
11.	Клапан редукционный	Р30.02.060	1
12.	Седло клапана л/а	Р12.02.10.000	1
13.	Фильтр-сетка	Р12.02.00.004	1
14.	Мембрана	Р12.02.04.000	1
15.	Мембрана	Р30.02.040	1
16.	Мембрана с диском	Р12.02.11.000	1
17.	Мембрана	Р30.02.015	1
18.	Кольцо уплотнительное	Р12.02.00.038	1
19.	Фильтр редуктора	Р30.02.050	1
20.	Мембрана	Р30.02.005	3
21.	Прокладка	Р30.00.205	1
22.	Кольцо	Р30.00.203	1
23.	Кольцо прокладочное	Р12.05.00.003	2
24.	Клапан грибковый	Р30.00.504	1
25.	Мембрана	Р30.00.520	1

Обнаруженные при (полной, беглой) проверке или годовой ревизии неисправности респиратора устраняются с использованием инструмента и принадлежностей комплектов респиратора и контрольного прибора УКП-5. Неисправности, связанные с потерей герметичности респиратора при избыточном давлении, могут устраняться с последующей проверкой на индикаторе ИР.

Негерметичность респиратора при избыточном давлении

При обнаружении негерметичности респиратора, местá и причины неисправности определяются при избыточном давлении 800 Па (80 мм вод. ст.) с выключенным избыточным клапаном в следующей последовательности:

Проверяется надежность соединения респиратора с контрольным прибором, в том числе соединение овального штуцера прибора с загубником респиратора, шлем-маски или дыхательной маски с соответствующим приспособлением.

Подтягиваются незначительным усилием накидные гайки резьбовых соединений воздуховодной системы респиратора и, в случае отрицательного результата по показаниям прибора, последовательно осматриваются в указанных соединениях прокладки. Каждый раз после осмотра уплотнений очередного соединения в системе респиратора восстанавливается нормируемое избыточное давление и по показаниям прибора оценивается результат. Негерметичность устраняется путем замены прокладок в соединениях.

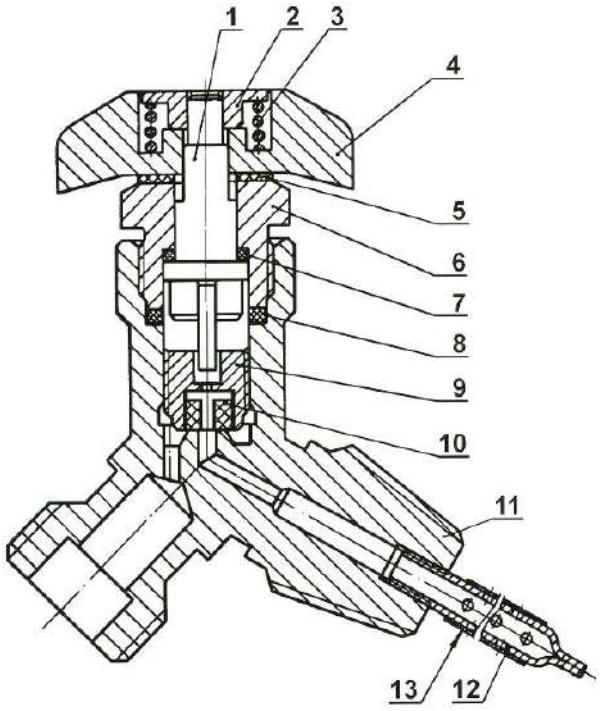


Рис. 8. Запорный вентиль баллона
1 - шток; 2- гайка; 3 – пружина; 4 – маховик; 5- прокладка; 6 – гайка сальниковая; 7, 8 – прокладки; 9 – клапан; 10 – вставка фторопластовая; 11 – корпус вентиля; 12 – фильтр; 13 - сетка

В случае неудовлетворительных результатов поиска мест негерметичности от моноблока респиратора отсоединяется дыхательный мешок и в его накидную гайку ввинчивается заглушка, воздуховодная система респиратора в сборе, присоединенная к прибору, вынимается из ранца и при нормируемом избыточном давлении погружается в ванну с водой. Место утечки выявляется по выделению пузырьков воздуха. В случае обнаружения дефектов в узлах воздуховодной системы, выполняется их ремонт или замена новыми.

В случае негерметичности соединения панорамного стекла с корпусом дыхательной маски наиболее вероятной причиной является ослабление затяжки обойм. Неисправность устраняется затяжкой винтов обоймы.

При неисправности разговорно-соединительного устройства причиной негерметичности могут быть повреждения разговорной мембраны, неправильная установка уплотнительного кольца или старение его резины, а также ослабление прижимного усилия резьбового кольца. Неисправности устраняются подтяжкой резьбового кольца, заменой разговорной мембраны или уплотнительного кольца.

Если при предыдущих проверках причины потери герметичности в воздуховодной системе респиратора не обнаружены, проверяется наличие возможной утечки через сальниковое уплотнение запорного вентиля баллона (гайка 6, прокладки 7 и 8, рис. 8). Для проверки воздуховодная система респиратора в собранном виде помещается в ранец респиратора, дыхательный мешок присоединяется к моноблоку и в респираторе (при закрытом вентиле баллона и отключенном избыточном клапане) создается нормируемое избыточное давление. Утечка может быть выявлена по образованию пузырьков воздуха при обмыливании штока (1) и гайки сальниковой (6) или при погружении респиратора в воду. В случае обнаружения утечки вентиль баллона разбирается, осматриваются детали сальникового уплотнения и, при необходимости, заменяются прокладки.

Потери герметичности в системе респиратора могут иметь место также в результате утечек в резьбовых соединениях моноблока, манометре и его капиллярной трубки. При закрытом запорном вентиле баллона клапаны редуктора, байпаса и легочного автомата (10, 31, рис. 1.10) находятся в открытом состоянии и при избыточном давлении 800 Па в воздуховодной системе респиратора допустима вероятность потери герметичности в указанных выше узлах кислородоподающей системы.

Для определения места негерметичности при открытом вентиле баллона тлеющим фитильком проверяется резьбовое соединение редуктора, байпаса, легочного автомата и манометра, а также герметичность капиллярной трубки манометра и предохранительного клапана.

При невозможности определить утечку кислорода вышеуказанным способом, вентиль баллона закрывается, моноблок и капиллярная трубка с манометром проверяются при нормируемом избыточном давлении 800 Па (80 мм вод. ст.) по выделению пузырьков воздуха при обмыливании резьбовых соединений или при погружении в воду. В случае обнаружения места утечки выясняется причина, для чего соответствующий узел разбирается, осматриваются уплотнения и при необходимости заменяются новыми.

Негерметичность респиратора при вакуумметрическом давлении

Наиболее вероятными причинами могут быть неисправности вентиля баллона в том числе:

- утечка в соединении вентиля баллона с ножкой входного штуцера кислородораспределительного блока. Для устранения потери герметичности в указанном соединении необходимо отсоединить баллон от респиратора, осмотреть прокладку (3) и при необходимости заменить;
- подпитка кислородом системы респиратора из баллона вследствие негерметичного перекрытия клапаном (9, рис. 8) сопла в корпусе вентиля. Для определения причины негерметичности баллон отсоединяется от кислородораспределительного блока и тлеющим фитильком проверяется (при закрытом запорном вентиле) наличие утечки в соединительном штуцере корпуса вентиля. Допускается определение наличия утечки по выделению пузырьков кислорода при обмыливании или погружении вентиля в воду.

При наличии утечки кислород из баллона должен быть выпущен полностью, запорный вентиль разобран и произведена замена его клапана уполномоченными специалистами;

- подсос воздуха в систему респиратора через сальниковое уплотнение вентиля баллона. Как правило, указанная неисправность выявляется при проверке респиратора избыточным давлением.

Превышение нормируемой величины постоянной подачи кислорода

Наиболее вероятными причинами отклонения являются утечки кислорода через клапанные устройства аварийного клапана, основного клапана легочного автомата или редуктора.

Снижение ниже нормируемой величины постоянной подачи кислорода редуктором

Наиболее вероятной причиной неисправности является засорение дозирующего отверстия или фильтра в канале клапана легочного автомата.

Недостаточная подача кислорода легочным автоматом

Наиболее вероятными причинами неисправности являются засорение фильтра редуктора и (или) фильтра входного штуцера, недостаточная пропускная способность клапанного устройства редуктора или пониженное давление в камере редуктора из-за усадки регулирующей пружины.

Другие типичные случаи неисправности лёгочного автомата

После сборки респиратора может возникнуть самопроизвольная непрерывная работа легочного автомата. Причиной неисправности является отсутствие прокладки или резиновая трубка не надета на трубку в дыхательном мешке. Для устранения неисправности свинчивается накидная гайка дыхательного мешка со штуцера моноблока и проверяется наличие прокладки или одевается трубка.

В случае если, как правило, после сборки моноблока, легочный автомат не срабатывает, причиной неисправности является его неправильная или некачественная сборка. В случае срабатывания легочного автомата при вакуумметрическом давлении более 300 Па (30 мм вод. ст.) или менее 100 Па (10 мм вод. ст.) основной причиной является усадка регулирующих пружин (37 и (или) 19, рис. 10). Для устранения неисправности производится регулировка легочного автомата регулирующей гайкой уполномоченными лицами.

Неисправности избыточного клапана

При открывании и работе избыточного клапана при избыточном давлении в системе респиратора менее 100 Па (10 мм вод. ст.) основными причинами является ослабление регулирующей пружины (5, рис. 1.9.) или попадание частиц ХП-И между клапаном мембраны (2) и резиновой подушкой (8) или между фасонным резиновым кольцом мембраны и донышком (9). Для устранения неисправности избыточный клапан отсоединяется от регенеративного патрона, разбирается и подвергается осмотру мембрана (2), ее клапан (в центральной части) и фасонное кольцо (по окружности) на предмет наличия прилипших частиц ХП-И. Мембрана, резиновая подушка и донышко промываются, просушиваются и после сборки

избыточного клапана проверяются пределы его срабатывания. В случае неудовлетворительных результатов проверки в избыточном клапане заменяется регулирующая пружина (5).

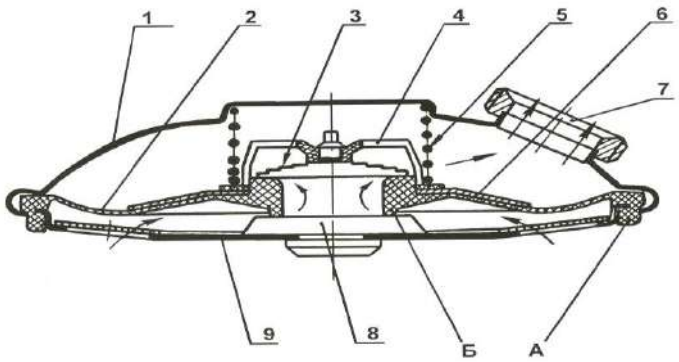


Рис.9. Клапан избыточный
1- корпус; 2- мембрана резиновая; 3- клапан обратный; 4- скоба пластмассовая; 5- пружина; 6-жесткий диск; 7- штуцер; 8- подушка резиновая; 9- донышко; А- кольцо фасонное; Б- клапан

Недостаточная подача кислорода байпасом

Основной причиной неисправности является недостаточная пропускная способность клапанного устройства байпаса. Неисправность устраняется путем замены клапанного устройства.

Неисправности перекрывного вентиля и капиллярной трубки манометра респиратора

Наиболее вероятные причины неисправностей – деформация мембран (7, рис. 10) перекрывного вентиля капиллярной трубки манометра или утечка кислорода в магистрали «капиллярная трубка-манометр».

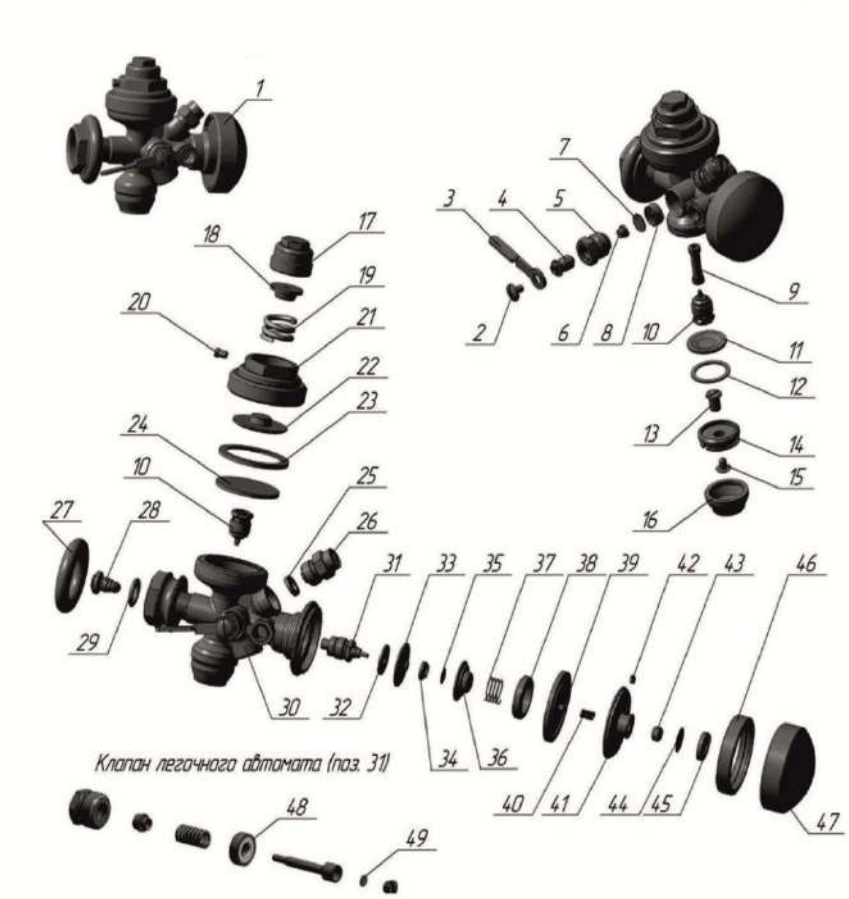


Рис. 1.10. **Блок кислородораспределительный**

1-блок кислородораспределительный; 2-винт; 3-рычаг; 4-шпиндель; 5-гайка; 6-диск; 7-мембрана; 8, 48-седло клапана; 9-фильт редуктора; 10-клапан редукционный; 11-мембрана; 12-шайба; 13-кнопка; 14-гайка; 15-винт; 16-колпак; 17-головка регулирующая; 18-диск центрирующий; 19-пружина регулирующая; 20-винт стопорный; 21-крышка редуктора; 22-диск нажимной; 23-шайба; 24-мембрана с диском; 25-прокладка; 26-клапан предохранительный; 27-кольцо; 28,49-фильтр; 29-кольцо уплотняющее; 30-корпус блока; 31-клапан легочного автомата; 32-шайба; 33-мембрана; 34-гайка; 35-фильтр-сетка; 36-сопло; 37-пружина; 38-

При наличии утечки кислорода в системе «капиллярная трубка-

манометр» давление кислорода по показаниям манометра понижается при открытом вентиле баллона и закрытом перекрывном вентиле. Место негерметичности определяется тлеющим фитильком в соединениях капиллярной трубки с моноблоком респиратора и манометром или непосредственно в манометре. Устранение неисправности достигается подтягиванием резьбовых соединений или заменой прокладок в указанных выше соединениях, а также заменой манометра или капиллярной трубки.

Лицевые части регенеративных респираторов

В регенеративных респираторах применяются три вида лицевых частей СИЗОД: мундштучное приспособление с загубником и носовым зажимом, маска и шлем-маска.

Рис.11.Маска дыхательная «Панорама-Нова» 1 – корпус; 2 – панорамное стекло; 3 – обойма; 4 – стеклоочиститель;5 – мембрана разговорная; 6 – разговорно-соединительное устройство; 7 – подмасочник;

В подразделениях ВГСЧ ФГУП «ВГСЧ» в основном используются дыхательные маски «Панорама Нова» фирмы «Дрегер » (рис. 11), а также находят применение маски отечественного производства ПМ-88М.

Маски «Панорама Нова» выпускаются трех модификаций: Panorama Nova Z, Panorama Nova ZS и Panorama Nova ZST. Они снабжены центральным резьбовым соединением с дыхательными аппаратами.

Панорама Нова Z – маска для дыхательных аппаратов с временем действия до 90 минут.

Панорама Нова ZS и ZST – маски для дыхательных аппаратов с временем действия более 90 минут.

Панорама Нова ZST с телефонным переговорным устройством позволяет поддерживать постоянную связь отделения с КП.

Панорама Нова ZS и ZST снабжены «дворником», который находится внутри маски и приводится в движение рычагом, находящемся на внешней поверхности стекла. Панорама Нова ZST оснащена телефонным устройством, обеспечивающим связь.

Маска типа «Panorama Nova» (рис. 11) состоит из резинового корпуса (1), сферического панорамного стекла (2), закрепленного в корпусе при помощи двух обойм (3). Запотевание стекла устраняется стеклоочистителем (4). Разговорная мембрана (5) уплотнена в гнезде разговорно-соединительного устройства (6) резиновым кольцом и зажимается резьбовым кольцом. В кольцевую проточку устройства (6) установлен подмасочник (7). К воздуховодной системе респиратора маска

присоединяется винтом.

При постановке маски на расчет, после применения, ремонта или замены деталей производится ее помывка теплой водой с мылом и дезинфекция (согласно установленной в подразделениях ВГСЧ технологии).

Сушка маски не должна производиться лучевым теплом (не допускается попадание прямых солнечных лучей), температура в сушильном шкафу не должна превышать + 50 ОС.

Примечание: каждый регенеративный респиратор и воздушный дыхательный аппарат может комплектоваться кислородным (воздушным) стальным или металлокомпозитным баллоном различной емкости.

Воздушные дыхательные аппараты

Аппарат воздушный дыхательный РА-94

Назначение и техническая характеристика

Аппараты воздушные изолирующие серии РА 94 Plus предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия непригодной для дыхания, токсичной, обедненной кислородом и задымленной газовой среды при тушении пожаров в зданиях, сооружениях и на производственных объектах в диапазоне температур окружающей среды от –40 до +60 ОС.

Рис.12. Воздушные дыхательные ап

Таблица 4. Техническая характеристика аппарата РА-94

Показатели	Значения
Продолжительность работы аппарата зависит от емкости используемого баллона с воздухом и интенсивности дыхания пользователя, мин, не менее:	
среднее время защитного действия (без смены баллона емкостью 6,8 л –7,0 л) при расходе воздуха 30 л/мин и температуре окружающей среды 25 ОС	60
среднее время защитного действия (без смены баллона емкостью 6,8 л –7,0 л) при расходе воздуха 30 л/мин и температуре окружающей среды 40 ОС	45
среднее время защитного действия (без смены баллона емкостью 9,0 л) при расходе воздуха 30 л/мин и температуре окружающей среды 25 ОС	80
среднее время защитного действия (без смены баллона емкостью 9,0 л) при расходе воздуха 30 л/мин и температуре окружающей среды 40 ОС	60
Первичное (входное) давление редуктора, бар (МПа)	300 (30)
Вторичное (редуцированное) давление редуктора, бар (МПа)	6-9 (0,6-0,9)
Расход воздуха редуктором, л/мин, свыше:	1000
при 20 бар	500
Установка свистка, бар (МПа)	55±10 (5,5±1,0)

Свисток может быть настроен и на другое давление при запасе воздуха в баллоне выше 200 литров.	
Срабатывание предохранительного клапана, бар (МПа), свыше	13-20 (1,3-2,0)
Сопротивление дыханию при вдохе (при синусоидальном расходе 40х2,5 л/мин и давлении в баллоне выше 20 бар), мбар (мм. вод. ст.), не более.	5 (5)
Размеры аппарата без баллона (длина, ширина, высота), с несущими ремнями в свернутом положении, мм, не более:	620х320х150
Масса аппарата без баллона, кг	3,0
Масса легочного автомата, кг	0,5
Масса панорамной маски, кг	
Панорама Нова	0,55
Панорама Нова Стандарт Р	0,5
Футура	0,67

В аппарате используются панорамные маски: Панорама Нова, Футура, Панорама Нова Стандарт Р, которые работают с избыточным давлением («подпор» в подмасочном пространстве); редуктор -300 бар, стандарт 5/8″ согласно DIN 477 (устройство редуктора показано на рис. 1.13); баллоны стальные или композитные баллоны емкостью от 6,8 до 9,0 литров с рабочим давлением в баллоне 300 бар (30 МПа).

Размеры и масса аппаратов с баллонами и маской указаны в табл. 5.

Таблица 5

Материал и емкость баллона	Размеры (без вентиля)	Масса баллона без воздуха (без вентиля) / с воздухом (с вентилем)
Сталь , 7 л /300 бар	600х140 мм	9,5 кг / ср. 12,0 кг
Сталь (B-Rus 7 /300), 7л/300 бар	565х145 мм	9,5 кг / ср. 12,3 кг
Композит 6,8-9,7 л / 300 бар	520х156 мм	5,62-6,96 кг / ср. 6,4 кг

Масса снаряженного аппарата в различной комплектации указана в табл. 6

Таблица 6

РА 94 с композитным баллоном 6,8 л и маской	10,7 кг.
РА 94 с композитным баллоном 9.0 л и маской	12,1 кг
РА 94 со стальным баллоном 7.0 л. и маской	16,0 кг.

Средний срок службы дыхательного аппарата – не менее 10 лет.

Устройство и работа аппарата

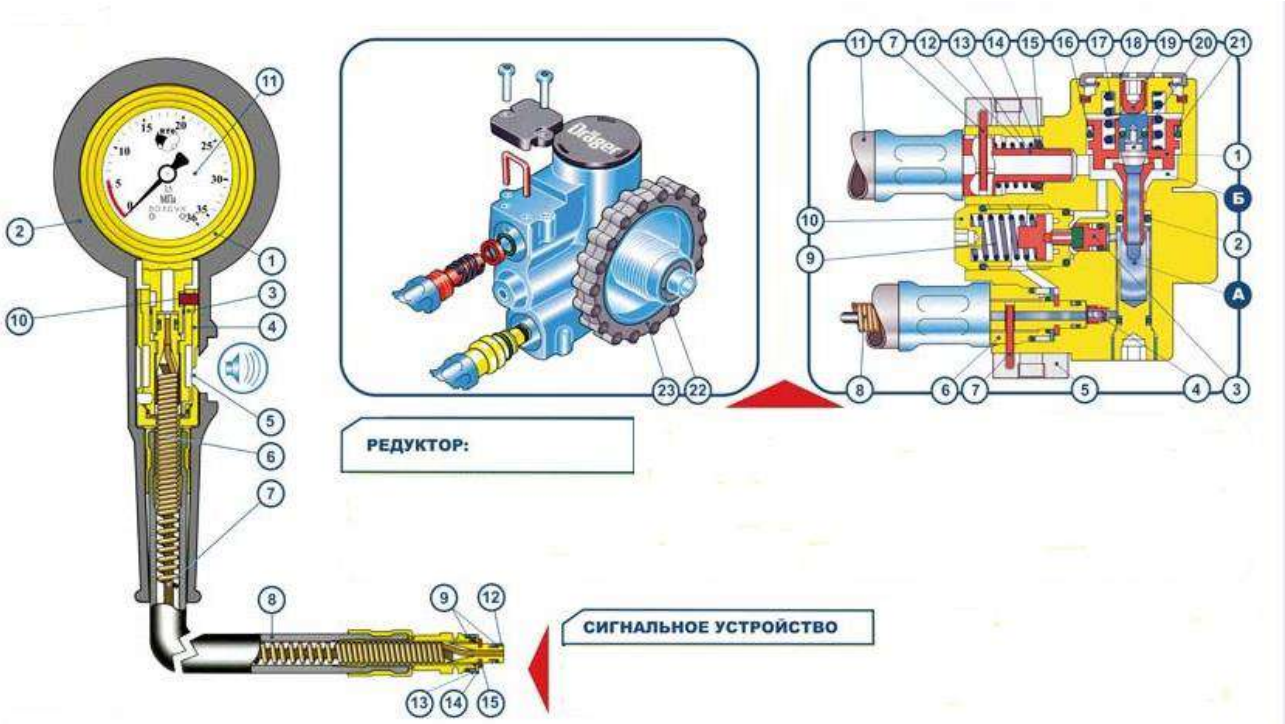


Рис.13. Редуктор воздушного аппарата и сигнальное устройство

Редуктор

1 – поршень; 2 – уплотнительное кольцо; 3 – клапан сигнального устройства; 4 – дюза; 5 – крышка; 6 – штуцер капилляра; 7 – скоба; 8 – капилляр; 9 – пружина сигнального устройства; 10 – винт регулировки сигнального устройства; 11 – шланг среднего давления; 12 – пружина предохранительного клапана; 13 – штуцер шланга среднего давления; 14 – фиксатор уплотнительного кольца; 15 – уплотнительное кольцо предохранительного клапана; 16 – уплотнительное кольцо; 17 – пружина поршня; 18 – пломба заглушка; 19 – винт регулировочный; 20 – плунжер; 21 – защитное кольцо; 22 – уплотнительное кольцо штуцера; 23 – маховик; А – полость высокого давления; Б – полость редуцированного давления

Сигнальное устройство

1 – корпус манометра; 2 – защитный кожух; 3 – корпус свистка; 4 – трубка свистка; 5 – отверстие сигнального устройства; 6 – капилляр; 7 – ось капилляра; 8 – шланг; 9 – уплотнительные кольца; 10 – винт; 11 – циферблат; 12 – штуцер; 13 – фильтр; 14 – шайба; 15 – стопорное кольцо

Панорамная маска

1– полуобойма; 2 – панорамное стекло; 3 – подмасочник; 4 – клапан вдоха; 5 – переговорная мембрана; 6 – клапанная коробка; 7 – крышка; 8 – клапан выдоха; 9 – шейный ремень; 10 – корпус; 11 – оголовье; 12 – пряжка

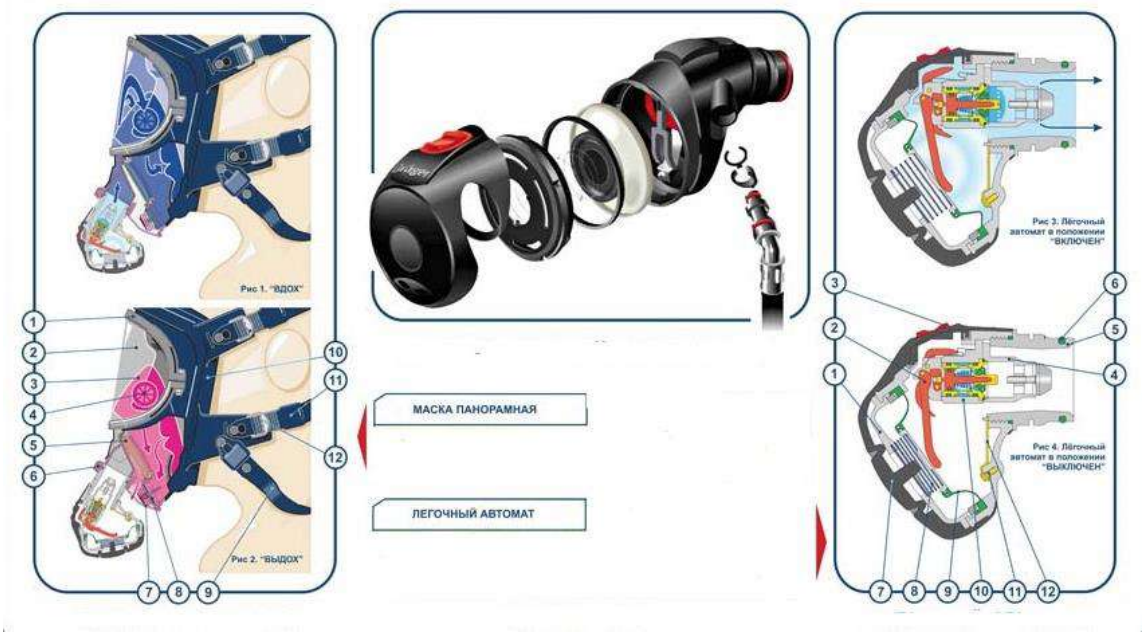


Рис. 14. Панорамная маска и легочный автомат

Легочный автомат

1 – крышка с байонетной защелкой; 2 – рычаг сбалансированного порщня; 3 – кнопка выключения; 4 – корпус эжектора; 5 – штуцер; 6 – кольцо; 7 – крышка резиновая; 8 – пружина; 9 – мембрана; 10 – корпус механизма сбалансированного поршня; 11 – фиксирующий винт: 12 – скоба

Подготовка к эксплуатации

Установка одного баллона:

Проверяется целостность резьбы на вентили цилиндра и на маховичке редуктора.

Проверяется правильность положения и целостности уплотнительного кольца маховичка редуктора.

Установите «спинку» горизонтально, распустите ремень крепления баллона и сдвиньте пряжку ремня фиксации двух баллонов в сторону к крепежу шлангов, образуя тем самым одну полную петлю.

Протяните баллон сквозь ремень, располагая резьбу вентиля над маховиком редуктора.

Поднимите аппарат в вертикальное положение, навинтите маховик на вентиль баллона (до упора), и, после этого, закрепите противовибрационную защелку на маховик редуктора.

Положите «спинку» горизонтально, возьмите свободный конец ремня крепления баллона, натяните его по периметру баллона, чтобы привести в действие замок Camlock, закрепите ремень на липучках.

Проверка исправности аппарата перед постановкой на расчет

Проверка на отсутствие утечки из высоконапорного шланга (проверка № 1)

Конфигурация с одним баллоном 300 бар. Нажмите на установочный рычаг легочного автомата, чтобы поднять и выключить механизм избыточного давления. При нажатии на установочный рычаг нельзя одновременно давить на центр резиновой крышки легочного автомата, кроме того, нельзя давить рычагом в фиксатор.

Откройте медленно, но до конца, вентиль баллона, нагнетая тем самым воздух в систему. В двух баллонной конфигурации достаточно открыть один баллон.

Замечание: если на легочном автомате сразу же обнаружится утечка, нажмите на центральную часть резиновой крышки, чтобы включить механизм избыточного давления, а затем нажмите на установочный рычаг с тем, чтобы его опять выключить. Повторите эти действия 2 или 3 раза, чтобы устранить утечку.

Если утечка не устраняется, то легочный автомат необходимо сдать на ремонт.

Закройте вентиль баллона и наблюдайте за показаниями манометра. Показания на манометре не должны падать быстрее, чем 10 бар в минуту.

Проверка блока предупредительного свистка.

Закройте ладонью руки входное отверстие легочного автомата, нажмите на центральную часть резиновой крышки, включая тем самым механизм избыточного давления. Осторожно поднимая руку и поддерживая небольшое падение давления, медленно выпускайте воздух из системы.

Наблюдайте за показаниями манометра. Свисток должен зазвучать при заданном значении давления.

Примечание: дыхательные аппараты поставляются с установленным значением 55 бар ± 5 бар.

Подсоединение легочного автомата к лицевой маске.

Убедитесь, что штекерный разъем лицевой маски и уплотнительное О-кольцо легочного автомата не повреждены и не загрязнены. Вставьте легочный автомат во входной разъем лицевой маски до защелкивания. Проверьте надежность крепления. Потяните легочный автомат из маски – осевое перемещение должно отсутствовать.

Проверка давления в баллоне.

Проверяется по манометру при открытом вентиле баллона.

Текущее техническое обслуживание

Проводится после каждого использования аппарата.

Снятие баллона с воздухом

Вентиль баллона должен быть закрыт, а в системе не должно быть воздуха.

Поднимите свободный конец ремня крепления баллона, открывая замок Camlock, и распустите ремень. Отстегните противовибрационную защелку (если имеется) от маховичка редуктора, и отвинтите маховичок от вентиля баллона. Отодвиньте баллон от редуктора, снимите его с аппарата.

Перезарядите баллон.

Зарядка баллона воздухом

Заполните баллоны воздухом до давления, указанного на горловине или боковой поверхности цилиндра.

Дыхательный воздух под высоким давлением в баллоне аппарата должен соответствовать требованиям международного стандарта EN 132.

Заправлять можно только баллоны: которые соответствуют

Национальным Стандартам;

на которые нанесены дата и клеймо проведения заводских испытаний; имеют не просроченные клейма о прохождении очередных контрольных испытаний соответствующими уполномоченными органами.

Визуальный осмотр

Поверьте целостность:

- несущей конструкции («спинки»);
- всех ремней, пряжек и застежек; вентилей баллонов;
- лицевой маски;
- баллона (композитные баллоны с поврежденной оплеткой не допускаются к повторному использованию, см. инструкцию по эксплуатации композитных баллонов).

Очистка, дезинфекция и сушка

Тщательно очистите, продезинфицируйте и просушите все загрязненные части после использования аппарата. Применяйте подходящие ванны для используемых моющих и дезинфицирующих растворов. Погрузите и вручную перемешайте в растворе все очищаемые компоненты.

Очистка производится моющим раствором фирмы Drager или мыльным раствором. Температура не должна превышать 30 ОС.

Дезинфекция производится специальными растворами Desi / EW80-Des или другими, например «Биодез- Оптима» (для дезинфекции в ванне). Температура не должна превышать 30 ОС.

Примечание: если легочные автоматы подвергаются регулярной мойке в растворе, то рекомендуется смазывать их уплотнительные О-кольца после каждых 100 моек и дезинфекций, и в любом случае менять их каждые три года.

С целью определения исправности и правильности функционирования (действия) узлов и механизмов аппарата производятся проверки типовые для воздушных аппаратов (приведены в следующем параграфе).

Маркировка аппарата

На спинку аппарата наносится наклейка с указанием:

- модели аппарата: PA 90 Plus (для PA 94 Plus и PA 92 Plus);
- значком органа, ответственного за европейскую сертификацию (CE 96 0088);
- значком органа ответственного за сертификацию в России;
- заводским номером аппарата (4 буквы и 4 цифры), содержащим информацию о дате выпуска.

Определение даты выпуска по заводскому номеру производится на основании следующей таблицы:

PPYM – NNNN

где PP - внутренний номер заводского подразделения;

Y - буква, определяющая год выпуска;

M – буква, определяющая месяц выпуска;

NNNN – 4-х-значный-номер аппарата (начинающийся с 0001 каждый месяц).

Основные неисправности и методы их устранения»

Таблица 6

Неисправность	Причина	Устранение
Утечка из лицевой маски - (проверка на наличие утечек в аппарате, находящемся в эксплуатационном положении)	1. Неисправно или отсутствует уплотнительное О-кольцо на штуцере легочного автомата 2. Утечки в выпускном клапане маски 3. Неисправна переговорная мембрана 4. Не затянуты головные ремни	Отрегулируйте или замените уплотнительное кольцо Прочистите, отрегулируйте или замените Замените Затяните
Неудовлетворительная слышимость	Неисправна переговорная мембрана	Замените
Утечка в шланге высокого давления	1. Проверьте плотность соединений. 2. Проверьте уплотнения на шланговых соединениях	При необходимости затяните При необходимости замените уплотнение
Сброс воздуха из предохранительного клапана	Неисправен редуктор	Верните редуктор на фирму
Утечка воздуха из легочного автомата (постоянный расход)	1. Изношены уплотнительные кольца байонетной защелки 2. Утечка из сбалансированного поршня. 3. Неправильно вставлена мембрана 4. Нажата кнопка байпаса	Замените Верните сбалансированный поршень на фирму Отрегулируйте Выключите
Неправильно срабатывает предохранительный свисток	Свисток загрязнен	Почистите и проверьте
Предупредительный свисток звучит непрерывно	1. Повреждено уплотнение высоконапорного капилляра 2. Неисправен механизм активации свистка	Замените уплотнение и проверьте Верните редуктор на фирму

Воздушные дыхательные аппараты типа АИР – 98МН, АП-98-7К, АП-2000

Назначение и технические характеристики

Аппараты дыхательные АИР-98МН, АП-98-7К, АП-2000 работают по открытой схеме дыхания (вдох из аппарата - выдох в атмосферу) и предназначены для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия токсичной и задымленной газовой среды при тушении пожаров и аварийно-спасательных работах в зданиях, сооружениях и на производственных объектах и эвакуации пострадавшего из зоны с непригодной для дыхания атмосферой при использовании со спасательным устройством.

Таблица 7. Технические характеристики

Показатели	Значения			
	АИР-98МН		АП-98-7К	АП-2000
Количество баллонов, шт.	1	2	1	1
Вместимость баллонов, л	7,0	4,0	7,0	7,0
Рабочее давление в баллоне, МПа	29,4	29,4	29,4	29,4
Давление на выходе из редуктора, МПа	0,7	0,8	0,55-1,0	0,9
Давление срабатывания предохранительного клапана, МПа	1,2	1,4	2,2	1,8
Время защитного действия при расходе 30 л/мин, не менее, мин	60	70	60 (t=25 ОС) 45 (t=25 ОС)	60 (t=25 ОС) 45 (t=25 ОС)
Избыточное давление в подмасочном пространстве при нулевом расходе, Па	500	500	250±100	300±100
Сопротивление дыханию на выходе при вентиляции 30 л/мин, Па, не более	350	350	350	350
Габаритные размеры, мм	650x320x220	650x320x220	650x320x220	*670x290x215
Масса, кг, не более			*11-16	*13-16
Масса спасательного устройства, кг	1,0	1,0	-	-
Срок службы, лет	10	10	10	10

*- колеблются в зависимости от исполнения.

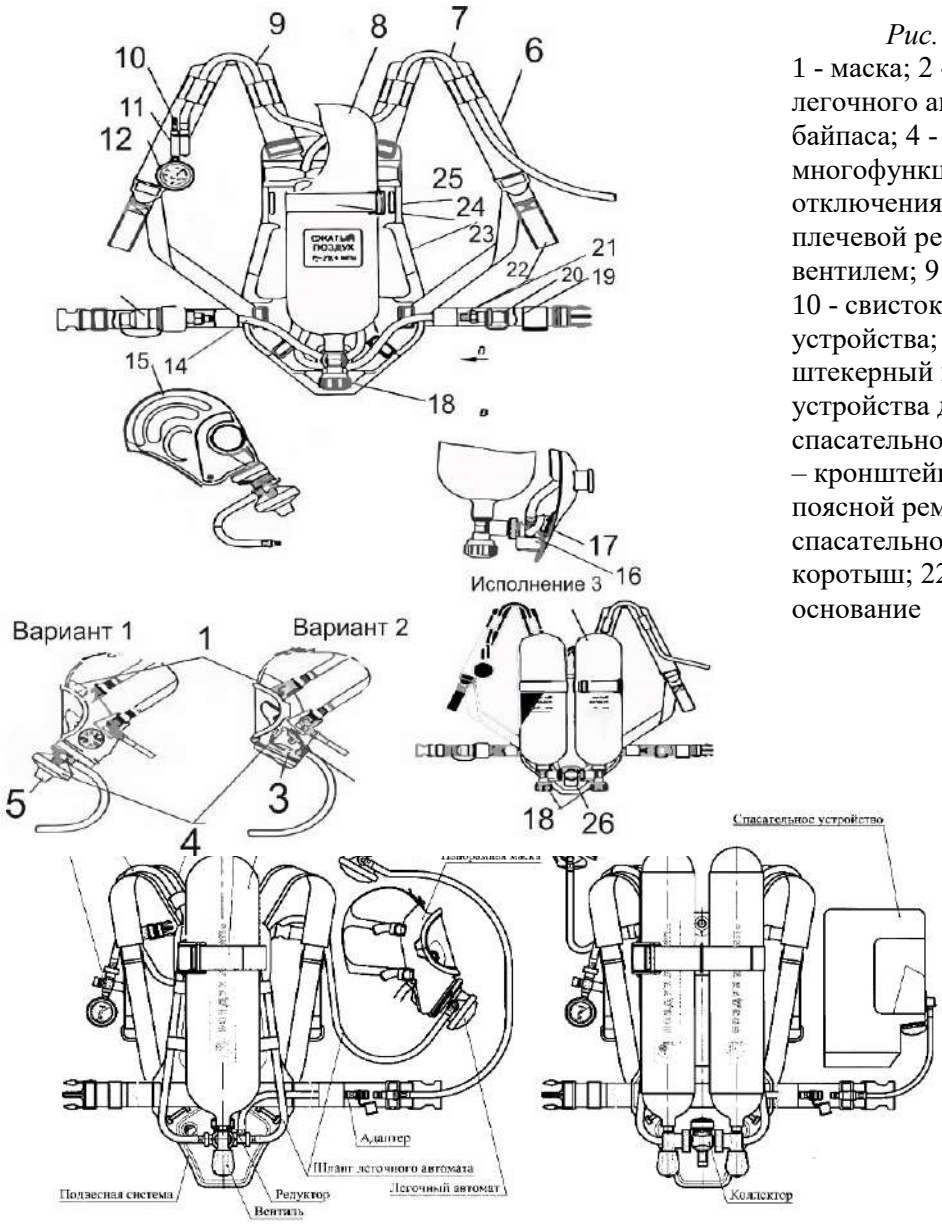


Рис. 4. Аппарат АП-2000
1 - маска; 2 - кнопка отключения легочного автомата, 3 - маховичок байпаса; 4 - легочный автомат; 5 - многофункциональная кнопка (байпаса и отключения легочного автомата); 6 - плечевой ремень; 7 – шланг;, 8 - баллон с вентилем; 9 - шланг высокого давления; 10 - свисток, 11 - корпус сигнального устройства; 12 – манометр; 13 - штекерный ниппель; 14 - шланг устройства для дозарядки; 15 - спасательное устройство; 16-редуктор; 17 – кронштейн; 18-маховичок вентиля; 19 - поясной ремень; 20 - замок подключения спасательного устройства; 21 - шланг-коротыш; 22 - концевой ремень; 23 – основание

Рис. 16. Аппарат АИР-98 в 2-х исполнениях

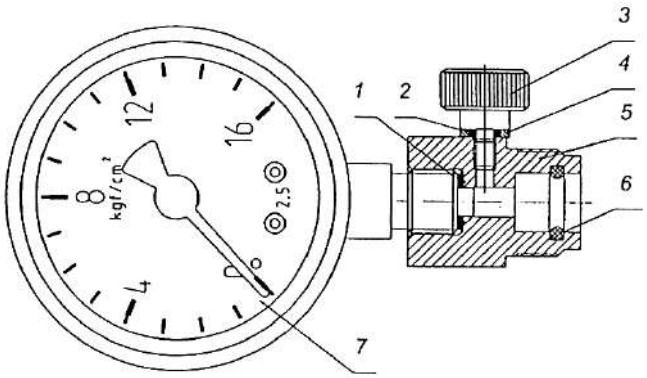
Техническое обслуживание

Средства измерения и принадлежности

Для контроля параметров аппарата в процессе эксплуатации применяется индикатор ИР-2 или система «Каскад».

Технические характеристики индикатора ИР-2, его описание и инструкция по применению приведены в руководстве по эксплуатации ИР-2.00.00.000РЭ и в данном Руководстве.

Для проверки давления на выходе редуктора применяется приспособление Пр-633 (рис. 17).



Для проверки параметров аппарата на индикаторе ИР-2 применяются приспособления из комплекта ЗИП индикатора и оборудование аппаратного зала (проверочный диск, муфта) и пробки из комплекта аппарата.

Проверки аппарата

Дыхательные аппараты на сжатом воздухе проверяются согласно Регламенту:

- перед заступлением на дежурство, перед включением;
- 1 раз в месяц и после применения;
- 1 раз в год профилактический осмотр (проводится лицом, допущенным к эксплуатации и обслуживанию аппаратов или в специализированном предприятии).

С целью определения исправности и правильности функционирования (действия) узлов и механизмов аппарата производятся:

- боевая проверка - непосредственно перед каждым включением в аппарат;
- проверка № 1 - непосредственно перед заступлением на боевое дежурство, а также перед проведением тренировочных занятий на свежем

воздухе и в непригодной для дыхания среде, если пользование аппаратом предусматривается в свободное от несения караульной службы время (боевого дежурства);

- проверка № 2 - после замены баллонов, дезинфекции, закрепления аппарата за спасателем, а также не реже одного раза в месяц, если в течение этого времени аппаратом не пользовались;
- проверка № 3 - в установленные календарные сроки, но не реже одного раза в год.

Проверка № 3 проводится на предприятии-изготовителе или в специализированной организации лицами, либо лицами, прошедшими соответствующую подготовку (если иное не оговорено инструкцией по эксплуатации изделия).

Боевая проверка, проверка № 1 и проверка № 2 проводятся пользователем аппарата.

Боевая проверка аппарата.

При боевой проверке необходимо проверить:

1) исправность маски и правильность подсоединения к ней легочного автомата;
2) герметичность аппарата на разрежение;
3) работу легочного автомата и клапана выдоха маски;
4) срабатывание сигнального устройства;
5) давление воздуха в баллоне.

Проверку исправности маски и правильности подсоединения к ней легочного автомата производят визуально. Проверяют отсутствие повреждений элементов маски и надежность соединения легочного автомата с маской, а для варианта 2 дополнительно:

пытаясь осторожно вращать легочный автомат, убеждаются, что фиксатор закрыт;

убеждаются, что маховичок байпаса находится в выключенном положении или выключают его, повернув на 90° по часовой стрелке.

Проверку герметичности аппарата на разрежение производят при закрытом вентиле баллона.

Для проверки необходимо плотно приложить маску к лицу и попытаться сделать неглубокий вдох. Если при вдохе создается большое сопротивление, не дающее сделать дальнейший вдох и не снижающееся в течение 2-3 с, аппарат считается герметичным.

Проверку исправности легочного автомата и клапана выдоха маски производят при надетой пользователем маске.

Для этого:

нажатием на кнопку до упора выключают механизм легочного автомата;

открывают вентиль баллона (одного из баллонов);

надевают маску на голову и производят ее подгонку;

после первого глубокого вдоха убеждаются, что легочный автомат включился, и в полости маски возникло избыточное давление, для чего

делают несколько вдохов и выдохов; затем, затаив дыхание, подсовывают палец под обтюратор маски и убеждаются в наличии постоянного потока воздуха из-под маски;

убирают палец из-под обтюратора и, затаив приблизительно на 10 с дыхание, прислушиваются, чтобы убедиться в отсутствии утечки воздуха по обтюратору маски.

При обнаружении утечки регулируют положение маски подтягиванием ремней, избегая их перетягивания, и повторно проверяют отсутствие утечки. После этого выключают легочный автомат нажатием на кнопку до упора и снимают маску.

Проверку срабатывания сигнального устройства проводят в следующей последовательности:

открывают и закрывают вентиль баллона и, осторожно нажимая на кнопку байпаса (вариант 1) или поворачивая маховичок байпаса (вариант 2), стравливают воздух из внутренних полостей аппарата, одновременно наблюдая за показаниями манометра;

в момент возникновения звукового сигнала отмечают показание манометра аппарата и убеждаются, что оно соответствует установленному требованию.

Проверку давления воздуха в баллоне (баллонах) производят при открытом вентиле по манометру. При проверке фиксируют показание манометра, которое должно быть не менее 25 МПа (250 кгс/см2). При необходимости аппарат дозаряжают.

Проверка № 1

При проверке № 1 необходимо проверить:

1) исправность маски;
2) исправность аппарата в целом;
3) наличие избыточного давления в подмасочном пространстве и герметичность системы высокого и редуцированного давления;
4) давление срабатывания сигнального устройства;
5) исправность устройства дополнительной подачи воздуха (байпаса);
6) давление воздуха в баллоне.

Проверку исправности маски производят визуально. Проверяют укомплектованность маски и отсутствие повреждений ее элементов. Для этого:

отсоединяют маску от легочного автомата;

выворачивают наружу подбородочную чашу;

производят осмотр стекла маски и ее корпуса, корпуса подмасочника, клапанов вдоха, клапана выдоха и переговорного устройства;

убеждаются в отсутствии повреждений панорамного стекла, разрывов мембраны переговорного устройства, проколов корпуса маски и подмасочника.

Проверку исправности аппарата в целом производят внешним осмотром. При этом:

подсоединяют легочный автомат к маске, предварительно проверив

отсутствие повреждений уплотнительного кольца, а затем - надежность соединения;

проверяют надежность крепления подвесной системы аппарата, баллона (баллонов), манометра и убеждаются в отсутствии механических повреждений узлов и деталей.

Перед проверкой наличия избыточного давления в подмасочном пространстве (с помощью индикатора ИР-2) и герметичности системы высокого и редуцированного давления выключают механизм легочного автомата, убеждаются в надежности подсоединения маховичков редуктора, вентиля (вентилей и тройника), а также в том, что маховичок байпаса находится в выключенном положении или выключают его, повернув на 90° по часовой стрелке (для варианта 2).

Для проверки:

надевают маску на проверочный диск в сборе с муфтой;

соединяют один штуцер переходника из состава индикатора ИР-2 с диском;

открывают вентиль баллона;

делают через свободный штуцер переходника один глубокий вдох и соединяют этот штуцер с индикатором ИР-2;

фиксируют положение показывающей стрелки индикатора. Результат проверки считается положительным, если показывающая стрелка индикатора находится в пределах зоны "Р";

отсоединяют штуцер переходника из состава индикатора ИР-2 от диска и заглушают его с помощью заглушки;

определяют по манометру аппарата давление воздуха;

закрывают вентиль баллона и наблюдают за показаниями манометра.

Если в течение 1 мин падение давления воздуха в системе не превышает 2 МПа (20 кгс/см2), аппарат считается герметичным.

При обнаружении негерметичности необходимо найти место утечки. Для этого при открытом вентиле (вентилях) на все места соединений наносят мыльную пену и по росту пузырей определяют место негерметичности. Обнаруженную утечку устраняют подтягиванием маховичка редуктора (и маховичков тройника при его наличии) или заменой уплотнения при закрытом вентиле баллона (вентилях баллонов) и отсутствии давления в системе аппарата.

Проверку давления срабатывания сигнального устройства производят в следующей последовательности:

открывают и закрывают вентиль баллона;

плавно нажимают на кнопку байпаса (вариант 1) или поворачивают маховичок байпаса (вариант 2), стравливают воздух из аппарата и наблюдают за показаниями манометра;

в момент возникновения звукового сигнала отмечают показание манометра аппарата и убеждаются, что оно соответствует требованию руководства.

Проверку исправности устройства дополнительной подачи воздуха

(байпаса) производят следующим образом:

открывают вентиль баллона (одного из баллонов);

плавным нажатием на кнопку или поворотом маховичка открывают дополнительную подачу воздуха и убеждаются в исправности устройства по характерному звуку подачи воздуха.

Проверку давления воздуха в баллоне (баллонах) производят по манометру при открытом вентиле баллона. При необходимости аппарат дозаряжают.

Проверка № 2

При проверке № 2 необходимо проверить:

1) исправность маски;
2) исправность аппарата в целом;
3) наличие избыточного давления в подмасочном пространстве и герметичность системы высокого и редуцированного давления;
4) давление срабатывания сигнального устройства;
5) герметичность воздуховодной системы с легочным автоматом спасательного устройства;
6) исправность легочного автомата и клапана выдоха спасательного устройства;
7) исправность устройства дополнительной подачи воздуха (байпаса);
8) давление воздуха в баллоне (баллонах). Проверки по пунктам 1-4, 7, 8 проводят в объеме и последовательности, предусмотренными настоящим руководством для проверки №1. Проверки по пунктам 5 и 6 проводят нижеследующим образом.

Проверку герметичности воздуховодной системы с легочным автоматом спасательного устройства производят с помощью индикатора ИР-2 последовательно при вакуумметрическом и избыточном давлении.

Для проверки:

отсоединяют шланг легочного автомата;

герметизируют входной штуцер легочного автомата пробкой 9В8.656 363, а клапан выдоха (только для проверки при избыточном давлении) - пробкой 9В8.656.363-01;

надевают маску спасательного устройства на проверочный диск в сборе с муфтой и соединяют его с индикатором ИР-2 с помощью переходника из состава индикатора ИР-2;

индикатором ИР-2 создают последовательно вакуумметрическое и избыточное давление, при котором стрелка показывающего контрольного устройства достигает конца зоны "Г" или отклоняется несколько дальше;

после выдержки в течение 1 мин фиксируют положение показывающей стрелки контрольного устройства.

Результат проверки считается положительным, если при вакуумметрическом и избыточном давлениях стрелка не вышла за начало зоны "Г" шкалы контрольного устройства.

В противном случае необходимо найти место утечки, для чего на места соединений наносится мыльная пена и по росту пузырей определяется место

негерметичности.

Обнаруженную негерметичность устраняют подтягиванием соответствующего соединения или заменой уплотнения.

Проверку исправности легочного автомата и клапана выдоха спасательного устройства производят с помощью индикатора ИР-2. Для проверки:

соединяют маску спасательного устройства 15 с воздуховодной системой аппарата через замок 20 (см. рис. 1.15);

надевают маску спасательного устройства на проверочный диск в сборе с муфтой и соединяют с помощью переходника из состава индикатора ИР-2 диск с муфтой с индикатором ИР-2;

открывают вентиль баллона (одного из баллонов), создают индикатором ИР-2 вакуумметрическое давление и фиксируют положение показывающей стрелки индикатора, соответствующее моменту открытия клапана легочного автомата.

Результат проверки считается положительным, если показывающая стрелка индикатора в момент открытия клапана легочного автомата находится в пределах зоны "АСВ-2".

Проверка № 3

Проверка № 3 аппарата предусматривает:

неполную разборку, осмотр, промывку, чистку, дезинфекцию и сборку аппарата;

проверку № 2 (пп. 3-8);

проверку давления на выходе редуктора (без расхода);

зарядку аппарата.

Неполную разборку аппарата производят в следующей последовательности:

отсоединяют маску 1 от легочного автомата 4;

отсоединяют легочный автомат 4 (вариант 1) от шланга 7;

открывают замок 25, отсоединяют баллон 8 от редуктора 16 (исполнения 1, 2, 4) или баллоны 8 от тройника 26 (исполнение 3);

снимают баллон (баллоны) 8 с основания 23;

отсоединяют тройник 26 от редуктора 16 (для исполнения 3);

при наличии спасательного устройства (рис.1.15) отсоединяют маску спасательного устройства 1 и шланг 4 от легочного автомата 2;

отворачивают крышку легочного автомата и вынимают мембрану (аналогичные действия выполняют для разборки легочного автомата спасательного устройства);

снимают крышку (рис. 1.15) клапанной коробки 13, вынимают пружину и клапан выдоха 8 (для варианта 1);

снимают крышку (рис. 14) клапанной коробки 6, вынимают клапан выдоха 8 (для варианта 2).

Осмотр аппарата производят в следующей последовательности:

Осматривают маску.

В легочном автомате осматривают корпус легочного автомата, кнопку

выключения, мембрану.

В легочном автомате осматривают корпус, кнопку выключения 5, фиксатор 13, маховичок байпаса 8 и уплотнительное кольцо и убеждаются в отсутствии повреждений. При обнаружении повреждений уплотнительного кольца его заменяют новым из комплекта ЗИП.

При обнаружении повреждений, препятствующих дальнейшей эксплуатации легочного автомата, производят его ремонт или заменяют новым.

Производят осмотр уплотнительного кольца А редуктора. При наличии повреждений кольца его заменяют новым из комплекта ЗИП.

Производят осмотр шлангов 7, 9, 14 и 21 (рис. 15) и убеждаются в отсутствии порезов и разрывов внешней оболочки рукавов шлангов.

При обнаружении потертостей, трещин или порезов оболочки шлангов их заменяют новыми.

Осмотр баллона с вентилем (баллонов с вентилями и тройником) производят следующим образом:

осматривают баллон в соответствии с документацией на него;

осматривают вентиль на отсутствие внешних повреждений;

осматривают уплотнительные кольца тройника. При наличии повреждений колец их заменяют новыми из комплекта ЗИП.

Осмотр спасательного устройства (при наличии) проводят в следующей последовательности.

Подвергают внешнему осмотру маску 1 спасательного устройства, клапан выдоха. Убеждаются в отсутствии разрывов, порезов, проколов в маске и плотном прилегании клапана выдоха. При необходимости маску заменяют новой.

Производят осмотр поверхности шланга 4, корпуса легочного автомата 2, кнопки байпаса 3, мембраны. Убеждаются в отсутствии порезов и проколов рукава шланга, мембраны, повреждении пластмассового корпуса легочного автомата и кнопки байпаса. При необходимости производят замену шланга или ремонт легочного автомата.

При осмотре все уплотнительные кольца снимают, промывают этиловым спиртом от старой смазки и смазывают тонким слоем новой смазки. Применяемая смазка - ВНИИ НП-282 ТУ 38 101 1261. Норма расхода на каждое кольцо:

этилового спирта - 3 г;

смазки -1 г.

Уплотнительные кольца и мембрана аппарата рассчитаны на весь срок службы и подлежат замене только при их повреждении.

Промывку, чистку и дезинфекцию аппарата проводят в соответствии руководства по эксплуатации, включая чистку, дезинфекцию мембран легочных автоматов, а также промывку и чистку клапанов выдоха.

Сборку аппарата производят в обратной последовательности.

После сборки аппарата производят проверку №2.

Проверку давления на выходе редуктора (без расхода) производят

следующим образом:

подключают спасательное устройство 15 к замку 20 (рис. 15);

отсоединяют легочный автомат 2 спасательного устройства (рис. 20) от шланга 4;

подключают приспособление Пр-633 (рис. 17) к шлангу легочного автомата спасательного устройства;

открывают вентиль баллона (одного из баллонов) и фиксируют показание контрольного манометра приспособления.

При наличии маски по варианту 1 данная проверка может производиться и без наличия спасательного устройства. Для проверки подключают приспособление Пр-633 к шлангу 7 (рис. 15), предварительно отсоединив легочный автомат 4.

Результат проверки считается положительным, если показание контрольного манометра находится в пределах 0,5 - 0,9 МПа (5 - 9 кгс/см2).

Проверку сигнального устройства производят в следующей последовательности (данная проверка производятся только в случае обнаружения негерметичности).

Сняв стопорное кольцо, вынимают ниппель шланга высокого давления из корпуса сигнального устройства. Производят осмотр резиновых уплотнительных колец.

Проверку шлангов высокого и низкого давления проводят в следующей последовательности.

Вывернув шланги из резьбовых отверстий редуктора, убеждаются в отсутствии повреждений герметизирующих колец.

Зарядку аппарата производят в соответствии с руководством по эксплуатации.

В случае обнаружения неисправности аппарата производится его ремонт лицами, прошедшими соответствующую подготовку на предприятии-изготовителе или в учебных центрах и получившими сертификат на право технического обслуживания и ремонта аппарата. Ремонт производится в соответствии с технической документацией по ремонту аппарата, которая выдается после прохождения обучения.

Маркировка аппаратов

Маркировка аппарата нанесена на табличке (заводском знаке), прикрепленной к основанию подвесной системы, и содержит условное обозначение аппарата, номер технических условий, дату выпуска, заводской номер. Там же нанесено наименование предприятия-изготовителя и его товарный знак, знак соответствия ГОСТ Р и знак соответствия нормам пожарной безопасности.

Маски дыхательных аппаратов

В состав аппарата в зависимости от комплектации могут входить два варианта масок:

- маска ПМ-2000 с легочным автоматом 9В5.893.497 - вариант 1;
- маска "Пана Сил" из неопрена или силикона с резиновым или сетчатым оголовьем с легочным автоматом 9В5.893.460 - вариант 2.

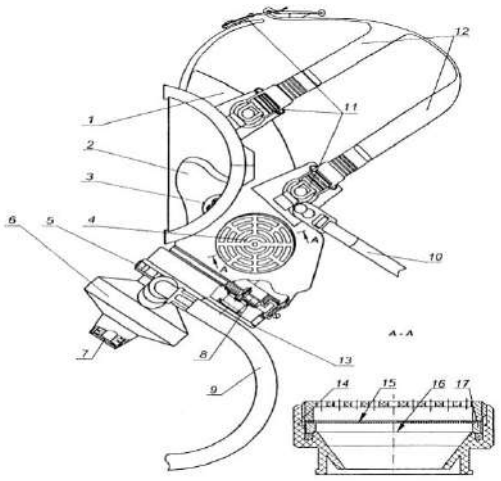


Рис.18. Маска ПМ-2000 с легочным автоматом

1 - корпус маски; 2 - подмасочник; 3 - клапаны вдоха; 4 - переговорное устройство; 5 - гайка; 6 - легочный автомат; 7 - многофункциональная кнопка; 8 - клапан выдоха; 9 - шланг легочного автомата; 10 - лямка; 11 -замок; 12 - ремни оголовья; 13 - крышка клапанной коробки; 14 - корпус;15 - сетка; 16 -

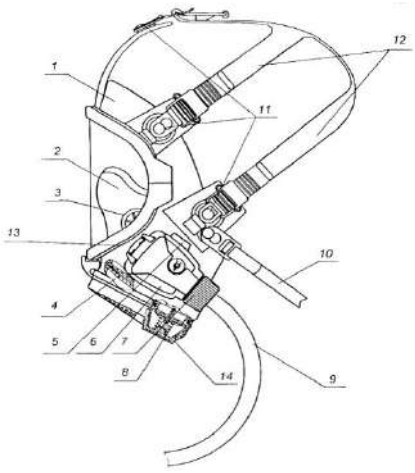


Рис 19. Маска «Пана Сил" из неопрена или силикона с резиновым или сетчатым оголовьем с легочным автоматом (вариант 2)»

1 - корпус маски; 2 - подмасочник; 3 - клапаны вдоха; 4 - переговорное устройство: 5 - кнопка отключения легочного автомата; 6 - легочный автомат; 7 - маховичок устройства дополнительной подачи (байпаса); 8 - клапан выдоха; 9 - шланг легочного автомата; 10 - лямка; 11 - замок;12 - ремни оголовья; 13 - фиксатор; 14 - крышка клапанной

Маска предназначена для изоляции органов дыхания, кожи лица и зрения человека от окружающей атмосферы, подачи воздуха от легочного автомата 6 в органы дыхания человека через клапаны вдоха 3, расположенные в подмасочнике 2, и удаления выдыхаемого воздуха через клапан выдоха 8 в окружающую среду.

В корпусе маски 1 имеется встроенное переговорное устройство 4, обеспечивающее возможность передачи речевых сообщений.

В конструкции маски предусмотрена возможность регулировки длины ремней оголовья 12.

Спасательное устройство

Спасательное устройство (рис. 20) предназначено для защиты органов дыхания и зрения пострадавшего человека при его спасении пользователем аппарата и выводе из зоны с непригодной для дыхания атмосферой. Спасательное устройство включает в себя:

носимую в сумке маску 1, представляющую собой лицевую часть ШМП-1 рост 2 ГОСТ 12.4.166;

легочный автомат 2 с кнопкой байпаса 3 и шлангом Легочный автомат крепится к маске с помощью гайки 5 с резьбой круглой 40х4.

Для подключения спасательного устройства к аппарату используется шланг-коротыш 21 (рис. 20), который предприятие - изготовитель устанавливает на аппарате при заказе спасательного устройства.

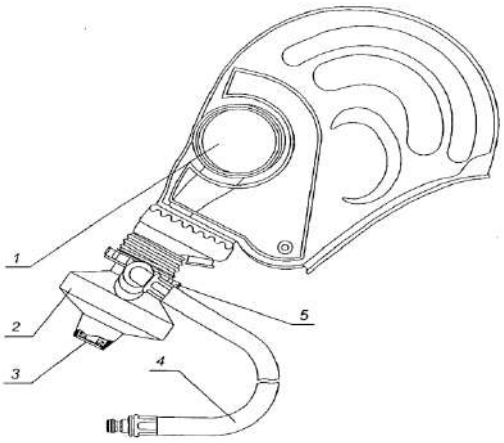


Рис. 20. Спасательное устройство
1-маска спасательного устройства; 2 - легочный автомат; 3 - кнопка байпаса; 4 - шланг; 5 - гайка.

В случае отсутствия заказа на редукторе устанавливается пробка.

Конструктивно легочный автомат спасательного устройства отличается от легочного автомата аппарата (вариант 1) отсутствием возможности создания избыточного давления и типом резьбы крепления к маске.

Маркировка масок

Маркировка маски ПМ-2000 нанесена на ее корпусе и содержит дату изготовления, товарный знак предприятия-изготовителя и его условное обозначение.

Условное обозначение того, что маска предназначена для аппаратов с избыточным давлением, нанесено в виде буквы "Р" на крышке клапанной коробки.

Маркировка маски "Пана Сил" нанесена под обтюратором на внутренней части маски и содержит дату изготовления.

На ободке маски находится наклейка, на которой указаны наименование предприятия-изготовителя и условное обозначение того, что маска предназначена для аппаратов с избыточным давлением.

Подмасочник маски ПМ-2000 также имеет маркировку, содержащую дату изготовления, условное обозначение предприятия-изготовителя и размер подмасочника "М", "С" или "Б".

Подбор и подгонка маски.

Корпус маски (вариант 1) имеет один рост и рекомендуется для использования людьми с горизонтальным (шапочным) обхватом головы 560 мм и более.

Подбор необходимого размера подмасочника производят в зависимости от значения морфологической высоты лица - расстояния от

нижней части подбородка до точки переносья, указанного в табл. 1.8.

Таблица 8.Подбор подмасочника

Морфологическая высота лица, мм	Размер подмасочника
От 100 и менее	Малый (М)
От 111 до 125	Средний (С)
От 126 и более	Большой (Б)

Маска "Пана Сил" поставляется одного типоразмера.

Подгонку маски производят следующим образом:

ослабляют ремни оголовья;

накладывают маску на лицо так, чтобы подбородок находился в подбородочной чаше маски;

натягивают ремни оголовья в следующей последовательности: щечные, височные и лобный.

При правильной подгонке пластина оголовья находится в области темени, а обтюраторы корпуса маски и подмасочника плотно прилегают к лицу. Необходимо избегать чрезмерно сильного натяжения ремней оголовья.

Шланговые дыхательные аппараты

Аппараты дыхательные шланговые предназначены для защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия непригодной для дыхания токсичной или задымленной газовой среды при проведении работ в зданиях, сооружениях и на производственных объектах различных отраслей промышленности, а также для проведения аварийно-спасательных работ.

Область применения: закрытые емкости, цистерны, колодцы, отсеки и другие изолированные помещения подобного типа.

Противогазы данного типа рекомендуются к использованию в условиях, когда применение фильтрующее-поглощающих средств индивидуальной защиты органов дыхания человека запрещено или неизвестны состав и концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

В том случае, когда по условиям работы требуется шланг длиной более 10 м, присоединяют еще один шланг с помощью накидной гайки, которая должна быть затянута гаечным ключом до отказа. Шланг длиной более 20 м применять не рекомендуется (кроме аппаратов с принудительной подачей воздуха ПШ-40 ЭРВ, ПШ-40 РВ и других, согласно инструкции по эксплуатации), так как с увеличением длины шланга увеличивается сопротивление дыханию.

В данном разделе приводятся сведения о шланговых противогазах ПШ-1 и ПШ-2, ПШ-20РВ/ПШ-40РВ.

Шланговый противогаз ПШ-1

Рабочая часть шлангового противогаза ПШ-1 (рис. 21, рис. 22) состоит из резинотканевого рукава, к одному концу которого посредством гофрированной трубки присоединена резиновая шлем-маска, а другой конец соединен с фильтрующей коробкой, служащей для очистки вдыхаемого воздуха.

Во время работы с надетым противогазом воздух для дыхания поступает по шлем-маске путем самовсасывания. Выдох производится через

выдыхательный клапан.

Для обеспечения неподвижности фильтрующей коробки конец резинотканевого шланга закрепляется на металлическом штыре. Крепление резинотканевого шланга на человеке осуществляется с помощью спасательного пояса с плечевыми ремнями.

При выполнении работ в нефтяных баках, цистернах, колодцах других закрытых местах, а также на особо опасных работах каждого работающего должен обслуживать помощник, который остается снаружи и держит привязанную к спасательному поясу веревку, периодическим подергиванием которой осуществляется сигнализация с работающим. Сигнальная веревка должна быть прочной, так как она служит не только средством связи, но и для вытаскивания рабочего из опасной зоны при несчастном случае.

Противогаз выпускается в 3-х исполнениях:

- ПШ-1Б с воздухоподводящим шлангом длиной 10 м на барабане;
- ПШ-1С с воздухоподводящим шлангом длиной 10 м в сумке;
- ПШ-1Б-20 с воздухоподающим шлангом длиной 20м на барабане.

Шланговый противогаз ПШ-1Б

Противогаз с воздухопроводящим шлангом длиной 10 метров, смонтирован на металлическом барабане (безнапорная подача воздуха - самовсасывание).

Сопротивление постоянному потоку воздуха при объемном расходе 30 дм3 /мин (30 л/мин) на вдохе и выдохе, Па (мм вод. ст.), не более -200.

Противогаз герметичен при избыточном давлении воздуха, Па (мм вод. ст.) -1000 (100).

Прочность спасательной веревки и пояса к воздействию статической нагрузки в течение 5 мин, кг, не менее – 200.

Рабочий интервал температур, ОС - от +40 до – 40.

Масса, кг, не более – 16.

Шланговый противогаз ПШ-1С

Предназначен для защиты органов дыхания, глаз и кожи лица от любых вредных примесей в воздухе, не зависимо от их концентрации, а так же для работы в условиях недостатка кислорода в рабочей зоне. Противогаз комплектуется лицевой частью от промышленного противогаза (2 шт. разных ростов), гофрированными трубками, воздуходувными шлангами, предохранительным поясом, сигнально-спасательной веревкой. Подача воздуха осуществляется путем самовсасывания. Длина шланга - 10 м. Укладка – сумка. Масса противогаза не более10 кг. Сопротивление дыханию комплекта со шлангом длиной 10 м – не более 200 Па (20 мм вод. ст.); сопротивление дыханию одного шланга длиной 10 м – не более 80 Па (8 мм вод. ст.)

Масса комплекта со шлангом длиной 10 м без чемодана – 8 кг.

Шланговый противогаз ПШ-2 (ПШ-20) и его модификации

Шланговый противогаз ПШ-2 (ПШ-20) имеет то же назначение и принципиальное устройство, что и шланговый противогаз ПШ-1. Отличительной особенностью его является принудительная подача воздуха.

Одним из основных преимуществ шлангового противогаза ПШ-2 является отсутствие сопротивления дыханию, что обеспечивает возможность выполнить тяжелые работы в течение более длительного времени, чем при пользовании любым другим противогазом.

Противогазы шланговые ПШ-2 (ПШ-20) состоят из воздуходувки с электрическим или ручным приводом, одного или двух резиновых армированных воздухоподводящих шлангов длиной 20 или 40 метров (два шланга для одновременной работы двух человек), одного или двух комплектов лицевых частей, соединительных гофрированных трубок, амуниции из хлопчатобумажного, лавсанового или пропиленового материала, указанных на рис. 21 и рис. 22.

Амуниция состоит из поясного ремня с плечевыми лямками и сигнально-спасательной веревки (каната). Хлопчатобумажную амуницию рекомендуется использовать во взрывоопасной атмосфере, синтетическую (лавсановую или пропиленовую) – в условиях воздействия агрессивных сред (кислоты, щелочи и т.п.).

Воздуходувка может быть смонтирована в металлическом ящике или барабане. Противогазы комплектуются шлем-маской ШМП или панорамными масками МАГ, ППМ-88.

Противогаз имеет три исполнения: ПШ-2-20 - одноканальный с воздухоподводящим шлангом длиной 20 м; ПШ-2-40 - одноканальный с воздухоподводящим шлангом длиной 40 м; ПШ-2-20х2 - двухканальный с двумя воздухоподводящими шлангами длиной по 20 м каждый.

Принцип действия и техническая характеристика

Воздух, пригодный для дыхания, под лицевую часть подается из чистой зоны по шлангу с помощью установки (воздуходувки), работающей от электродвигателя или ручного привода. При работе в противогазах благодаря постоянной подаче чистого воздуха и созданию в системе избыточного давления исключается подсос загрязненного воздуха, предотвращается запотевание стекол лицевой части. Техническая характеристика противогаза шлангового ПШ-2 представлена в таблице 9.

Таблица 9

Показатели	Значения		
	ПШ-2-20	ПШ-2-40	ПШ-2-20х2
Количество воздуха, подаваемого под лицевую часть противогаза установкой подачи воздуха, дм3/мин, не менее: - от электродвигателя - от ручного привода при скорости вращения рукоятки (65±5) оборотов/мин	120 50	120 50	120 50
Количество каналов подачи воздуха, шт.	1	1	2
Количество работающих, чел.	1	1	2
Длина шланга воздухоподводящего, м	20	40	20
Прочность амуниции к действию статической нагрузки, Н, не менее	1960	1960	1960
Длина сигнально-спасательной веревки (каната), м	25±0,1	45±0,1	25±0,1
Масса противогаза, кг, не более	30	45	48

Гарантийный срок хранения противогаза, лет, не менее: - хлопчатобумажной сигнально-спасательной веревки (каната) в комплекте противогаза	3 1	3 1	3 1

Не рекомендуется работать в шланговом противогазе ПШ-2 в помещениях, где имеется опасность запутать шланг.

При пользовании шланговым противогазом ПШ-2 необходимо соблюдать следующие правила:

при работе вентилятора от электромотора редуктор должен быть отключен;

при работе от ручного привода редуктор должен быть включен.

Несоблюдение первого правила снижает производительность вентилятора, что вызывает уменьшение подачи воздуха по шлангам.

При невыполнении второго правила вентилятор вообще не будет вращаться и подавать воздух.

Противогазы шланговые ПШ-20РВ и ПШ-40РВ предназначены для защиты органов дыхания и зрения человека при выполнении работ в замкнутых объемах (емкостях, колодцах, отсеках) в атмосфере, где возможно содержание кислорода менее 18 % по объему, вредных веществ более 2000 ПДК.

Противогазы шланговые ПШ-20РВ и ПШ-40РВ представляют собой дыхательные приборы изолирующего типа, воздухонапорные, с автономным ручным вентилятором (воздуходувкой), находящимся в зоне чистого воздуха.

Воздух для дыхания подается под маску, создавая избыточное давление, что исключает подсос загрязненного воздуха. Барабан установлен на подставке, снабжен двумя складывающимися ручками для переноски. В положении хранения и транспортирования шланг наматывается на барабан, вовнутрь которого укладываются запасные элементы.

Противогазы шланговые воздухонапорные ПШ-20РВ и ПШ-40РВ рекомендуется использовать при выполнении работ малой и средней тяжести, когда чистый воздух можно забирать на расстоянии не более 20 м (для противогаза ПШ-20РВ) и на расстоянии до 40 м (для противогаза ПШ-40РВ).

Противогазы шланговые ПШ-20 ЭРВ и ПШ-40 ЭРВ представляют собой дыхательные приборы изолирующего типа, воздухонапорные, с электро-ручным вентилятором (воздуходувкой), находящимся в зоне чистого воздуха. Воздух для дыхания подается под маску, создавая избыточное давление, что исключает подсос загрязненного воздуха.

Барабан установлен на подставке, снабжен двумя складывающимися ручками для переноски. В положении хранения и транспортирования шланг наматывается на барабан, вовнутрь которого укладываются запасные элементы.

Противогазы шланговые воздухонапорные ПШ-20 ЭРВ и ПШ-40 ЭРВ рекомендуется использовать при выполнении работ малой и средней тяжести, когда чистый воздух можно забирать на расстоянии не более 20 м (для противогаза ПШ-20 ЭРВ) и на расстоянии до 40 м (для противогаза ПШ-

40 ЭРВ).

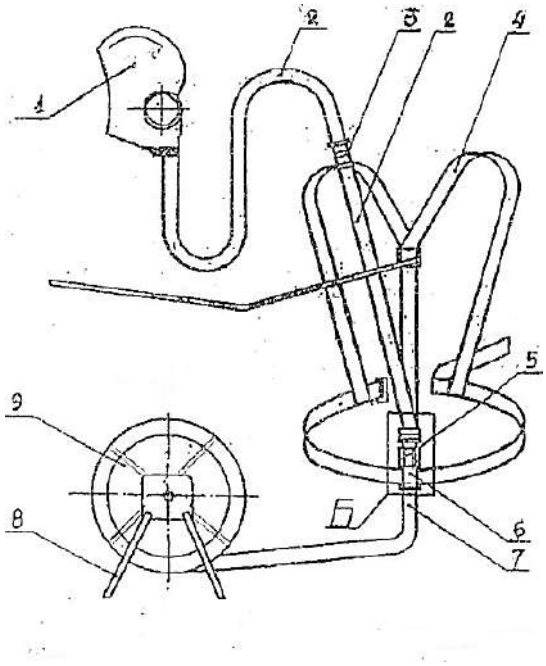


Рис. 121. Общий вид шлангового противогаза

1 - лицевая часть; 2 - гофрионаиная трубка; 3 - угольник; 4 - предохранительный пояс; 5 - гайка; 6 - скоба; 7 - воздухоподводящий шланг; 8 - подставка; 9 - барабан.

Рис. 22.Шланговый проти

Техническое обслуживание

Проверка шланговых противогазов проводится в сроки указанные в «Регламенте технического обслуживания горноспасательного оснащения ФГУП «ВГСЧ».

Техническое обслуживание противогаза включает в себя:

- разборку, очистку, сушку;
- дезинфекцию;
- контроль исправности.

Использованные шланговые противогазы разбираются, при необходимости протираются ветошью, смоченной водой или мыльным

раствором, просушиваются. Шланги и гофрированные трубки продуваются сжатым воздухом.

Лицевые части подвергаются дезинфекции. Периодическая дезинфекция проводится при постоянном использовании одним работником не реже 1 раза в неделю. Внеочередной дезинфекции подлежат лицевые части при передаче от одного пользователя другому.

Контроль исправности противогаза после использования проводится внешним осмотром.

Периодический контроль исправности противогаза заключается в проведении полной проверки и испытании предохранительного пояса на прочность.

Полная проверка шлангового противогаза включает:

Внешний осмотр: проверяется исправность шлем-маски, гофрированных трубок, резино-тканевого шланга на отсутствие проколов, надрывов.

Проверку наличия резиновых прокладочных колец в местах соединения гофрированных трубок между собой, со шлем-маской и со шлангом, исправность очковых обойм, стекол.

Герметичность шлем-маски в месте соединения ее с гофрированной трубкой проверяется следующим образом: шлем-маска надевается на голову, гофрированная трубка у места соединения ее со шлем-маской перегибается и делается три-четыре глубоких вдоха. Если дышать невозможно, то шлем-маска и место соединения ее с гофрированной трубкой герметичны. Шлем-маска должна быть подобрана по размеру и плотно прилегать к лицу, не вызывая болевых ощущений.

В том случае, когда по условиям работы требуется шланг длиной более 10 м, присоединяют еще один шланг с помощью накидной гайки, которая должна быть затянута гаечным ключом до отказа. Шланг длиной более 20 м применять не рекомендуется, так как с увеличением длины шланга увеличивается сопротивление дыханию.

Герметичность шланговой линии проверяется в соответствии с графиком проверки противогаза и в соответствии с методикой ГОСТ 12.4.166-85, учитывая требования завода-изготовителя, указанные в руководстве по эксплуатации изделия. А также при возможном нарушении герметичности соединений и комплектующих изделий после ремонта или нештатных ситуаций при эксплуатации противогаза.

Для проведения проверки герметичности шланговой линии необходимы:

- приспособление (рис. 1.23);
- секундомер 2 класса точности;
- манометр 1 класса точности (0 – 1 кгс/см2).

Перед проведением проверки приспособление проверяют на герметичность, закрывая входное отверстие герметизирующего зажима и подавая через клапан на приспособление (рис. 23) сжатый воздух до избыточного давления (0,27 ± 0,01 кгс/см2), если в течение 1 минуты

давление не меняется, приспособление герметично. Далее проверяется герметичность шланговой линии при давлении (0,135 _+0,005 кгс/см2), падение давления не допускается.

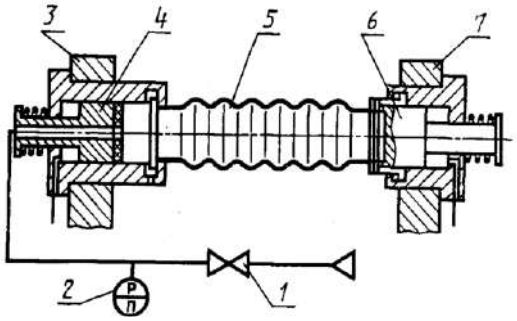


Рис. 23. Схема приспособления для испытания герметичности шланговой линии
1-клапан с педальным управлением; 2-манометр; 3, 7 - стойка; 4, 6- герметизирующий зажим; 5 - испытуемая трубка (шланг).

Предохранительный пояс с сигнально – спасательной веревкой необходимо испытывать на прочность статической нагрузкой 2000 Н (200 кгс) один раз в год или после ремонта (замены) составных частей согласно установленной методики в специализированных предприятиях (мастерских).

При работе в атмосфере, содержащей вещества 1и 2 класса опасности необходима периодическая проверка противогаза на человеке в камере с раздражающим веществом.

Контрольная аппаратура для проверки респираторов

Основными показателями, определяющими исправность и работоспособность респираторов являются герметичность воздухопроводной системы и параметры работы устройств, обеспечивающих подачу кислорода.

В горноспасательной службе для проверки регенеративных респираторов используются два типа контрольных устройств:

А) Первое из них, более простое – индикатор ИР (ИР-2, ПИК-1), при помощи которого осуществляют пять основных видов проверки: герметичности воздухопроводной системы при давлении и разрежении; величину постоянной подачи кислорода; давления, при котором открывается избыточный клапан; подача кислорода аварийным клапаном; разрежения, при котором открывается легочный автомат.

Б) Второе, более сложное и точное устройство – универсальный контрольный прибор УКП-5. Он позволяет осуществлять те же основные пять видов проверки, что и индикатор ИР, а также проверять параметры работы наиболее важных узлов респиратора. В случае возникновения сомнений по результатам проверки на индикаторе ИР, респиратор должен быть проверен на приборе УКП-5.

Индикаторы для проверки респираторов

Назначение и техническая характеристика

Индикаторы ИР, ИР-2, ПИК-1 (далее - индикатор) предназначены для проверки основных эксплуатационных параметров кислородных изолирующих регенеративных респираторов (Р-30, Р-34) в собранном виде без оценки параметров в единицах физических величин. Индикатор

позволяет проверять в респираторах: состояние герметичности воздуховодной системы при избыточном и вакуумметрическом давлениях; постоянную подачу кислорода редуктором; срабатывание легочного автомата и избыточного клапана. Кроме того, индикатор ИР-2 имеет возможность контролировать параметры противогазов типа КИП и аппаратов со сжатым воздухом типа АСВ, АИР и других указанных заводом – изготовителем. Индикаторы рассчитаны на применение при температуре окружающей среды от 5 до 50 ОС и относительной влажности от 30 до 80 %.

Проверка индикатором должна производиться при температуре окружающей среды от 5 до 50 ОС и относительной влажности от 30 до 80 %.

Устройство всех индикаторов аналогично и показано на рис. 24 на примере ИР-2.

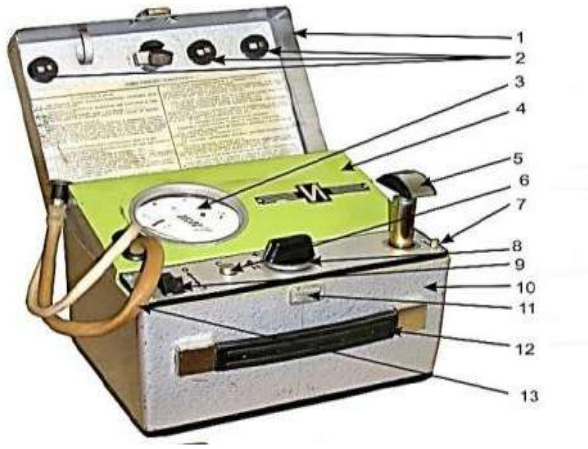


Таблица 10. Основные технические данные индикатора ИР

Показатели	Значения
Давление, при котором срабатывает избыточный клапан, контролируемое зоной «С», Па (мм вод. ст.)	От 98 до 294 (10±30)
Вакуумметрическое давление, при котором срабатывает легочный автомат, контролируемое зоной «С», Па (мм вод. ст.)	От 98 до 294 (10±30)
Давление при проверке герметичности воздуховодной системы респиратора избыточным и вакуумметрическим давлением 785 Па, контролируемое зоной «Г», Па (мм вод. ст.)	50 (5)
Постоянная подача кислорода редуктором, контролируемая зоной «Д», л/мин	От 1,3 до 1,5
Габариты, мм	250 × 200 × 180
Масса, кг	6

Техническое обслуживание

Техническое обслуживание и порядок работы с индикаторами типа ИР определены их техническим описанием и инструкцией по эксплуатации.

Перед каждым случаем применения прибор подлежит проверке внешним осмотром.

При внешнем осмотре индикатора проверяется: соответствие комплектности прибора паспортным данным и описи; наличие внешних признаков повреждения, грязи и пыли на внутренней и внешней поверхностях корпуса; исправность замка (11) и защелки прибора (7); сохранность защитного покрытия металлических частей прибора от коррозии; сохранность резиновых трубок коллектора от старения (13); подвижность и плавность хода ручки переключающего крана (8), ручки для переноски (12); целостность надписей на корпусе и крышке прибора.

1 раз в год производится техническое обслуживание, ремонт и настройка параметров прибора в специализированном предприятии или подразделении ВГСЧ.

Индикатор не занесен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации (ГРСИ) и не подлежит метрологической поверке.

Подготовка прибора к работе

При подготовке прибора к работе производится внешний осмотр и проверяется герметичность при избыточном (вакуумметрическом) давлении, для чего:

- устанавливается ручка переключающего крана в положение «+» или «-»;
- перекрывной клапан переводится в положение ОТКР;
- насосом создается избыточное (вакуумметрическое) давление, необходимое для установки показывающей стрелки контрольного устройства на конечную риску;
- кнопка перекрывного клапана переводится в положение ЗАКР.

Если созданное давление несколько больше необходимого, то оно приводится к заданному уровню (кратковременно нажимается кнопка перекрывного клапана). Индикатор считается герметичным, если в течение одной минуты показывающая стрелка отклонилась не более чем на одно деление шкалы.

После окончания проверки или работы на приборе он приводится в положение, соответствующее режиму ожидания в готовности к применению.

Универсальный контрольный прибор УКП-5

Назначение и техническая характеристика

Прибор предназначен для проверки параметров кислородных изолирующих респираторов по отдельным узлам и в сборе, используется при проверке аппаратов искусственной вентиляции легких (ГС-10, ГС-11), а также для настройки и проверки индикаторов типа ИР (ПИК-1).

Прибор представляет собой сочетание наклонного манометра-реометра, двухпоплавкового расходомера реометрического типа и системы автономного питания для создания воздушного потока, состоящей из двухлитрового баллона со сжатым кислородом, редуктора и эжектора. В респираторе с помощью прибора проверяется:

- герметичность воздуховодной системы при избыточном и вакуумметрическом давлениях;
- постоянная подача кислорода редуктором;

- давление, при котором срабатывает избыточный клапан;
- вакуумметрическое давление, при котором
срабатывает легочный автомат;
- вакуумметрическое давление, при котором легочный автомат обеспечивает заданную подачу кислорода;
- подача кислорода аварийным клапаном.

Рис. 25. Прибор УКП-5

Таблица 11. Основные технические и метрологические характеристики

Показатели	Значения
Диапазон измерения манометром избыточного и вакуумметрического давлений, Па (мм вод. ст.)	От 0 до 981 (100)
Цена деления шкалы манометра, Па (мм вод. ст.)	9,8 (1,0)
Основная погрешность манометра, % от верхнего предела шкалы, не более	±2,5
Порог чувствительности манометра, Па (мм вод. ст.), не более	5 (0,5)
Давление, измеряемое манометром с воздушным компенсатором, кПа (мм вод. ст.)	4,9±0,98 (500 ± 100)
Диапазон измерения реометром объемного расхода кислорода, л/мин	от 0,6 до 2,0
Основная погрешность реометра, % от верхнего предела измерения, не более	±4,0
Расход кислорода, измеряемый расходомером, л/мин: верхним поплавком нижним поплавком	 10 60; 90; 150
Погрешность расходомера, % от нормальной величины, не более	±10,0
Максимальный поток, создаваемый эжектором при сопротивлении до 2000 Па, (200 мм вод. ст.), л/мин	150
Избыточное и вакуумметрическое давления, создаваемые эжектором, кПа (мм вод. ст.), не менее	5,88 (600)
Объем кислорода в баллоне, приведенный к нормальным условиям, л	400
Габариты, мм	450×250×198
Масса, кг	12,0

Техническое обслуживание

Техническое обслуживание и порядок работы с прибором УКП-5 определены его техническим описанием и инструкцией по эксплуатации.

Перед каждым случаем применения прибор подлежит проверке

внешним осмотром.

При внешнем осмотре прибора проверяется: соответствие комплектности прибора паспортным данным и описи; наличие внешних признаков повреждения, грязи и пыли на внутренней и внешней поверхностях корпуса; исправность фиксаторов крышек прибора, позволяющих устанавливать их на корпус прибора и снимать с него без значительных усилий; сохранность защитного покрытия металлических частей прибора от коррозии; подвижность маховичков кранов (7,9, рис.25а) и редуктора (10, рис. 25б)), которые должны поворачиваться плавно, без значительных усилий, а рычаг (8) перекрывного клапана – легко переключаться и четко фиксироваться в каждом из двух положений; целостность измерительных трубок манометра-реометра (3) и расходометра (6), которые должны быть прямыми и прозрачными, без пороков, затрудняющих отсчет; сохранность и четкость отметок, букв и цифр на шкалах манометра и расходомера, а также на панели; наличие клейма о поверке на манометре и его номера в перечне о поверке с оценкой срока истечения текущего межповерочного интервала; исправность установочной головки (12) манометра-реометра, которая должна позволять устанавливать и надежно фиксировать панель с измерительной трубкой под заданным углом к горизонтальной плоскости (по уровню); давление кислорода в баллоне (15) и срок его очередного технического освидетельствования по клейму; наличие на приборе маркировочной таблички с нанесенными на ней установленными в паспорте прибора данными.

1 раз в год производится техническое обслуживание, ремонт и настройка параметров прибора в специализированном предприятии.

Прибор занесен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации (ГРСИ) и подлежит метрологической поверке с межповерочным интервалом один раз в год.

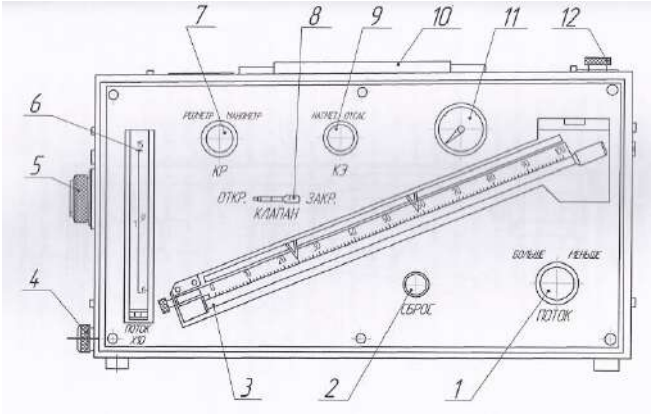


Рис. 25а. Вид прибора спереди (без крышки)
1-маховичек вентиля редуктора; 2- маховичок клапана сброса; 3- манометр-реометр; 4- штуцер расходомера; 5 - штуцер коллектора; 6 - расходомер; 7 – маховичок крана реометра; 8 - головка рычага клапана; 9- маховичок крана эжектора; 10- ручка; 11- манометр кислородный; 12- головка установочная

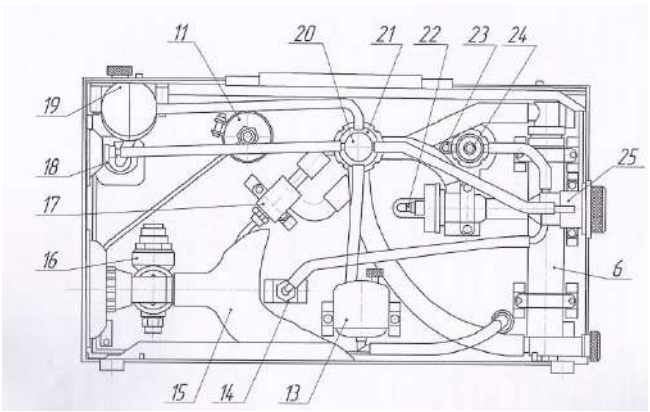


Рис. 25б. Вид прибора сзади (без крышки)
6-расходомер; 11- манометр кислородный; 13- бачок нижний; 14- клапан сброса; 15- баллон; 16- редуктор; 17- эжектор; 18- штуцер манометра-реометра; 19- бачок верхний; 20,21- кран распределительный; 22- клапан; 23- штуцер дозирующий; 24- кран реометра; 25- коллектор

Подготовка прибора к работе

Перед применением прибора проверяется герметичность систем высокого и низкого давления, работоспособность эжектора и производится установка пределов зоны допускаемого изменения значений постоянной подачи кислорода редуктором респиратора.

Для проверки герметичности системы манометра необходимо присоединить патрубок с овальным фланцем к штуцеру прибора, а выходное отверстие патрубка закрыть заглушкой. Ручка КЛАПАН устанавливается в положение ОТКР., ручка КР – в положение МАНОМЕТР, ручка КЭ – в положение НАГНЕТ. Ручки ПОТОК необходимо повернуть в сторону МЕНЬШЕ до упора, а верхний штуцер манометра открыть. Открывают вентиль баллона, плавно вращая ручку ПОТОК в сторону БОЛЬШЕ, создают в проверяемой системе давление 1000 Па (100 мм вод. ст.) и быстро переводят ручку КЛАПАН в положение ЗАКР. Если при этом давление оказалось больше необходимого, уменьшают его путем перепуска воздуха с помощью клапана сброса. Затем поворачивают ручку ПОТОК в сторону МЕНЬШЕ до упора и наблюдают за уровнем жидкости в измерительной трубке манометра. Система считается герметичной, если в течение минуты уровень жидкости в измерительной трубке не понизится.

Для проверки работоспособности эжектора прибора снимается заглушка со штуцера (13) коллектора, устанавливается рычаг (8) «КЛАПАН» в положение «ОТКР», маховичок (7) «КР» - в положение «МАНОМЕТР», маховичок (9) «КЭ» - в положение «НАГНЕТ», а маховичок (1) «ПОТОК» поворачивается в направлении «МЕНЬШЕ» до упора. Открывается вентиль баллона и вращением маховичка (1) в направлении «БОЛЬШЕ» создаются последовательно такие потоки воздуха, чтобы поплавки расходомера устанавливались поочередно против соответствующих рисок на его шкале: верхний (черный) поплавок - против риски с обозначением 1, нижний (красный) - против рисок с обозначением 6; 7; 9; 10 и 15. Проверяется устойчивое положение поплавка против каждой риски.

Затем маховичок (9) переводится в положение «ОТСАС» и прибор опробуется таким же способом при отсасывании.

Установка пределов зоны допускаемого изменения значений постоянной подачи кислорода редуктором респиратора на шкале манометра-реометра прибора производится с помощью передвижных стрелок.

Верхний и нижний пределы зоны, соответствующие крайним допустимым значениям измеряемого расхода (1,4±0,1 л/мин), определяются с учетом поправок на изменение температуры и атмосферного давления по двум номограммам, составленным для нижнего предела расхода кислорода 1,3 л/мин и для верхнего предела 1,5 л/мин. Номограммы прикреплены на внутренней стороне передней крышки прибора и являются обязательными для указанного в свидетельстве прибора. На каждой номограмме на диагональной прямой, обозначающей зону значений перепада давлений, находится точка пересечения координат действительных значений температуры (t, ОС) в помещении в момент использования прибора и атмосферного давления (Р, мм рт. ст.). По точке пересечения («Х») на

диагонали в точке «С» определяется перепад давления (h, мм вод. ст.), по величине которого на шкале манометра-реометра устанавливаются стрелки для верхнего и нижнего пределов расхода кислорода.

В подразделениях заблаговременно перед проверкой респираторов определяются (по сведениям КИЛ, службы СДС) возможные максимальные и минимальные значения барометрического давления по месту дислокации, а также температуры воздуха в проверочных помещениях. По номограмме для нижнего предела постоянной подачи кислорода определяется перепад давления при максимальной температуре и минимальном давлении, а по номограмме для верхнего предела – перепад давления при минимальной температуре и максимальном давлении

Номограммы и графике градуировки реометра прибора ежегодно обновляются специализированным предприятием, производящим техническое (сервисное) обслуживание прибора.

После окончания проверки или работы на приборе он приводится в положение, соответствующее режиму ожидания в готовности к применению:

при закрытом вентиле баллона и открытом клапане (8) поворотом маховичка (1) выпускается кислород из системы высокого давления, после чего маховичок возвращается до упора в сторону «меньше». Маховичок (7) устанавливается в положение «манометр», штуцеры (4;5 и 18) закрываются заглушками, баллон заполняется кислородом до давления (20±1) МПа и устанавливается в прибор;

проверяется комплектность прибора, приспособления и инструмент укладываются в ящик на задней крышке, устанавливаются на свои места крышки и прибор помещается на место своего постоянного хранения.

Рекомендации по использованию спирта этилового при эксплуатации универсального контрольного прибора УКП-5

Для обеспечения правильной настройки и проверки параметров изолирующих регенеративных респираторов, плотность спиртового раствора в приборе УКП-5 должна соответствовать 0,85 г/см3 при Н.У. (УКП-5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации).

Необходимая (рабочая) плотность водно-спиртового раствора, используемого в контрольном приборе УКП-5, в зависимости от температуры окружающего воздуха указаны в табл. 12.

Таблица12

Темпе-ратура, град	Плот-ность, г/см3	Содер-жание, % об	Темпе-ратура, град	Плот-ность, г/см3	Содер-жание, % об	Темпе-ратура, град	Плот-ность, г/см3	Содер-жание, % об
10	0,858	80,2	20	0,850	83,2	30	0,841	86,2
11	0,858	80,5	21	0,849	83,5	31	0,840	86,5
12	0,857	80,8	22	0,848	83,8	32	0,840	86,8
13	0,856	81,1	23	0,847	84,1	33	0,839	87,1
14	0.855	81,4	24	0,847	84,4	34	0,838	87,4
15	0,854	81,7	25	0,846	84,7	35	0,837	87,6
16	0,853	82,0	26	0,845	85,0	36	0,836	87,9
17	0,853	82,3	27	0,844	85,3	37	0,835	88,2
18	0,852	82,6	28	0,843	85,6	38	0,834	88,5

19	0,851	82,9	29	0,842	85,9	39	0,833	88,7

Содержать во взводах в качестве резерва запас окрашенного спиртового раствора плотностью 0,85 г/см3 при Н.У. в специально герметически закрываемых сосудах и использовать его по мере расходования в приборе.

Производить периодически не реже 1 раза в 3 месяца промывку верхнего и нижнего бачков манометров и заливку их новым спиртовым раствором.

При сомнениях и подозрениях в истинной плотности спиртового раствора, находящегося в приборе, проверять плотность раствора этилового спирта весовым методом в газоаналитических (контрольно-испытательных) лабораториях ВГСЧ. Минимальная проба для взвешивания должна составлять не менее 10 мл.

Приспособления для проверки панорамных и шлем-масок

Устройство (приспособление) ПМ-3

Назначение и устройство

Рис. 1.26. Устройство ПМ-3

Приспособление ПМ-3 предназначено для проверки герметичности панорамных масок изолирующих регенеративных респираторов.

Приспособление (рис. 26а) состоит из подставки (1), к которой крепится пластина (12) со стаканом (13). В стакане расположена гильза (15). Между подставкой и пластиной защемлен задний фланец груши (2). Передний фланец груши надет на переднюю часть винта (23) и зажат между стаканами (4) и (9) гайкой (6). Проворачиванию винта (23) препятствует стопорный болт (11). Винт может перемещаться в гильзе и герметизируется кольцом (14). На задней части винта нарезана трапецеидальная резьба, на которую навинчена гайка (22) маховика (18). На заднюю часть винта надет гофрированный шланг (24).

Подсоединение приспособления к контрольному прибору УКП-5 осуществляется с помощью штуцера (25) и гайки (26). Между штуцерами (25) и (29) размещено уплотнительное кольцо (27). Гайка (22) запрессована в маховик и дополнительно крепится от проворота гуженами (30). Маховик армирован резиновым кольцом (17).

На гильзу надет шарикоподшипник (19) и прижат к стакану (13) гайкой (21). Стакан и гильза герметизируются уплотнительным кольцом (31). На шарикоподшипник надет упор (16). Между шарикоподшипником и маховиком расположено кольцо (32). Маховик и упор соединяются болтами

(20). Стакан (10) с пластиной (5) прижимается к стакану (9) гайкой (7). В грушу заливается 1,2 кг глицерина через наливное отверстие, герметизируемое винтом (33) с уплотнительным кольцом (3).

Для проверки на герметичность воздуховодной системы приспособления служит пробка (8).

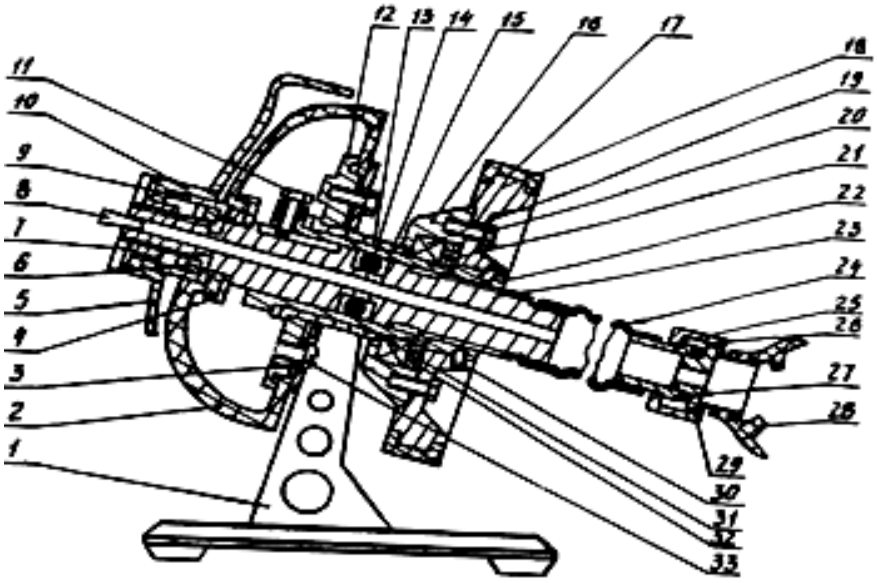


Рис. 26а. Устройство приспособления ПМ-3

Подготовка приспособления ПМ-3 к работе

Подготовка приспособления к работе включает установку пластины, соответствующей типу проверяемой маски, проверку прижимного устройства на герметичность, проверку на герметичность воздуховодной системы.

Установка пластины.

Пластина (5) выполнена съемной и в верхней части наружной поверхности имеет маркировку.

Для проверки на герметичность масок первого типоразмера (тип 13145) используются пластины с маркировкой "ПМ МЕДИ-1", масок второго типоразмера (тип 13245) - пластины с маркировкой "МЕДИ-2", масок третьего типоразмера (тип 13345)-с маркировкой "МЕДИ-3".

Необходимо установить соответствие пластины типоразмеру проверяемой маски. При несоответствии необходимо заменить пластину для чего ключом отвинтить гайку (7), снять пластину со стакана (9), на ее место установить соответствующую пластину и завинтить гайку.

Проверить симметричность установки пластины относительно продольной оси груши (2) и при необходимости ослабить гайку (7), развернуть пластину в нужную сторону и вновь затянуть гайку.

Проверка на герметичность прижимного устройства

Произвести внешний осмотр приспособления и убедиться в отсутствии течи глицерина. Вращением маховика (18) по часовой стрелке довести пластину (5) до соприкосновения с грушей, повернуть маховик еще на полтора оборота и в таком состоянии выдержать 1-1,5 мин. Если течи не

наблюдается, прижимное устройство считается герметичным.

Проверка на герметичность воздуховодной системы ПМ-3

Подсоединить штуцер (25) к прибору УКП-5, закрыть отверстие винта пробкой (8). Создать в воздуховодной системе ПМ-3 избыточное, а затем вакуумметрическое давление 80 мм вод. ст.±10 мм вод. ст. Воздуховодная система приспособления считается герметичной, если в течение одной минуты не наблюдается падения избыточного или вакуумметрического давления.

Проверка масок на герметичность

Подсоединить приспособление ПМ-3 к контрольному прибору УКП-5. Протереть влажной ветошью обтюратор маски и грушу ПМ-3. Надеть маску на пластину (5) так, чтобы обтюратор маски оказался между пластиной и грушей, а лобный ремешок внизу. Вращая маховик, зажать обтюратор маски. Загерметизировать гнездо подсоединения маски к респиратору заглушкой. Создать в подмасочном пространстве избыточное, а затем вакуумметрическое давление 80 мм вод. ст.± 10 мм вод. ст.

Проверка на герметичность системы маски с респиратором производится аналогичным способом, только взамен заглушки подсоединяется соединительная коробка со шлангами и респиратор.

Маска отдельно, а также маска совместно с респиратором считается герметичной, если в течение четвертой минуты после создания избыточного или вакуумметрического давления падение давления не превысит 5 мм вод. ст.

Стенд «Надувная тестовая голова»

Стенд «Надувная тестовая голова» фирмы «Drager» предназначен для проверок защитно-дыхательных масок. Надувная резиновая голова используется для моделирования формы головы человека так, чтобы маску можно было проверить на герметичность и определить утечку, если она имеет место.

Стенд включает в себя следующие составные части (рис. 27):

Рис. 28. Дыхательная маска

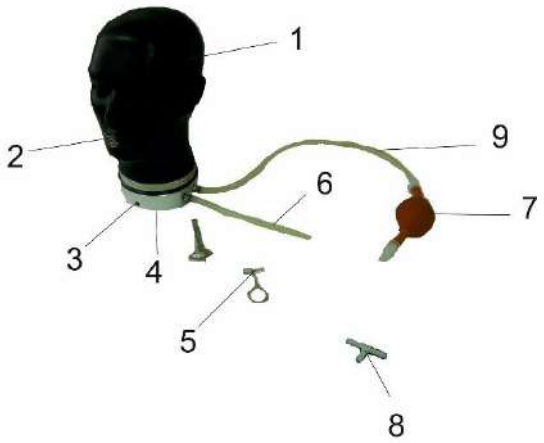


Рис. 27 Устройство стенда

1- резиновая «голова»; 2 – мундштук; 3 – отверстие для крепления

головы к основанию; 4 – металлическая подставка; 5 – зажим для трубки; 6 – трубка для надувания «головы»; 7 – насос-груша; 8 – Т-разъем; 9 – испытательная труба.

Подготовка стенда к проверке маски

Для подготовки стенда и маски к проверке необходимо:

Подключить насос-грушу (поз. 7 рис. 27) к трубке для надувания «головы» (поз. 6 рис.27). Вместо насоса-груши могут быть использованы воздушный компрессор, баллон со сжатым воздухом или трубопровод сжатого воздуха, прибор для создания избыточного давления и разряжения (типа УКП-5).

Освободить от зажима трубку для надувания «головы», умеренно раздуть «голову» и пережать трубку зажимом.

Увлажнить водой внутри рамки маски и соприкасающуюся с маской поверхность «головы».

Надеть маску на «голову», начиная с совмещения подбородка маски с подбородком «головы».

Надев маску, стянуть регулировочные ремни к перекрестью (рис.28). При необходимости поправить маску.

Равномерно стянуть ремни шеи и ремни затылка, при необходимости подтянуть теменной ремень (рис.29).

Снять зажим с трубки для надувания «головы» и дополнительно раздуть «голову», пока рамка маски плотно не приляжет по всей контактной поверхности к «голове», затем зажать нагнетательную трубку.

Проверка маски

Для проверки маски необходимо собрать схему, подобную изображенной на рис.30, используя соответствующие переходники и контрольные приборы (манометры, УКП-5, ИР и т.п.). Создать в подмасочном пространстве давление и проконтролировать его падение за определенное время. После проверки снять маску и выпустить воздух из-под маски и из «головы».

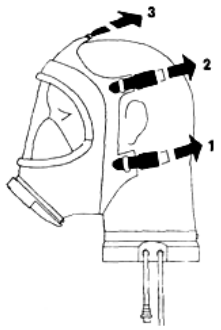


Рис. 29

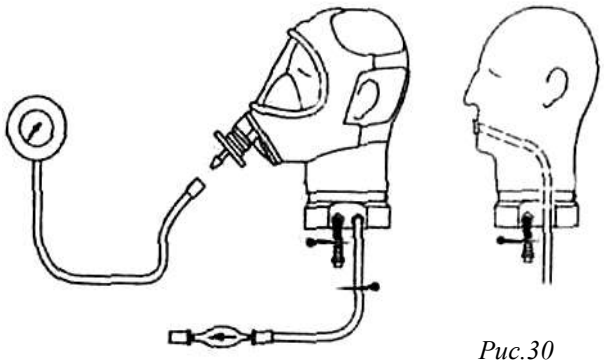


Рис.30

Хранение

Стенд должен храниться в сухом прохладном месте, защищенным от пыли и коррозии. Не допускается прямое тепловое излучение.

Техническая характеристика

Технические данные стенда указаны в табл. 13.

Таблица 13

Размеры, высота х ширина, мм:	280х190
Давление воздуха, максимум, мм вод. ст.	
в «голове»	500
в трубке	200
Масса, кг	2,5

Приборы проверки дыхательного аппарата на сжатом воздухе

Система контроля дыхательных аппаратов СКАД

Назначение и техническая характеристика

Система контроля дыхательных аппаратов СКАД-1 (далее по тексту – система) предназначена для проверки показателей дыхательных аппаратов со сжатым воздухом типа АИР-98МИ, ПТС «Профи», ПТС "Базис", ПТС "Фарватер", ПТС "Спасатель", РА-90 Plus, АП-98-7К, АП-2000, АП «Омега», АИР-300СВ и лицевых частей дыхательных аппаратов на соответствие требованиям, изложенным в руководствах по эксплуатации на дыхательные аппараты.

Система позволяет проводить следующие виды проверок:

- величины вакуумметрического давления воздуха, при котором включается легочный автомат;
- величины избыточного давления воздуха, создаваемого легочным автоматом;
- величины избыточного давления в подмасочном пространстве лицевой части при нулевом расходе воздуха;
- величины давления воздуха, при котором открывается клапан выдоха лицевой части;
- величины редуцированного давления, давления открытия предохранительного клапана и герметичности клапана редуктора;
- герметичности воздуховодной системы дыхательного аппарата;
- герметичности лицевой части при вакуумметрическом давлении;
- герметичности спасательного устройства при вакуумметрическом давлении;
- величины вакуумметрического давления воздуха, при котором открывается клапан легочного автомата спасательного устройства без избыточного давления под лицевой частью.

Система выполнена в климатическом исполнении У категории 4 по ГОСТ 15150, но для работы при температуре окружающего воздуха от 5 до 50 ОС и относительной влажности до 80%.

Таблица 14. Основные технические характеристики системы «СКАД»

Показатели		Значение
1	Диапазон измерения избыточного и вакуумметрического давления, Па	минус 1250 …+1250
2	Диапазон измерения редуцированного давления, МПа	0 … 2,0
3	Диапазон измерения времени, с	0 … 3600
4	Полезный объем насоса, дм3, не менее	0,5

5	Габаритные размеры, мм, не более контрольно-измерительного блока муляжа головы человека проверочного диска	 450x260x220 380x280x220 370x140x300
6	Масса, кг, не более контрольно-измерительного блока муляжа головы человека проверочного диска	7,0 1,8 3,5

* - муляж головы человека применяется для проверок импортных лицевых частей, а проверочный диск - для проверок лицевых частей, изготовленных в России.

Таблица 15. Состав, маркировка и назначение деталей комплекта переходников

Обозначение	Маркировка	Наименование и назначение	Тип дыхательного аппарата	Место присоединения к аппарату
СКАД15.001	1	Переходник с наружной резьбой М18х1,5 и штуцером для подключения аппарата к БРС.	АИР-98МИ ПТС «Авиа» ПТС "Профи" ПТС "Спасатель" ПТС "Фарватер"	Шланг легочного автомата
СКАД15.002	2	Переходник для подключения разъема аппарата к БРС	АП-98-7К АП-2000 АП «Омега»	Разъем
СКАД15.003 СКАД15.009	3	Переходник с наружной резьбой М45х3 и внутренней резьбой 40х4 и прокладка	Все типы	Легочный автомат без избыт. давления
СКАД15.004	4	Переходник с наружной резьбой М45х3 и штуцером для подключения муляжа (или проверочного диска)		
СКАД15.005	5	Переходник с наружной резьбой М45х3 и гнездом для подключения легочного автомата с байонетным соединением	АП-98-7К	Легочный автомат
СКАД15.006	6	Заглушка для проведения проверки герметичности системы		
СКАД15.008	8	Заглушка клапана выдоха лицевой части типа ШМП	Все типы с ШМП	Клапан выдоха
СКАД15.010	10	Переходник с наружной резьбой М45х3 и гнездом для подключения легочного автомата со штекерным соединением	ПТС "Профи" ПТС "Фарватер" ПТС	Легочный автомат

			«Базис» РА-90 Plus	
СКАД15.020	20	Переходник для подключения редуктора "Drager" к БРС	ПТС «Базис» РА-90 (94)Plus	Гнездо редуцированного давления
СКАД15.030	30	Переходник для подключения разъема аппарата к БРС	Все типы, кроме АП-98-7К АП-2000 АП «Омега»	Разъем
СКАД15.040	40	Переходник с наружной резьбой М20х1 и штуцером для подключения аппарата к БРС.	АП-98-7К АП-2000 АП «Омега»	Шланг легочного автомата

Устройство системы

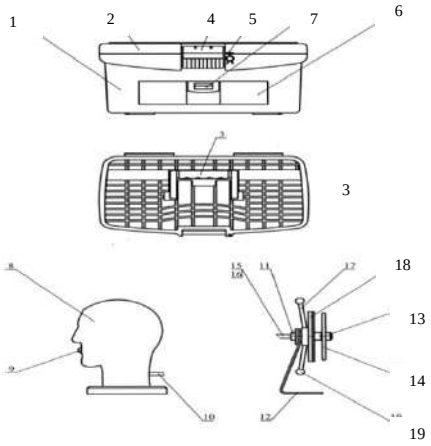


Рис.31. Система контроля дыхательных аппаратов СКАД
1 - переносной корпус; 2 – крышка; 3- ручка для переноса; 4 - замок крышки; 5 - проушина для транспортной пломбы; 6 - отсек для переходников; 7 - кнопка-фиксатор; 8 - корпус; 9 - штуцер; 10 - трубка; 11 - корпус; 12 – кронштейн; 13 - гайка; 14 - лицевой диск; 15 - соединительный ниппель; 16 – трубка; 17 – маховик; 18 - прижимной диск; 19 – рукоятка

Рис.32. Панель управления системы СКАД
1 - присоединительная муфта; 2 - уплотнительная прокладка; 3 - заглушка; 4 - кнопка сброса избыточного (или вакуумметрического) давления; 5 - рычаг переключения «избыток - вакуум»; 6 - мановакуумметр; 7 - рукоятка насоса; 8 – фиксатор; 9 - кнопка сброса редуцированного давления; 10 - быстроразъемное соединение (БРС); 11 - манометр редуцированного давления;12 – секундомер

Система (рис. 31) состоит и
противоударного корпуса 1 с крышкой 2
крышки 4, проушины для транспортной пло
и кнопки - фиксатора 7.

Муляж головы человека (или прове
крепления лицевой части при проведении пр

Муляж головы человека состоит из корпуса 8 со штуцером 9 и трубкой 10, через которые подмасочное пространство соединяется с системой.

Проверочный диск состоит из корпуса 11, установленного на кронштейне 12. На корпусе гайкой 13 закреплен лицевой диск 14 и присоединительный ниппель 15 с трубкой 16. Маховик 17 и установленный на нем прижимной диск 18 перемещаются по резьбовой части корпуса при помощи рукоятки 19.

В корпусе системы размещен контрольно-измерительный блок. Органы управления блоком, контрольно-измерительные приборы и устройства

подключения к блоку (присоединительная муфта и быстроразъемное соединение) вынесены на панель управления.

На панели управления (рис. 32) размещены присоединительная муфта 1 с уплотнительной прокладкой 2 и заглушкой 3, кнопка сброса избыточного (или вакуумметрического) давления 4, рычаг переключения «избыток - вакуум» 5, мановакуумметр 6, рукоятка насоса 7 с фиксатором 8, кнопка сброса редуцированного давления 9, быстроразъемное соединение (БРС) 10, манометр редуцированного давления 11, секундомер 12. На быстроразъемное соединение надет защитный колпак.

Принцип действия системы

Контрольно-измерительный блок системы состоит из двух автономных блоков:

- блока низкого давления;
- блока редуцированного давления.

Блок низкого давления

Источником давления в блоке служит ручной поршневой насос 1 с пружиной возврата штока насоса в рабочее (крайнее верхнее) положение.

При нажатии на рукоятку насоса воздух под давлением поступает к пневмораспределителю 2, переключение которого в одно из его положений определяет создание в блоке избыточного или вакуумметрического давления. От пневмораспределителя избыточное (вакуумметрическое) давление поступает к муфте 3, к которой присоединяется непосредственно или через переходник проверяемый узел аппарата, далее к мановакуумметру 4, предназначенному для контроля давления в блоке и пневмораспределителю 5, предназначенному для сброса давления в блоке.

Блок редуцированного давления

Редуцированное давление от воздуховодной системы дыхательного аппарата поступает в блок через быстроразъемное соединение 6. Величина редуцированного давления контролируется по манометру 7.

Сброс давления в блоке осуществляется пневмораспределителем 8 и перевести рычаг переключения 5 в положение "избыток".

Использование системы

Перед использованием системы по назначению необходимо:

- подготовить систему к работе;
- проверить герметичность системы с подключенным муляжом головы (или проверочным диском).

Подготовка системы к работе

Установить систему и муляж головы (или проверочный диск) на рабочем месте, открыть крышку корпуса.

Начальное положение стрелки мановакуумметра 6 (рис. 32) должно соответствовать положению «0». При необходимости провести корректировку начального положения стрелки при помощи регулировочного винта, для чего снять заглушку со стекла мановакуумметра и через отверстие в стекле выставить положение стрелки («вывести на ноль»).

Завести секундомер 12 и проверить его работоспособность пробным

пуском.

Привести рукоятку 7 насоса в рабочее положение, повернув фиксатор 8 по направлению стрелки, указанной на панели.

Подготовку муляжа головы для подключения к системе провести по методике, изложенной в руководстве по эксплуатации на муляж.

Проверку герметичности системы с подключенным муляжом головы (или проверочным диском) проводить последовательно избыточным и вакуумметрическим давлением.

Установить в муфту 1 (рис. 32) переходник № 4 и подсоединить к нему муляж головы (или проверочный диск). Установить на муляж головы заглушку № 6 (или заглушить отверстие в корпусе проверочного диска).

Перевести рычаг переключения 5 в положение "избыток" ("вакуум").

Рукояткой насоса 7 плавно создать в системе избыточное (вакуумметрическое) давление 1000 Па. Контроль давления по мановакуумметру 6.

Нажав на кнопку сброса 4, снизить давление в системе до 950±50 Па.

Включить секундомер 12. Выдержать систему в течение 1 мин, наблюдая за показаниями мановакуумметра.

Сбросить давление в системе, нажав на кнопку сброса 4.

Система с подключенным муляжом головы (или проверочным диском) считается герметичной, если не наблюдается изменение давления.

Внимание!

Во избежание зависания стрелки мановакуумметра не рекомендуется создавать избыточное давление более 1250 Па (вакуумметрическое - менее минус 1250 Па), для устранения зависания стрелки нажать и удерживать кнопку сброса 4 до момента начала движения стрелки.

Работа с системой

При подключении к системе дыхательных аппаратов на уплотнительные кольца нанести смазку ЦИАТИМ-221.

При установке лицевой части на муляж головы обтюратор лицевой части и муляж в месте прилегания обтюратора протереть тампоном, обильно смоченным в водопроводной воде, для удаления абразивных материалов и других посторонних частиц.

Проверки проводить на непросушенных лицевой части и муляже или нанеся на них мыльный раствор для повышения герметичности места обтюрации.

Перед установкой лицевой части на муляж головы сбросить давление в муляже до рисок 1…2 на шкале индикатора, переведя и удерживая рычаг переключения в положении «сброс». Надеть лицевую часть на муляж. Поднять давление в муляже до верхней риски зеленого сектора шкалы индикатора, и после выдержки в течение 1,5±0,5 мин сбросить давление до установки стрелки индикатора на середине зеленого сектора. Данная величина давления в муляже является оптимальной для проверки всех типов лицевых частей.

Для установки лицевой части на проверочный диск необходимо

вращением маховика 17 (левая резьба) (рис. 31) отвести прижимной диск 18 от лицевого диска 14. На диск 14 надеть лицевую часть, перекинув предварительно оголовье на лицевую сторону. Вращением маховика прижать прижимной диск к лицевому, придерживая ремни лицевой части.

Проверка дыхательных аппаратов

Проверка величины вакуумметрического давления воздуха, при котором включается легочный автомат

Установить непосредственно или через переходник (№ 5 или № 10) выключенный легочный автомат в муфту 1 (рис. 32) системы.

Открыть вентиль баллона.

Перевести рычаг переключения 5 в положение "вакуум".

Рукояткой насоса 7 медленно создать в системе вакуумметрическое давление и наблюдать за показаниями мановакуумметра 6.

Момент, когда давление начнет возрастать, считается моментом включения легочного автомата.

Закрыть вентиль баллона.

Сбросить давление в системе, нажав на кнопку сброса 4.

Отсоединить легочный автомат от системы.

Проверка величины избыточного давления воздуха, создаваемого легочным автоматом

Установить непосредственно или через переходник (№ 5 или № 10) легочный автомат в муфту 1 (рис. 1.32) системы.

Включить легочный автомат (способ включения легочного автомата – см. руководство по эксплуатации на дыхательный аппарат).

Открыть вентиль баллона.

Контролировать величину избыточного давления по мановакуумметру 6.

Закрыть вентиль баллона.

Сбросить давление в системе, нажав на кнопку сброса 4.

Отсоединить легочный автомат от системы.

Проверка величины избыточного давления в подмасочном пространстве лицевой части при нулевом

расходе воздуха и герметичности воздуховодной системы дыхательного аппарата

Установить в муфту 1 системы переходник № 4 и подсоединить к нему муляж головы (или проверочный диск). Проверить собственную герметичность системы.

Надеть лицевую часть на муляж головы (или проверочный диск).

Установить легочный автомат в гнездо клапанной коробки лицевой части. Включить легочный автомат.

Открыть вентиль баллона. Зафиксировать показания мановакуумметра 6.

Закрыть вентиль баллона.

Включить секундомер и в течение 1 мин наблюдать за показаниями манометра аппарата.

Сбросить давление в системе, нажав на кнопку сброса 4.

Воздуховодная система аппарата считается герметичной, если в течение 1 мин падение давления не превышает 2,0 МПа.

Проверка величины давления воздуха, при котором открывается клапан выдоха лицевой части

Установить в муфту 1 системы переходник № 4 и подсоединить к нему муляж головы (или проверочный диск). Проверить собственную герметичность системы.

Надеть лицевую часть на муляж головы (или проверочный диск).

Установить выключенный легочный автомат в гнездо клапанной коробки лицевой части.

Перевести рычаг переключения 5 в положение "избыток".

Рукояткой насоса 7 медленно создавать в системе избыточное давление и наблюдать за показаниями мановакуумметра 6.

Момент, когда давление в системе перестанет возрастать, считается моментом открытия клапана выдоха лицевой части.

Проверка величины редуцированного давления, давления открытия предохранительного клапана и герметичности клапана редуктора

Присоединить к быстроразъемному соединению (БРС) системы непосредственно или через переходник (№ 1, № 2, № 20, № 30 или № 40) линию редуцированного давления аппарата.

Открыть вентиль баллона.

Включить секундомер. Контролировать в течение 1 мин величину редуцированного давления по манометру системы.

Провести проверку давления открытия предохранительного клапана редуктора по методике, изложенной в руководстве по эксплуатации дыхательного аппарата. Зафиксировать по манометру системы величину давления открытия предохранительного клапана.

Закрыть вентиль баллона.

Сбросить давление в системе, нажав на кнопку сброса 9.

Клапан редуктора считается герметичным, если величина редуцированного давления не изменяется.

Проверка герметичности лицевой части при вакуумметрическом давлении

Установить в муфту 1 системы переходник № 4 и подсоединить к нему муляж головы (или проверочный диск). Проверить собственную герметичность системы.

Надеть лицевую часть на муляж головы (или проверочный диск). Установить заглушку (легочный автомат с заглушенным шлангом) в линию вдоха лицевой части.

Перевести рычаг переключения 5 в положение "вакуум".

Рукояткой насоса 7 создать в системе вакуумметрическое давление 1100 ± 100 Па. Контроль давления по мановакуумметру 6.

Включить секундомер 12. Выдержать систему в течение 2,5 ± 0,5 мин.

Нажав на кнопку сброса 4, снизить давление в системе до 980 ± 20 Па.

Выдержать систему в течение 1 мин, наблюдая за показаниями мановакуумметра.

Сбросить давление в системе, нажав на кнопку сброса 4.

Снять заглушку из линии вдоха.

Лицевая часть считается герметичной, если падение давления в ней не превысило 50 Па в минуту.

Проверка герметичности спасательного устройства при вакуумметрическом давлении

Установить в муфту 1 системы переходник № 4 и подсоединить к нему муляж головы (или проверочный диск). Проверить собственную герметичность системы.

Надеть лицевую часть спасательного устройства на муляж головы (или проверочный диск). Присоединить к лицевой части легочный автомат спасательного устройства с заглушенным шлангом.

Перевести рычаг переключения 5 в положение "вакуум".

Рукояткой насоса 7 создать в системе вакуумметрическое давление 900±20 Па. Контроль давления по мановакуумметру 6.

Включить секундомер 12. Выдержать систему в течение 2,5±0,5 мин.

Нажав на кнопку сброса 4, снизить давление в системе до 800±20 Па. Выдержать систему в течение 1 мин, наблюдая за показаниями мановакуумметра.

Сбросить давление в системе, нажав на кнопку сброса 4.

Снять заглушку с легочного автомата.

Спасательное устройство считается герметичным, если падение давления за 1 мин не превысило 100 Па.

При использовании в спасательном устройстве ШМП-1 допускается падение давления 353 Па при создании вакуумметрического давления 1177 Па. При проведении проверки в клапан выдоха установить заглушку № 8.

Проверка вакуумметрического давления воздуха, при котором открывается клапан легочного автомата спасательного устройства без избыточного давления под лицевой частью

Проверку проводить по методике, изложенной в настоящем руководстве.

Общие требования к эксплуатации системы

Система может эксплуатироваться в стационарных условиях при температуре окружающего воздуха от 5 до 50 ОС и относительной влажности от 30 до 80 %.

Перед вводом в эксплуатацию необходимо снять транспортную пломбу, проверить внешним осмотром состояние системы и соответствие комплектности перечню, указанному в паспорте на систему.

После хранения или транспортирования системы без упаковки при температуре ниже 0 ОС произвести выдержку системы в течение 2 часов при температуре от 5 до 50 ОС.

Перед каждым применением системы необходимо проверять герметичность системы с подключенным муляжом головы (или проверочным

диском) в соответствии с настоящим руководством.

Для более быстрого сброса давления в блоке низкого давления вместо кнопки сброса 4 (рис. 32) допускается использовать рычаг переключения 5, переводя его в любое из положений ("избыток" или "вакуум").

Запрещается создавать насосом давление более 1250 Па, подключать к быстроразъемному соединению источник давления более 2,0 МПа.

Проверку дыхательного аппарата проводить при постоянной температуре окружающего воздуха. Допустимая скорость изменения температуры 1 ОС в час.

Беречь систему от падений и ударов.

После завершения работы с системой необходимо:

- установить рукоятку насоса 7 в транспортное положение;
- установить заглушку 3 на муфту 1;
- установить колпак на быстроразъемное соединение 10.

Поверка мановакуумметра и манометра, применяемых в системе, должна производиться не реже одного раза в год в установленном порядке.

Периодичность последующих переосвидетельствований приборов устанавливается аналогично контрольным приборам для проверки респираторов указанных в Регламенте.

Самоспасатели на химически связанном кислороде

Общие положения

Самоспасатели шахтные изолирующие (рис. 33 и рис. 34) предназначены для защиты органов дыхания человека при подземных авариях в угольных шахтах и других горнодобывающих предприятиях, связанных с образованием непригодной для дыхания атмосферы.

Рис.33. Самоспасатель ШСС-1У

Рис. 34. Самоспасатель ШСС-1П

Самоспасатель представляет собой изолирующий дыхательный аппарат разового применения с химически связанным кислородом и маятниковой схемой дыхания.

Самоспасатель относится к изделиям исполнения У, категории 5 по ГОСТ 15150, для эксплуатации при температуре от –20 °С до +40 °С,

относительной влажности воздуха до 100 % при35 °С, атмосферном давлении до 133,5 кПа.

Корпус самоспасателя может быть выполнен из углеродистой стали, никелированной стали или пластмассы. В модификациях самоспасателей буквенный индексы «У» и «Н» обозначают марку стали, индекс «П» - пластмассовый корпус.

Самоспасатель с буквенным индексом «Н» предназначен для шахт с повышенной агрессивностью производственной среды, характеризующейся кислотными шахтными водами и водами с повышенным содержанием коррозионно-активных компонентов: хлор- и сульфат ионов соответственно более 1000 и 800 мг/л.

Самоспасатель с буквенным индексом «П» имеет упрочненный выполненный из полимерного материала корпус.

Самоспасатель рассчитан на постоянное ношение или переключение в шахте и использование в аварийных условиях при выходе на свежую вентиляционную струю воздуха.

Модификации самоспасателей

Отечественной промышленностью и за рубежом выпускается много модификаций шахтных самоспасателей, в т.ч. одночасового срока действия: ШС-1У, ШСС-1П, ШСС-1М, ШСС-Т, ШСС-ТМ и др.

Основные модификации самоспасателей одночасового срока действия представлены в таблице 16.

Таблица 16. Технические характеристики самоспасателей

Показатели	Значения						
	ШСС-Т	ШСС-ТН	ШС-ТМ	ШСС-1М	ШСС-1У	ШСС-1П	ШС-90 новинка
Время защитного действия при нагрузках, мин, не менее							
- средней тяжести (легочная вентиляция 35 дм3/мин)	60	60	60	60	60	60	90
- тяжелой (легочная вентиляция 70 дм3/мин)	-	18	20	-	-	-	30
- в покое (легочная вентиляция 10 дм3/мин)	180	260	300	300	260	180	450
Температура вдыхаемой газовой смеси, ОС, не более	55	55	45	-	-	-	50
Температурный диапазон эксплуатации, ОС	от -20 до +40	от -20 до +40	от -20 до +40	от -20 до +40	от -10 до +40	-	от -20 до +40
Сопротивление дыханию (35 дм3/мин), мм вод. ст., не более	100	100	100	-	-	-	75
Габаритные размеры, мм	111х146 х248	111х146 х248	230х180 х80	270х150	270х150	-	240х90х 120
Масса самоспасателя, кг	3,0	3,0	2,4	3,0	3,0	3,0	3,9
Гарантийный срок эксплуатации, лет	5	5,5	7,5	5	5	5	7,5
Полный срок службы, лет	-	-	-	-	-	10	-
Изготовители	1	1	1	2	3	3	2

Удельное время защитного действия, мин/кг, (35 дм3/мин)	20	20	25	20	20	20	23,07

Примечание:

1.* - самоспасатели с индикатором герметичности.

2. Обозначения изготовителей: 1- ОАО «Корпорация «РОСХИМЗАЩИТА» (бывший «ТамбовНИХИ»); 2– ООО «Гайский завод горноспасательного оборудования «ОЗОН» (г. Гай, Россия); 3 –ПАО «Донецкий завод горноспасательного оборудования», Украина.

Устройство самоспасателя

Во всех изолирующих самоспасателях на химически связанном кислороде принята маятниковая система дыхания с незначительными конструктивными отличиями. Принципиальная схема и устройство изолирующего самоспасателя на примере ШСС-1М приведены на рис. 35, ШСС–Т - на рис. 36.

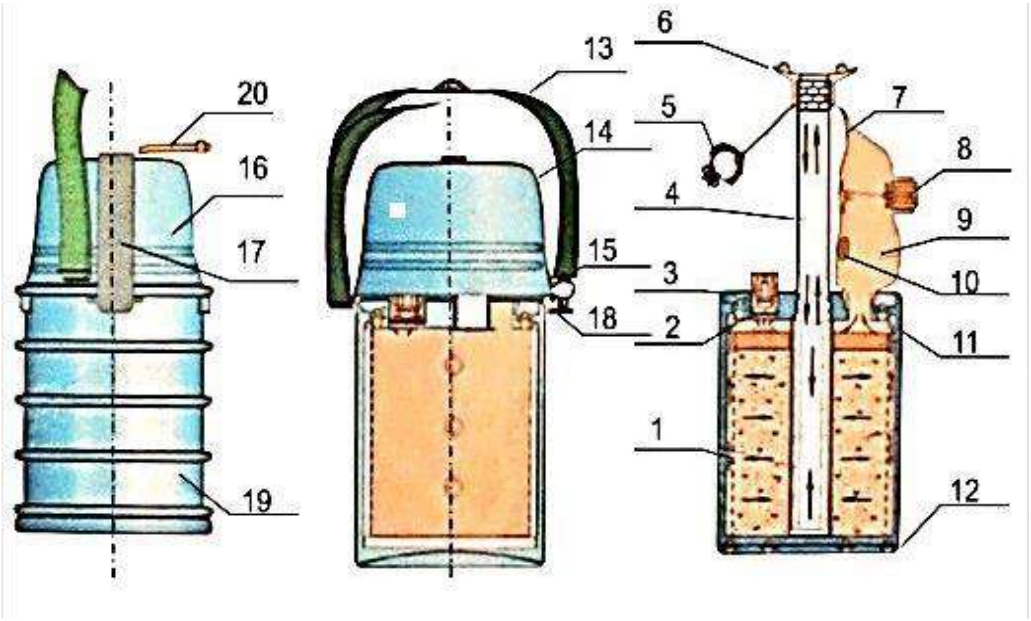


Рис.35. Устройство самоспасателя ШСС-1М

Самоспасатель ШСС-1М (рис. 35) состоит из патрона (1) с пусковым устройством (3) и пусковым брикетом (2), мешка (9) с избыточным клапаном (8) и узлом защиты брикета (кнопки 7 и пробка 10), шланга (4) с загубником (6) и зажима (5). Эти элементы вмонтированы в корпус (19) на амортизаторах (11, 12) и закреплены кольцом (18).

Узел защиты предохраняет пусковой брикет от влаги. В собранном виде пробка располагается в патрубке патрона, а кнопка – в гнезде пробки. В невскрытом виде мешок и шланг уложены упорядоченно под крышкой (16), которая посредством двух лент (14, 17) и быстровскрываемого замка с ремнем (20) прикрепляется к корпусу и герметизируется кольцом (15). Для удобства ношения корпус снабжен плечевым ремнем (13).

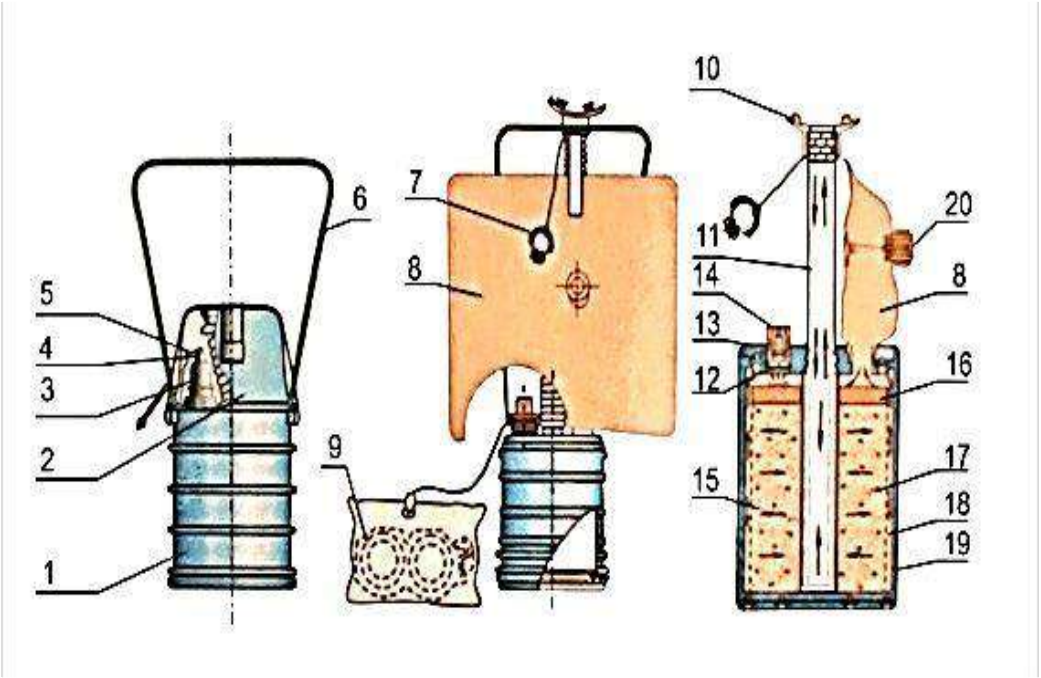


Рис.36.Устройство самоспасателя ШСС-Т

1 - корпус; 2 – крышка; 3 – пусковое устройство; 4 – колпак пускового устройства; 5 – шнур; 6 – ремень для ношения; 7 –носовой зажим; 8 – дыхательный мешок; 9 – противодымные очки; 10 – загубник; 11 – гофрированная трубка; 12 – ампула; 13 – ударник; 14 – пружина; 15 – фильтр; 16 – пусковой брикет; 17 – регенеративный продукт; 18 – обечайка сетчатая; 19 - обечайка наружная; 20 – избыточный клапан

Самоспасатель ШСС-Т (последняя модификация) имеет индикатор герметичности и допускает проверку на герметичность без прибора типа ПГС.

Самоспасатель пломбируется заводом-изготовителем: на пломбе наносится товарный знак и клеймо ОТК. Пломба должна сохраняться в течение всего срока службы самоспасателя.

Техническое обслуживание

В горноспасательных подразделениях изолирующие самоспасатели содержатся на оперативном расчете и подвергаются проверкам с периодичностью 1 раз в квартал или 1 раз в месяц (согласно ТОиИЭ на изделие) внешним осмотром и на герметичность, внешним осмотром перед спуском в шахту.

При внешнем осмотре проверяется наличие пломбы, отсутствие пробоин, вмятин на корпусе, сохранность плечевого ремня, наличие маркировочной таблицы, целостность окраски. При наличии вмятин на корпусе самоспасателей глубиной более 15 мм или пробоин самоспасатель к эксплуатации не допускается.

Проверка герметичности изолирующих самоспасателей производится на приборе ПГС или др. Проверка самоспасателей с индикатором производится согласно инструкции по эксплуатации изделия.

Для проверки самоспасатель помещают в камеру прибора плавно закрывают крышку, уровень жидкости в трубке манометра должен находится

между отметками «4800» и «5200» (4800…5200) Па. Самоспасатель считается герметичным и пригодным к эксплуатации, если в течение 15 с падение давления в камере прибора не превышает 400 Па (40 мм вод. ст.).

Забракованные или использованные самоспасатели подлежат уничтожению в соответствии с инструкцией по их эксплуатации.

Приборы проверки герметичности самоспасателей

Назначение, технические и метрологические характеристики

Приборы предназначены для проверки герметичности изолирующих самоспасателей типа ШСС, находящихся в эксплуатации на горнодобывающих предприятиях и подразделениях ВГСЧ. Для этих целей используются приборы ПГС, ПГИ, индикатор ИГС-1 (рис. 37, рис. 38).

Рис. 37. Прибор ПГС

Рис. 38. Прибор ПГИ

Таблица 17. Технические и метрологические характеристики приборов

Показатели	Значения		
	ПГС	ПГИ	ИГС-1
Рабочее давление, создаваемое в камере, кПа (мм вод. ст.)	5,0±0,2 (500±20)	5,0±0,2 (500±20)	5,0±0,2 (500±20)
Пределы измерения давления, кПа (мм вод. ст.)	3,8-5,3 (380-530)	3,8-5,3 (380-530)	0-10 (0-1000)
Относительная погрешность манометра, %	±2,5	±2,5	
Время проверки самоспасателя, с	25		15
Габаритные размеры, мм	535х400х675	535х400х675	Ø250х350
Масса, кг	8,5	8,5	5,5

Прибор ПГС

Прибор предназначен для проверки герметичности самоспасателей, габариты которых равны или меньше суммарных объемов большого и малого вкладышей.

Устройство прибора

Прибор ПГС (рис. 39) состоит из камеры в сборе и манометра (11). Камера служит для размещения в ней проверяемого самоспасателя, а

манометр – для наблюдения за изменением избыточного давления в камере.

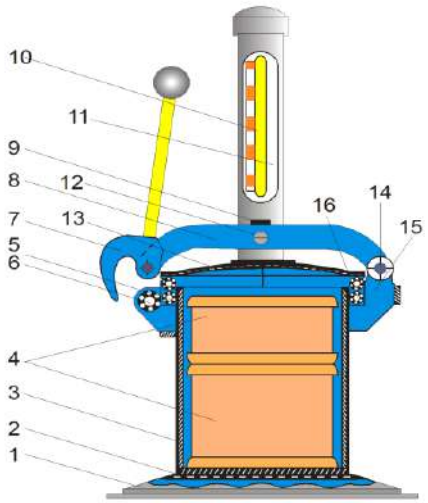


Рис. 39. Прибор для поверки самоспасателей
основание; 2 - амортизатор; 3- цилиндр; 4- вкладыши; 5 - крышка; 6- втулка; 7- эксцентрик; 8- рычаг; 9 - регулировочный винт; 10 - шкала; 11 - манометр; 12 - винт; 13- крыш- ка; 14 - ось; 15 - кронштейн; 16 - кольцо.

Камера (рис. 39) представляет собой цилиндр (3), дном которого служит коническое основание. В верхней части цилиндра находится фланец, в паз которого вставлено эластичное резиновое кольцо. На дно камеры уложен амортизатор (2). К верхней части цилиндра кронштейном (15) прикреплено запирающее устройство. При закрытой крышке камера герметизируется, и ее объем уменьшается за счет сжатия эластичного кольца, вследствие чего воздух, находящийся внутри, сжимается и в камере создается избыточное давление. Крышка соединена винтом (12) с рычагом (8), при помощи которого регулируется величина рабочего (избыточного) давления в камере.

Манометр (рис. 39) состоит из манометрической трубки, бачка и защитной трубы-кожуха с окном для шкалы (10), которая крепится к трубе винтами. Манометрическая трубка выполнена из стекла только в диапазоне измерений манометра, а остальная ее часть заменена резиновой трубкой.

Стеклянная часть (11) манометрической трубки закреплена в защитном кожухе с помощью амортизатора. Уровень воды в бачке определяется высотой сливной трубки, закрываемой колпачком. В боковую часть бачка впаяна металлическая трубка для соединения его со штуцером прибора посредством резиновой трубки. В верхней части труба- кожух заканчивается воронкой для заливки воды и закрывается крышкой (5). На внутренней стороне крышки имеются ребра, обеспечивающие зазор между ее торцом и трубой, необходимый для сообщения манометрической трубки с атмосферой. В средней части манометр прикреплен к камере с помощью кронштейна, в отверстие которого вставлена резиновая муфта. Манометр помещен в муфту и застопорен винтом. В качестве рабочей жидкости используется подкрашенная дистиллированная вода. К прибору прикладываются большой и малый вкладыши, суммарный объем которых равен объему самоспасателя.

Техническое обслуживание

Прибор ПГС подлежит проверке перед каждым применением. Прибор подлежит поверке с межповерочным интервалом 12 месяцев в специализированной организации. Прибор зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений.

Перед применением прибор подлежит внешнему осмотру, проверке на герметичность и проверке величины рабочего давления, создаваемого в

камере прибора. Проверка должна выполнятся при температуре 20±5 °С и ее колебания время проверки не должны превышать ±2 °С; прибор должен быть выдержан в нерабочем состоянии при температуре окружающего воздуха не менее двух часов; регулировка давления должна быть плавной, без перехода за пределы проверяемого значения.

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие прибора следующим требованиям: комплектность прибора отвечает паспортным данным; детали прибора не должны иметь пороков, ухудшающих его внешний вид и затрудняющих применение; прибор не должен иметь внешних признаков повреждения, грязи и пыли на внутренней и внешней поверхностях; металлические части прибора должны иметь защитные покрытия, устойчивые против атмосферной коррозии; трубка манометра должна быть прозрачной, без изъянов, затрудняющих отсчет; прибор должен быть снабжен маркировочной табличкой, на которую нанесены: товарный знак завода-изготовителя; знак Государственного реестра; условное обозначение прибора; класс точности прибора – 2,5; порядковый номер и год выпуска. Обнаруженные дефекты и нарушения должны быть устранены.

Прибор должен быть подготовлен к проверке: ручка должна быть ввинчена в эксцентрик; кольцо -вставлено в паз фланца, манометр - вставлен вертикально в муфту , зафиксирован винтом и присоединен резиновой трубкой к штуцеру; рабочая жидкость должна быть прозрачной и слегка подкрашенной; ручка крышки должна поворачиваться плавно, без затирания.

Проверка величины рабочего давления в камере прибора

Для проверки в камеру помещаются вкладыши и камера закрывается крышкой при помощи эксцентрикового затвора. Уровень жидкости в трубке манометра по шкале должен совпадать с контрольной отметкой «500» (или «5000»). В случае отклонения величины рабочего давления производится его регулирование с помощью регулировочного винта (9). Ослабляется стопорный винт и для повышения рабочего давления винт ввинчивается, а для снижения – вывинчивается.

Проверка герметичности прибора выполняется при помещенных в камеру вкладышах и отрегулированном рабочем давлении в ней. Камера прибора закрывается крышкой при помощи эксцентрикового затвора и в этом положении при давлении в ней 5000 Па делается выдержка прибора в течение трех минут.

Прибор считается герметичным, если по истечении трех минут показания манометра остаются постоянными еще в течение двух минут.

Ежегодная поверка.

Поверка включает выполнение работ и соблюдение условий проверки, предусмотренных инструкцией по эксплуатации и дополнительно - определение основной погрешности показаний манометра прибора. Проверка выполняется специалистом специализированной организации с выдачей свидетельства установленной формы.

Устранение возможных неисправностей прибора

При обнаружении негерметичности прибора осматриваются и протираются влажной ветошью уплотняющие поверхности резинового кольца и крышки, проверяется целостность резиновых трубок. При необходимости, кольцо и трубки заменяются. Проверяется герметичность вкладышей.

В случае, если при проверке герметичности прибора уровень рабочей жидкости в манометре не поднимается выше отметки «4400», производится пополнение ее количества в бачке прибора: снимаются крышка манометра и колпачок сливной трубки, через воронку доливается в бачок подкрашенный раствор. Раствор наливается с помощью спринцовки до появления его из сливной трубки. Затем колпачок и крышка должны быть установлены на свои места. По мере необходимости, но не реже, чем через три месяца, раствор в приборе заменяется полностью. Объем рабочей жидкости в бачке не превышает 50 мл.

Для приготовления рабочей жидкости два-три кристаллика метилоранжа растворяется (размешиванием до полного растворения) в 100 мл дистиллированной воды.

Хранение прибора

Прибор в подразделениях содержится в готовности к применению в помещении «проверочной» или ином помещении, распоряжением по подразделению закрепляется за лицом командного состава.

Результаты ежегодной проверки прибора заносятся в свидетельство установленной формы.

Прибор ПГИ

Прибор предназначен для контроля герметичности самоспасателей типа ПДУ-3, ШСС-Т, ШСС-1У и регенеративных патронов типа РП-Т внешним давлением в собранном виде в процессе их изготовления, испытаний, эксплуатации и хранения.

Устройство прибора ПГИ аналогично прибору ПГС с незначительными конструктивными изменениями.

Противотепловые средства защиты

Костюм изолирующий теплозащитный ИК-ТГЗ (комбинированный термохимический защитный костюм ИК-ТГЗ)

Назначение и основные характеристики

Предназначен для защиты горноспасателей от прямого и одновременного воздействия контактного тепла (250 ОС), конвективного тепла (70-100 ОС), лучистого тепла (10 кВт/м2), а также высококонцентрированного хлора, аммиака, окислов азота и хлористого водорода при ликвидации нештатных ситуаций в условиях их производства, хранения и транспортировки. Изделие изготовлено из специальных материалов отечественного производства, дающих возможность проводить работы в различных экстремальных условиях (климатических и производственных). ИК-ТГЗ используется вместе с дыхательным аппаратом, например, КИП-8, АСВ-2, РВЛ, Р-30 и другими. Защита человека от

указанных выше факторов – 20 мин. Масса изделия – 8,5 кг. Костюм показан на рис. 1.40.

Состав комплекта: комбинезон, перчатки, рукавицы, сапоги.

Комбинезон состоит из внешнего термоотражающего костюма и внутреннего противохимического - из многослойного материала, устойчивого к воздействию аммиака, хлора, концентрированных кислот, нефтепродуктов, органических растворителей. Воздушная прослойка между

Рис. 40. Костюм изолирующий ИК-ТГЗ

и обеспечивает термоустойчивость в течение 30 минут при температуре наружного воздуха до 450 ОС и 1 минуты - до 1000 ОС.

Рис.41. Теплоотражающие комплекты:
1 - ТОК-800; 2 - ТОК-200

Техническое обслуживание

1 раз в квартал костюм ИК-ТГЗ подвергают полному профилактическому осмотру с целью определения их пригодности к дальнейшей эксплуатации, при этом проверяется при осмотре комплектность, отсутствие повреждения материала верха костюма, целостность швов, наличие и работоспособность фурнитуры и соединительных элементов изделия, наличие и целостность стекла в иллюминаторе.

После каждого применения проводить внешний осмотр на проверку целостности и отсутствия повреждений.

Теплоотражательные и теплозащитные костюмы ТОК-200, ТОК-800

Назначение и основные характеристики

Комплект теплоотражательный для горноспасателей (далее ТОК-200) и теплозащитный комплект (далее ТК-800) (рис. 41) предназначены для защиты от повышенных тепловых воздействий (температуры окружающей среды до 200 ОС (для ТОК-200) и 800 ОС (для ТК-800), теплового излучения

плотностью до 18 кВт/м2(для ТОК-200) и до 40 кВт/м2 (для ТК-800) и других факторов окружающей среды, возникающих при тушении пожаров и проведения связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ, выполняемых в непосредственной близости к открытому пламени, а также от неблагоприятных климатических воздействий отрицательных температур, ветра и осадков.

ТОК-200 и ТК-800 относятся к полутяжелому типу специальной защитной одежды от повышенных тепловых воздействий (СЗО ПТВ).

Таблица 18. Основные характеристики ТОК-200 и ТОК-800

Показатели	Значения	
	ТК-800	ТОК-200
Время защитного действия, с, не менее, при:		
- температуре окружающей среды		
до +200 ОС	960	600
до +800 ОС	120	
- тепловом потоке		
до 18 кВт/м2	960	600
до 40 кВт/м2	120	
Время контакта с открытым пламенем	Не менее 30 с	Не менее 20 с
Технические данные	Детали выполнены из металлизированной ткани, представляющей собой сочетание кремнеземной ткани с металлизированной полиэтилентерефталатной пленкой (далее МТ) В качестве изолятора использован войлок тонкошерстяной АТИМ – 9 или холостопрошивной ватин	Детали выполнены из металлизированной ткани ALPHAMARITEX артикул 3025/9680 (производство Германия) В качестве изолятора использован холостопрошивной ватин, в качестве прокладки – бязь с огнезащитной прокладкой
Условные размеры комплектов (при маркировке)	1 (рост 157-170 см, окружность груди – до 100 см) 2 (рост 170-182 см, окружность груди – 104 см) 3 (рост более 182 см, окружность груди – 108 см)	1 (рост 158-164 см, окружность груди – 96-100 см) 2 (рост 170-176 см, окружность груди – 104-108 см) 3 (рост более 182-188 см, окружность груди–112-116 см)
Масса комплекта	16-20 кг (в зависимости от размера)	8-10 кг (в зависимости от размера)
Состав комплекта	комбинезон с отсеком на спине для размещения дыхательного аппарата; капюшон с удлиненной пелериной с металлизированным панорамным термостойким стеклом; однопальные рукавицы; сапоги; - комплект принадлежностей и	куртка с отсеком на спине для размещения дыхательного аппарата; брюки; капюшон с удлиненной пелериной и металлизированным панорамным термостойким стеклом; трехпалые перчатки;

	документации	бахилы; - комплект принадлежностей и документации

Меры безопасности при использовании.

При использовании ТОК-200 и ТОК-800 запрещается:

допускать к работе лиц, не имеющих соответствующей подготовки и опыта работы по тушению пожаров, а также не изучивших конструкцию костюма;

работать в костюме, не соответствующем размеру и росту человека, а также имеющих термические и механические повреждения;

снимать детали костюма (рукавицы, капюшон или бахилы) до выхода из опасной зоны. Зона опасного воздействия тепловой радиации, в которой можно работать в костюме, устанавливается лицом, возглавляющим тушение пожара.

Количество работающих в зоне тепловых воздействий должно быть не менее трех.

При интенсивных тепловых воздействиях, а также в условиях задымления, использовать ТОК-200 и ТК-800 в комплекте со средствами защиты органов дыхания.

Технические неисправности и методы их устранения

Ремонт ТОК-200 и ТОК-800 производится при помощи материалов, входящих в ремкомплект изделия.

При повреждении деталей костюма, если это не связано с прожогами, разрыв зашить встык, прикрыть шов со всех сторон на 1-1,5 см полоской ткани и пришить через край термостойкими нитками.

При прожогах площадью не более 0,5 дм2 на поврежденные места костюма наложить заплаты, прошивая через край термостойкими нитками.

При повреждении смотрового стекла – заменить.

При повреждении фурнитуры – заменить на исправную.

При наличии дефектов, не подлежащих ремонту в условиях потребителя при помощи ремкомплекта, костюм подлежит списанию.

Устройство

Теплозащитные костюмы ТОК-200 и ТОК-800 (рис. 41) по конструкции аналогичны и отличаются наличием в комплекте ТК-800 дополнительного внутреннего теплоизоляционного слоя (теплоизолирующей подстежки). Комплект состоит из куртки однобортной с запахом на левую сторону с текстильной застежкой с защитным клапаном на кнопках, с воротником стойкой, втачными рукавами. Спинка куртки выполнена с отсеком для размещения дыхательного аппарата. На нижней части рукава – хлястик с

затяжкой. Капюшон с удлиненной пелериной, задняя часть настрочена на спинку куртки, а передняя - пристегивается при помощи двух хлястиков с полукольцами к переду куртки, с отверстием для дыхания, прикрытым клапаном. В капюшоне имеется обзорный иллюминатор, в которой вставлено панорамное стекло с теплоотражательным покрытием.

Брюки шлейками закрепляются на плечах. Бахилы с теплоизолирующим вкладышем и стелькой. В нижней части голенищ предусмотрены ремешки с полукольцами для фиксации бахил поверх обуви. Рукавицы двупалые с удлиненными крагами.

Очистка костюмов от загрязнения осуществляется с помощью тампона, смоченного в водном растворе универсального моющего средства нейтрального характера, при температуре 30 ОС.

О результатах проверки вносится запись в журнал согласно Регламента.

Техническое обслуживание

1 раз в квартал комплекты ТОК-200 и ТК-800 подвергают полному профилактическому осмотру с целью определения их пригодности к дальнейшей эксплуатации, при этом проверяется при осмотре комплектность, отсутствие повреждения материала верха костюма, целостность швов, наличие и работоспособность фурнитуры и соединительных элементов изделия, наличие и целостность стекла в иллюминаторе.

Проверяется:

наличие всех изделий, входящих в комплект ТОК-200, ТК-800;

отсутствие повреждений материала верха;

целостность швов;

наличие и работоспособность фурнитуры и соединительных элементов изделия;

наличие стекла в иллюминаторе.

После каждого применения проводить внешний осмотр на проверку целостности и отсутствия повреждений.

Костюм противотепловой ПТК-80

Назначение и основные характеристики

Костюмы ПТК-80 (рис. 42) предназначены для защиты горноспасателей при ведении горноспасательных работ при высокой температуре окружающей среды в атмосфере, непригодной для дыхания. ПТК-80 выполнен в климатическом исполнении V категории 5 по ГОСТ 15150-69, но для работы при температуре от 40 до 150 °С и влажности воздуха до 300 г/кг.

В комплекте с ПТК-80 рекомендуется применять доработанные регенеративные

респираторы Р-34.

Рис. 1.42. Костюм противотепловой ПТК-80

Костюмы ПТК-80 изготавливаются двух размеров, указанных в табл. 19, размеры обуви взяты по ГОСТ 126-79.

Устройство и комплектация костюма показаны на рисунке 43.

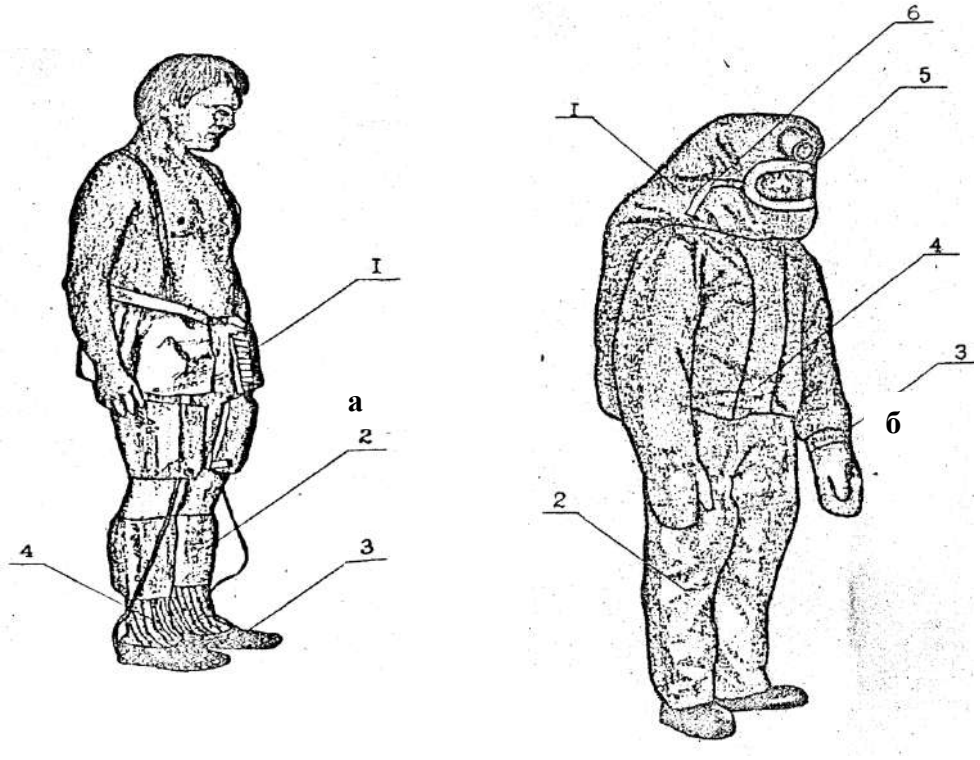


Рис. 43. Костюм ПТК-80

а. 1 – пояс охлаждающий; 2 – щитки охлаждающие; 3 – тапки;4 – носки полушерстянные

б. 1 – куртка противотепловая с капюшоном; 2 – полукомбинезон;3 – рукавицы; 4 – застежка; 5 – смотровой проем; 6 – дворник

Устройство и работа

Защитное свойство костюма направлено на изоляцию тела человека от воздействия высокой температуры окружающей среды и стабилизацию температуры тела с помощью водоледяных охлаждающих элементов.

Костюм состоит из теплоизолирующих и охлаждающих деталей. К первым относятся: куртка противотепловая с капюшоном и рукавицами (рис. 1.43), полукомбинезон защитный, брюки противотепловые, бурки теплоизолирующие, носки полушерстяные. Ко вторым - капюшон охлаждающий с нашитой на него специальной каской, куртка охлаждающая, пояс охлаждающий, щитки охлаждающие, перчатки эластичные резиновые, тапки с охлаждающими стельками. Костюм снаряжается охлаждающими элементами ОЭ-1 или ОЭ-3, ОЭ-2 и используется в комплекте с доработанным респиратором на базе Р-34 с панорамной маской, головным аккумуляторным светильником СГГ-5 и высокочастотным аппаратом связи.

Куртка с капюшоном теплоизолирующая отрезная, однобортная с пятьюметаллическими быстро расстегивающимися застежками и

специальной пряжкой на поясе, имеет клапан, прикрывающий их и фиксируемый текстильной застежкой. Куртка выполнена шестислойной, верх из прорезиненной ткани. Рукавицы выполнены заодно с рукавами и имеют проймы на запястьях. Застежка куртки позволяет тепловику расстегивать ее самостоятельно.

Смотровой проем на капюшоне штампованный из алюминиевого листа фиксируется на панорамной маске текстильной лентой с металлическими застежками.

Таблица 19. Размеры костюма и обуви

Размеры костюма, см	Размер обуви, см
170, 176-90,100	300
182,185-104,108	320

Таблица 20. Основные эксплуатационные характеристики ПТК-80

Показатели	Норма
Время противотепловой защиты, мин., не менее, при температуре окружающей среды:	
40 оС	100
50 °С	100
150 °С	25
Масса заряда водяного льда, кг, не более	7,62
Масса снаряженного ПТК-80 с респиратором светильником и аппаратом ВЧ связи, кг, не более	29
Групповой показатель долговечности: средний полный срок службы, лет, не менее	5

Таблица 21. Состав изделия костюма ПТК-80

Наименование	кол-во, шт.	Группа
Куртка противотепловая с капюшоном и рукавицами	1	Детали теплоизолирующие
Полукомбинезон защитный	1	
Брюки противотепловые	1	
Брюки теплоизолирующие	1	
Носки полушерстяные	2	
Капюшон охлаждающий с каской специальной	1	Детали охлаждающие
Куртка охлаждающая	1	
Пояс охлаждающий	1	
Щитки охлаждающие	1	
Тапки	1	
Стелька холодильная :	2	
Перчатки эластичные №10	2	
Жгут резиновый (кольцо)	2	
Элемент охлаждающий ОЭ-1	2	
Элемент охлаждающий ОЭ-2	20	
Элемент охлаждающий ОЭ-3	2	
Респиратор специальный регенеративный на базе Р-34	1	Защиты дыхания и освещения
Маска панорамная специальная	1	
Светильник аккумуляторный головной СГГ-5	1	

Элементы охлаждающие низкотемпературные ОЭ4	8	
Сумка противотепловая	1	Вспомогательные Детали
Сумка транспортная	1	
Коврик	1	
ЗИП	1	

Костюм комплектуется специальным термометром, а также вспомогательными частями: сумкой противотепловой, транспортной сумкой, низкотемпературными охлаждающими элементами ОЭ-4, трампелем для хранения деталей костюма и ковриком, используемым для надевания костюма.

С внутренней стороны по плечам в куртку вшиты металлические кнопки, для укрепления к штырям, установленным на ремнях респиратора.

Полукомбинезон защитный выполнен из прорезиненной ткани и имеет помочи. К штанинам полукомбинезона пришиты резиновые галоши.

Брюки противотепловые выполнены шестислойными. Застежка брюк - текстильная.

Бурки теплоизолирующие трехслойные со стельками из пенополиэтилена.

Капюшон охлаждающий трехслойный с нашитыми внутри решетчатыми карманами. Решетки карманов имеют внутри ребра, которые обеспечивают зазор между телом респираторщика и ОЭ. Теплоперенос осуществляется радиационным и конвективным способами. При потении теплоперенос резко увеличивается, так как пары влаги конденсируются на ОЭ, и под курткой сохраняется низкая относительная влажность. Это способствует испарению пота респираторщиков и охлаждению тела.

Каска специальная из стеклопластика с кронштейном для головного светильника пришита к охлаждающему капюшону.

Куртка охлаждающая трехслойная с 17 решетчатыми карманами (по 3 кармана в каждом рукаве) для охлаждающих элементов (размер 170, 176-96, 100). Куртка размера 182, 185-104, 108 имеет 19 карманов для ОЭ (по 3 в рукавах). Карманы на спинке и полках в верхнем ряду расположены вертикально, а на нижней части полок под углом 45°. Рукава куртки выполнены из тонкой прорезиненной ткани, низу в них вклеены жесткие манжеты, предназначенные для крепления на них резиновых перчаток.

Пояс охлаждающий с двумя подвесными панелями с 12 решетчатыми карманами в костюме размера 170, 176-96, 100 и с 16 карманами размера 182, 85-104, 108. Карманы запираются при помощи текстильной застежки, которая препятствует выпадению ОЭ. Пояс крепится на талии при помощи металлической застежки и снабжен помочами. Подвесная панель фиксируется на бедре при помощи тканевой застежки.

Щитки охлаждающие однослойные с двумя решетчатыми карманами для ОЭ и крепятся на икрах при помощи тесемок с тканевой застежкой.

Перчатки эластичные резиновые размера 10 предназначены для охлаждения пальцев и запястий рук. Перед надеванием пальцы перчаток

заполняются водой. Перчатки крепятся на жестких манжетах рукавов при помощи резинового жгута.

ПТК-80 комплектуется четырьмя видами охлаждающих элементов ОЭ:

- ОЭ-2 с двумя видами охлаждающих элементов для охлаждения стоп полиэтиленовыми плоскими ампулами ОЭ-1 и охлаждающими элементами из прорезиненной ткани ОЭ-3, имеющими горловины для их снаряжения палочками льда, извлеченными из охлаждающих элементов ОЭ-2. Это сделано в связи с тем, что в условиях аварии на шахте может по разным причинам не оказаться замороженных ОЭ-1. Для снаряжения ОЭ-3 следует использовать в первую очередь поврежденные ОЭ-2 или ОЭ-2, в которых заморожены не все секции. Снаряженные льдом ОЭ-3 закрываются заглушками, вкладываются в соответствующие карманы охлаждающего пояса и при помощи полиэтиленовых трубок присоединяются к охлаждающим стелькам;
- низкотемпературными охлаждающими элементами ОЭ-4, снаряженными 10-процентным раствором поваренной соли, предназначенные для поддержания в замороженном состоянии ОЭ-2, заложенных в карманы охлаждающих деталей костюма и уложенных в противотепловую сумку, доставляемых на подземную базу в транспортной сумке вместе с теплоизолирующими деталями костюма. В этом случае ОЭ-2 предварительно замораживаются при температуре ниже минус 10 ОС и закладываются в противотепловую сумку в количестве 8 штук, так, чтобы охлаждающие детали костюма были обложены ими со всех сторон. ОЭ-4 представляют собой плоскую полиэтиленовую ампулу, залитую 10-процентным раствором соли и закрытую резиновой пробкой. При отсутствии ОЭ-4 они могут быть заменены полиэтиленовыми флаконами или флягами вместимостью 0,5 л.

Тапочки с охлаждающими стельками выполнены из габардина или аналогичной ткани. Охлаждающие стельки выполнены в виде плоских ампул из прорезиненной ткани с металлическим штуцером, через который они подсоединяются полиэтиленовой трубкой к ОЭ-1 или ОЭ-3.

В качестве аппарата защиты дыхания применен регенеративный респиратор на базе Р-34 ТУ 12:4675547.214-88со специальными шлангами, удлинительной ножкой манометра и штырями для кнопок на плечевых ремнях.

Маска панорамная специальная с боковым патрубком на базе маски ПМ-88 или маска Панорама Нова.

Для измерения температуры окружающей среды используется термометр технический ТТП 4.1.160.66. ТУ 25.2021.003-88(или другой) с интервалом измерения 0-200 ОС и погрешностью ±2 ОС в футляре.

Сумка для охлаждающих деталей костюма выполнена из прорезиненной ткани и ватина, закрывается с помощью текстильной застежки.

Сумка транспортная выполнена из прорезиненной ткани, имеет две ручки для переноски, стягивается шнуром и закрывается сверху клапаном,

застегивающимся на три пуговицы.

Трепель комбинированный, предназначен для хранения костюма в подвешенном состоянии.

Коврик 1х1,5 из прорезиненной ткани, предназначен для подстилки при надевании костюма в шахте.

Техническое обслуживание

Стирать костюм надо вручную с применением поролоновой губки в водном растворе нейтральных моющих средств при температуре воды не выше 40 ОС, тщательно прополаскивая в теплой воде в течение пяти минут, затем дезинфицировать в 1-процентном хлорамина Б или аналогичные средства и сушить при температуре воздуха не выше 60 ОС. Все повреждения устраняются штопкой или заклеиваются латкой на резиновом клее.

При повреждении решетчатых карманов срезать поврежденные решетки и пришить запасные. Отпоровшиеся карманы пришить.

Охлаждающие элементы и контейнеры вымыть, просушить и отбраковать, пришедшие в негодность ОЭ. После замораживания СЭ, уложить их в контейнеры и поставить в морозильную камеру.

Полукомбинезон должен один раз в три месяца проверяться на герметичность и подвергается полному осмотру. Для этого следует брюки вывернуть на изнанку и залить в них не менее 30 литров воды. Течи через материю брюк или по швам не должно быть. О результатах проверки вносится запись в журнал проверки.

Наружная часть костюма в процессе эксплуатации должна окрашиваться один раз в год алюминиевой краской, изготовленной на основе дебутилметакрилатной пленки, растворенной в толуоле.

Маркировка

Маркировка ПТК-80 должна быть нанесена на табличку, которая крепится на ящике, и содержит следующие надписи:

товарный знак предприятия изготовителя;

условное обозначение изделия;

обозначение технических условий;

порядковый номер изделия;

рост и обхват груди;

месяц и год изготовления.

Комплект «Дон»

Назначение

Комплект является автономным индивидуальным защитным средством для лиц респираторного состава ВГСЧ, предназначенным для защиты человеческого организма от высоких температур и теплового излучения в подземных выработках при выполнении всех видов горноспасательных работ в диапазоне температур от + 27 ОС до + 60 ОС с максимальной влажностью воздуха. Комплект показан на рисунке 1.44.

При применении комплекта защита органов дыхания обеспечивается респиратором Р-30, холодильник которого снаряжен брикетом водяного

льда, с загубником при температуре до + 40 ОС или маской при температуре до + 60 ОС.

Технические данные и комплектность

В состав комплекта входят: теплозащитная куртка, теплосъёмный жилет, теплозащитный шлем, охлаждающие элементы (аккумуляторы холода).

За основу при разработке приняты размерные признаки типовой фигуры человека (мужчины). Комплект изготовлен следующих типоразмеров, указанных в табл. 22.

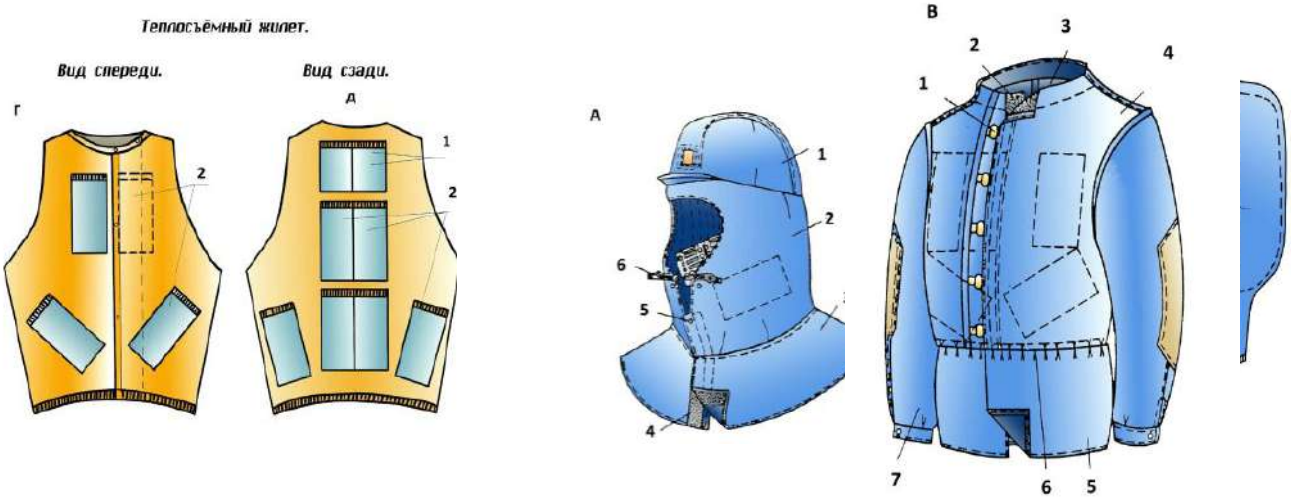


*Рис. 1.44.***Теплозащитная куртка ТК-50 и комплект «Дон»**:

А – теплозащитный шлем куртки ТК-50 и комплекта «Дон», 1- колпак; 2- оголовье; 3-пелерина; 4- застежка репейник; 5-кнопка; 6- лента.

Б- куртка «Дон» (вид сбоку), 1- застежка металлическая; 2- застежка –репейник; 3- спинка; 4- полочки; 5- притачка поясная; 6- лента.

В- куртка «Дон» общий вид, 1- разрез под дыхательные шланги; 2- застежка-репейник; 3- место респиратора под курткой; 4, 5- технологические разрезы; 6- резинка; 7- рукава

Г, Д – теплосъемный жилет ТК-50 и комплекта «Дон» 1, 2 – карманы под охлаждающие элементы.

Таблица 22. Размеры комплекта

Номер комплекта	Типовой размер	Длина окружности груди, см	Рост, см
1	96-100/170-176	94-101,9	167-179,9
2	96-100/182-188	94-101,9	180-190,9
3	104-108/170-176	102-109,9	167-179,9
4	104-108/182-188	102-109,9	180-190,9
5	112-116/170-176	110-117,9	167-179.9
6	112-116/182-188	110-117,9	180-190,9

Таблица 23. Техническая характеристика комплекта «Дон»

Показатели	Значения
Масса комплекта, кг, не более: - с охлаждающими элементами	9,0
- без охлаждающих элементов	2,5

Количество охлаждающих элементов, шт.: в том числе: шлем жилет	13 2 11
Запас холода, кДж, не менее	2000
Мощность охлаждения, К, не менее	400
Масса одного ОЭ, кг, не более	0.5
Габариты ОЭ, см	18х11,5х0,3
Запас холода в одном ОЗ при температуре -10 ОС до + 20 ОС, кДж, не менее	150

Для переноски ОЭ используются стандартные контейнеры К2, вместимостью 24 замороженных ОЭ.

Комплектность:

- теплоизоляционная куртка - 1 шт.;
- теплосъемный жилет - 1 шт.;
- теплозащитный шлем - 1 шт.;

Гарантийный срок эксплуатации теплозащитного комплекта (без охлаждающих элементов) - 2 года. Срок службы - не менее 5 лет.

Конструкция и принцип действия

Теплозащитные действия комплекта основаны на изоляции верхней половины тела и головы человека, а также респиратора от воздействия теплового излучения в условиях высокой температуры окружающей среды, с помощью куртки и шлема, снятия тепла с поверхности тела и создания в подкурточном пространстве благоприятного микроклимата за счет отдачи холода охлаждающими элементами и увеличенной степени отражения внешнего нагревающего потока температуры за счет специального внутреннего теплоизоляционного слоя материала с отражательным покрытием.

Теплоизоляционная куртка специальной объемной конструкции, удлиненная, прямого силуэта с рукавами реглан, на подкладке, с синтетическим утеплителем в качестве прокладки. Утеплитель специальной конструкции с отражательным покрытием. Куртка с центральной застежкой на пуговицы и контактную ленту Velcro. На правой полочке обтачкой обработано вертикальное отверстие, закрывающееся клапаном. для прикрепления клапана к полочке используется полоска текстильной застежки Velcro. На левой полочке расположен накладной карман-портфель с клапаном.

Спинка куртки состоит из двух частей: нижней и верхней части (кокетки) с овальным нижним краем, обеспечивающим создание под курткой объема для надевания респиратора. Справа на нижней части спинки также обработано вертикальное отверстие, закрывающееся клапаном с настроченной полоской текстильной застежки.

К низу куртки притачан пояс-кулиса. Ширина куртки понизу регулируется с помощью эластичной ленты.

Воротник-стойка состоит из трех частей: двух передних и задней, удлиненными боковыми концами заходящей на переднюю часть и закрепляющейся на ней отрезками текстильной застежки. Рукава реглан, с

притачными манжетами, состоят из трех частей. Ширина манжет регулируется с помощью эластичной ленты. В области плеча в верхних швах рукавов обработаны отверстия. Предусмотренные в куртке специальные проемы предназначены для прокладки дыхательных шлангов, контрольного манометра и обеспечения свободного доступа к кнопке "байпаса" и маховичку баллона респиратора. На рис.44 представлен внешний вид куртки.

Теплосъемный жилет прямого силуэта выполнен из основной или х\б ткани, с центральной застежкой на пуговицы и контактную ленту, низ изделия собран на эластичную ленту. Горловина и проймы жилета обработаны окантовочными бейками (окантовочной тесьмой). На полочку и спинку жилета настрочены накладные карманы для размещения ОЭ. С изнаночной стороны жилета на месте расположения карманов для ОЭ настрочены карманы для полиуретановых вкладышей для создания изолирующего слоя и предотвращения переохлаждения отдельных частей тела. Расположение карманов обеспечивает максимальный теплосъем и удобство в работе. На рис. 44 представлен внешний вид теплосъемного жилета.

Теплозащитный шлем выполнен из основной ткани на подкладке с теплозащитной прокладкой. В головке шлема, состоящей из средней и боковых деталей, обработаны отверстия (в средней части головки) для аккумуляторного светильника и пелерина, расправляемая поверх стойки ворота куртки. В стенке шлема обработано лицевое отверстие. На стенке шлема обработаны карманы для ОЗ и полиуретановых прокладок в районе основных шейных кровеносных сосудов. Шлем застегивается на текстильную застежку Velcro - липучку. На рис. 44 представлен внешний вид теплозащитного шлема.

ОЭ - аккумулятор холода АХ 15. Представляют собой герметичную ёмкость, заполненную специальным теплоёмким гелевым раствором. ОЭ позволяют сохранять охлажденное состояние длительное время. Предназначены для многократного использования, легко моются, хранятся в морозильной камере, изготовлены из экологически чистых материалов. При заморозке ОЭ надо учитывать его степень заморозки. К примеру, если в морозильной камере температура -18 ОС и поместить ОЭ на некоторое время, то он будет в жидком состоянии и будет аккумулировать холод. Один аккумулятор холода в таком состояние будет держаться в охлажденном состоянии около 14 часов.

Максимальная эффективность ОЭ рассчитана на заморозку при температуре от -21 до -25 ОС, когда в ОЭ происходит кристаллизация, что дает еще больший эффект отдачи холода, в таком состояние один ОЭ может поддерживать заморозку в течение 20 часов. Хранятся в замороженном виде, в контейнерах жесткого типа, вместимостью 40 шт. и предназначены для закладки в карманы комплекта перед уходом в зону высокой температуры.

Постановка на расчет

При постановке на расчет необходимо убедиться в качестве пошива куртки, жилета и шлема, прочности их застежек и клапанов.

Проверить качество изготовления ОЭ и поместить их в морозильную камеру с температурой от -21 до -25 ОС. После замораживания уложить их в контейнер и поместить в холодильники для хранения.

Запас замороженных ОЭ должен быть двукратным на каждый комплект, стоящий на расчете.

На наружной поверхности левого рукава куртки контрастной краской нанести различимые номер комплекта и принадлежность к подразделению, а при персональном закреплении, в районе крышки респиратора - фамилию респираторщика (командира) ВГСЧ.

Порядок содержания и техническое обслуживание

Порядок хранения комплектов и ОЭ в подразделениях и их доставка на аварийную шахту в первоначальный момент устанавливаются командиром ВГСВ с учетом местных условий. Хранить комплекты необходимо в сухом теплом помещении на вешалках. После применения комплектов, очистить их от грязи и просушить при температуре +60 ОС. Устранить повреждения. ОЭ и контейнеры помыть, просушитъ, осмотреть ОЭ и отбраковать пришедшие в негодность. После замораживания уложить ОЭ в контейнеры и поместить в морозильную камеру.

Периодичность проверки определена «Регламентом технического обслуживания горноспасательного оснащения ФГУП «ВГСЧ» и составляет 1 раз в квартал и после применения путем полного осмотра.

О результатах проверки вносится запись в журнал проверки по форме.

Куртка теплозащитная ТК-50

Назначение и техническая характеристика

Куртка предназначена для защиты горноспасателей в подземных выработках шахт при выполнении всех видов горноспасательных работ в диапазоне температур от +27 до +60 ОС с максимальной влажностью воздуха.

Куртки изготавливаются трех размеров: 49-го, 53-го и 57-го (объем груди от 94 до 101,9; от 102 до 109,9 и от 110 до 117,9 см соответственно).

Таблица 24.Техническая характеристика и комплектность куртки ТК-50

Показатели	Значения	
	Размеры 1 и 2	Размер 3
Куртка Масса, кг: с охлаждающими элементами без охлаждающих элементов Число охлаждающих элементов	 4,9 1,2 15	 5,3 1,3 17
Охлаждающий элемент (ОЭ) Масса ампулы, г Масса воды, г Габариты, мм	 50 ± 5 350 ± 5 205 × 105 × 20	
Контейнер вместимостью ОЭ, шт.: не замороженных ОЭ замороженных ОЭ	 60 54	
Масса без ОЭ, кг	3,5 ± 4,0	
Масса с ОЭ, кг	26,8 ± 2	

Габариты, мм	505 × 375 × 275

Техническое обслуживание

Куртку и контейнер с охлаждающими элементами не реже одного раза в квартал и после применения проверяют на комплектность и производят внешний осмотр.

О результатах проверки вносится запись в журнал по форме.

Специальная одежда и специальная обувь лиц, работающих в респираторе

Специальная одежда и специальная обувь предназначена для защиты кожи человека при выполнении горноспасательных работ в подземных условиях и на поверхностных объектах от повышенных и пониженных температур, воды, механического воздействия. Комплект специальной одежды и обуви включает:

Основные технические данные

Костюм (куртка и брюки) с огнезащитной пропиткой и светоотражающими элементами. Сапоги резиновые шахтерские с ударозащитным носком или проходческие (в подразделениях, обслуживающих объекты с обводненными выработками).

Рукавицы брезентовые комбинированные с двумя пальцами для защиты от механических повреждений, изготавливаемые из парусины полульняной для основания и накладок или специальные перчатки.

Костюм (куртка, брюки) с водоотталкивающей пропиткой для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий из гладкошерстной костюмной (или специальной) ткани с ВО пропиткой, предназначен для выполнения работ в ЗВТ и тренировок в расположении подразделения.

Белье нательное (рубашка, кальсоны) предназначено для использования во время работы в ЗВТ, обусловленное необходимостью повышенного поглощения потовыделений и воздухо-проницаемости ткани в целях предупреждения перегревания человека при работе в этих условиях в респираторе.

Портянки суконные (специальные носки) из сукна шинельного предназначены для работы в резиновых сапогах, с целью предупреждения ревматических заболеваний. Комплект портянок включает два полотна размером 30х80 см. Допускается использование портянок из фланелевой ткани.

Каска защитная «Труд» или каска шахтерская пластмассовая коричневого (другого) цвета для респираторщиков, белого для командного состава. На каске светоотражающей краской обозначается номер оперативного расчета респираторщика в отделении (справа) и подразделения (слева). Каска предназначается для защиты головы работающего от механических повреждений, поражений электрическим током и от попадания воды в подземных условиях.

Шлем под каску – подшлемник предназначен в качестве средства защиты головы работающих от пониженных температур и используется в холодное время года при выполнении горноспасательных работ на

поверхности (на промплощадках, в котлованах, траншеях) и в транспортных тоннелях.

Средства индивидуальной защиты, приведенные в пунктах настоящего подраздела руководства, а также ремень поясной для ношения головного аккумуляторного светильника, фляга для питьевой воды и предметы личной гигиены (мыло, полотенце) содержатся в сумке-укладке.

Сумка-укладка для специальной одежды с отделениями для обуви и карманами для фляги, полотенца, мыла и нательного белья, изготавливается индивидуальным пошивом из брезента (тентовой ткани) или полульняной ткани с застежками по бокам.

На сумку-укладку по трафарету наносится надпись установленного образца.

Содержание и проверка

Специальная одежда и обувь индивидуально закрепляется за личным составом и содержится в специальных сумках-укладках на оперативных автомобилях в ячейках. Спецодежда должна быть тщательно подобрана по размеру, находиться в исправном и чистом состоянии. Обслуживание специальной одежды и специальной обуви (стирка, сушка, ремонт и т.п.) производится по мере необходимости в подразделении личным составом, которому она выдана в индивидуальное пользование. Проверка специальной одежды и специальной обуви производится командиром отделения или помощником командира взвода ежемесячно путем внешнего осмотра. При внешнем осмотре проверяется целостность, отсутствие порывов, повреждений, трещин на каске и наличие креплений на ней для головного светильника со шнуром. Результаты проверки специальной одежды и обуви не регистрируются. В случае полного износа специальной одежды и невозможности ее восстановления она подлежит списанию в установленном порядке в утиль.

Защитные костюмы

Костюм изолирующий облегченный КИО-2М (торговая марка «ЮПИТЕР»)

Назначение

Костюм изолирующий облегченный КИО-2 предназначен для защиты горноспасателей при воздействии газообразного и локального облива жидким аммиаком. Изделие, изготовленное из специального прорезиненного материала, предназначено для многоразового использования. КИО-2 необходимо применять вместе с автономной системой жизнеобеспечения (АСЖО), в качестве которой может быть КИП-8, АСВ-2, Р-30 и другие. При выполнении этих простых условий время защиты газоспасателя неограниченно, а продолжительность его работы лимитируется только типом применяемой АСЖО. Масса костюма – 4,0 кг.

Предложенный тип изделия (рис. 45) является модификацией КИО-2 в плане наличия дополнительных деталей – жилетов, с помощью которых положительно решаются вопросы не только усиления защиты горноспасателя от агрессивной среды, но и применяемой им системы жизнеобеспечения.

Комплектация костюма показана на рис. 46.

В зависимости от требования заказчика, жилет ЖЗ-1 (ТУ 6-67-005-91) обеспечит работу и защиту дыхательного аппарата типа КИП-8, АСВ-2, Р-30 и других, а жилет ЖЗ-2 (ТУ 6-67-006-91) – фильтрующего противогаза, от прямого облива жидким аммиаком, хлором, серной, азотной, соляной, фосфорной кислотами и олеумом, так и низких (до минус 50 ОС) температур. Средства защиты рук и ног съемные, но герметично соединены с изделием, масса которого с жилетом не превышает 4,5 кг.

Рис. 45. Костюм изолирующий КИО - 2М. Общий вид

-4М

Назначение и техническая характеристика

Предназначен для защиты человека от воздействия газообразного хлора, аммиака, окислов азота, минеральных кислот (серной, соляной, азотной, фосфорной). В горноспасательных подразделениях костюмы используются при выполнении аварийно-спасательных работ на обслужив

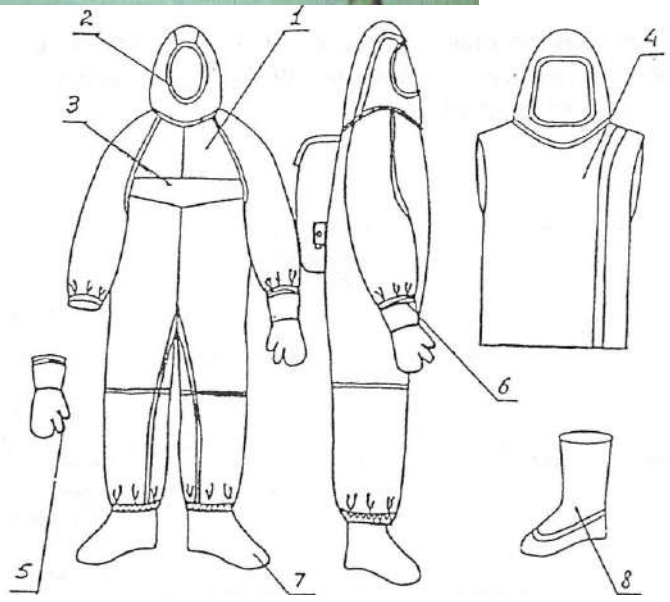


Рис. 1.46. Комплектация костюма КИО - 2М
1 – комбинезон; 2 - обтюратор; 3 - лаз; 4 – жилет защитный; 5 - перчатки; 6 - жесткие кольца; 7 -

аемых химически опасных объектах, в комплекте с респиратором Р-30 (Р-34), размещаемых в подкостюмном пространстве. Устройство костюма показано на рис. 47.

Костюм является индивидуальным средством защиты многократного использования (однократно – при воздействиях жидких хлора и аммиака) и предназначены для работы в любое время года при температурах от +40 ОС до – 35 ОС, относительной

влажности воздуха 65±10%, в том числе при условии воздействия атмосферных осадков. Костюмы носятся поверх табельной спецодежды.

Рис.47. Костюм изолирующий КИХ-4М. Общий вид

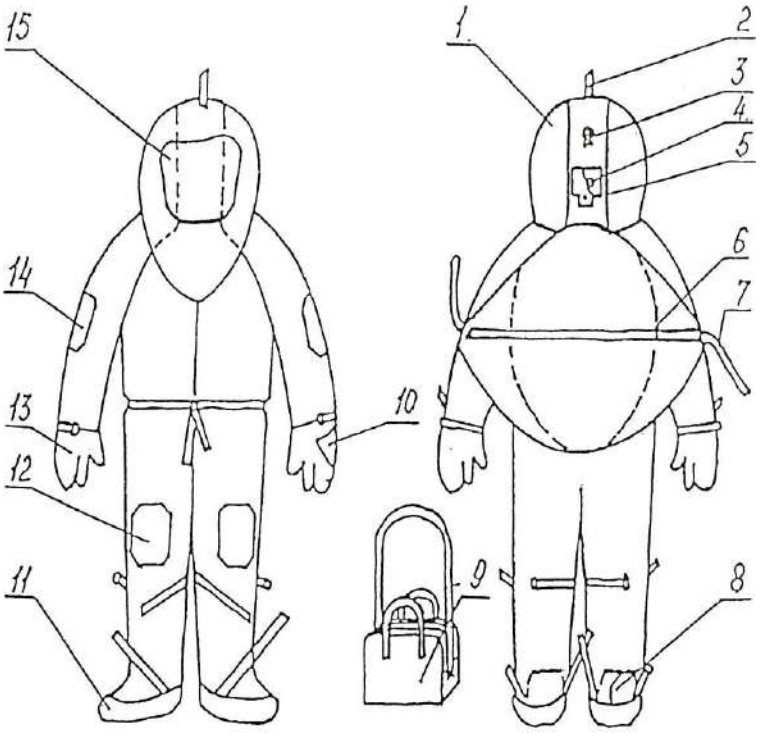


Рис. 48. Комплектация костюма изолирующий КИХ-4М
1 - капюшон; 2 - хлястик; 3 - рамкодержатель; 4 - клапан избыточный; 5 - предохранительный карман; 6 - лаз; 7- хлястик лаза; 8 - запятник; 9 - сумка; 10 - накладка; 11 - осоюзка; 12 - наколенник; 13 - рукавицы трехпалые; 14 – налокотники; 15 – стекло панорамное

Основные технические характеристики костюмов КИО-2М и КИХ-4М и приведены в табл. 25.

Таблица 25

Показатели	Значения	
	Костюм КИО-2м	Костюм КИХ-4м
Время защитного действия, мин, не менее: при воздействии жидких окислов азота и производных гидразина* при воздействии минеральных концентрированных кислот (азотная, серная, соляная)	- 40**	180 10
при воздействии высококонцентрированных газообразных хлора и аммиака при воздействии жидких хлора и аммиака	40 -	60 2
Допустимая продолжительность воздействия, мин и кратность использования костюма: жидкие окислы азота и производные гидразина минеральные кислоты газообразные хлор и аммиак жидкие хлор и аммиак	- нет данных нет данных -	1 (пятикратно) 10 (пятикратно) 60 (пятикратно) 2 (однократно)

Допустимые потери давления, Па/мин, при избыточном давлении в подкостюмном пространстве 392,4±4,0 Па	68,8±2,0	68,8±2,0
Допустимая кратность дегазации и нейтрализации костюма	нет данных	5
Комплектующие изделия: костюм, шт. перчатки трикотажные сумка жилет защитный	 1 1 1 1	 1 1 1 1
Масса костюма, кг	5	5.1
Гарантийный срок хранения, лет	5	5

* при воздействии по циклу 1:10:180 (облив в течение 1 мин., слив жидкой фазы, задержка в течение 10 мин от начала воздействия, смыв водой, выдержка в течение 180 мин. от начала воздействия, определение проницаемости и нейтрализация образца).

** серная кислота 94 %; соляная кислота 35 %; азотная кислота до 70 %, фосфорная кислота 85 %.

Костюмы изготавливаются на типовые фигуры мужчин, трех условных (усредненных) размеров: 49, 53, 57, каждый трех ростов: 1, 2, 3 согласно таблице 26.

Таблица 26. Условные размеры в сантиметрах

Условный размер	Обхват груди типовой фигуры человека	Интервал обхвата груди
49	99, 100	от 94,0 до 101,9 включительно
53	104, 108	от 102,0 до 109,9 включительно
57	112, 116	от 110,0 до 117,9 включительно
Условный размер	Рост типовой фигуры человека	Интервал роста человека
1	158, 164	от 155,0 до 166,9 включительно
2	170, 176	от 167,0 до 178,9 включительно
3	182, 188	от 179,0 до 191,9 включительно

Устройство

Костюм КИХ-4М (рис. 48) выполнен в виде комбинезона с капюшоном, рукавами, лазом, притачными союзками и трехпалыми рукавицами. Капюшон (1) на затылочной части имеет хлястик (2) с рамкодержателем (3), при помощи которых регулируют положение капюшона на голове, а так же клапан сброса избыточногодавления (4), защищенный сверху предохранительным карманом(5). Через клапан сброса избыточного давления в атмосферу выходит выдыхаемый в подкостюмное пространство воздух. В лицевой вырез капюшона вклеено панорамное стекло (15). Рукава комбинезона цельнокроенные, оканчиваются притачными трехпалыми рукавицами (13), в области локтей имеются налокотники (14), в области запястья – хлястики с рамкодержателями, аналогичными имеющимся на капюшоне. Брюки костюма оканчиваются притачными осоюзками (11), в области колен имеются наколенники (12), под коленом

сзади имеются хлястики с рамкодержателями, фиксирующие осоюзки; с изнаночной стороны в низках штанин нашиты запятники (8), оканчивающиеся текстильной застежкой и двумя хлястиками (7).

Трикотажные хлопчатобумажные перчатки служат для утепления рук при работе с криогенным хлором, аммиаком, при минусовых температурах окружающего воздуха и надеваются непосредственно на руки (10).

Для упаковки костюма, при переноске костюма к месту эксплуатации служит сумка (9), которая имеет две ручки и плечевой ремень. Разъем сумки застегивается на текстильную застежку.

На ручку сумки привязывается и к открытому срезу шва лаза костюма пришивается бирка размером 30х50 мм из любой бязи или ситца с указанием фамилии и инициалов лица, за которым закрепляется костюм.

Хранение костюмов

Подготовленные к работе костюмы должны хранится на базе технического оснащения подразделения на вешалках или распялинах.

Запрещаетсяхранить костюмы в сумках, а также влажные, неисправные и загрязненные или не прошедшие нейтрализацию (дегазацию).

Нейтрализация(дегазация) костюмов проводится личным составом подразделения после проведения работ в химически загрязненных условиях в специально отведенных для этих целей местах. Личный состав должен быть одет в спецодежду и включен в изолирующие респираторы.

Душевание водой производится при заражении костюма газообразным хлором и аммиаком – в течение 3-5 мин, при заражении жидкими СДЯВ – в течение 10-15 мин.

Костюмы, зараженные жидкими окислами азота и производными гидразина после душевания водой должны подвергаться частичной нейтрализации путем протирки костюма ветошью, смоченной растворами:

- 2-4% раствором кальцинированной соды (окислы азота);
- 1,0-1,5% водным раствором ДТСГК (производные гидразина).

Полная нейтрализация костюмов, зараженных жидкими окислами азота, проводится вымачиванием в 2% растворе кальцинированной соды в течение 3-х часов с последующей промывкой холодной водой в течение 10 мин и сушкой в течение суток (расход раствора принимается из расчета 18-25 л на один костюм). В случае попадания на костюм жидких хлора и аммиака, костюм после дегазации, душевания и просушки подлежит списанию.

Белье, надетое под костюм, подвергается гигиенической стирке.

Загрязненные костюмы чистятся при помощи ветоши, смоченной теплым раствором (t°=30-35°С) нейтральных моющих средств, ополаскиваются чистой водой и развешиваются (или раскладываются на распялины) для просушки и проветривания. Сушка и проветривание производится в сухом, хорошо вентилируемом помещении вдали от нагревательных приборов или на открытом воздухе в тени. Сушке подлежит сначала лицевая сторона костюма, а затем, внутренняя.

Техническое обслуживание

В горноспасательных подразделениях изолирующие костюмы КИО-2м,

КИХ-4 и другие подвергаются следующим видам технического обслуживания:

внешний осмотр (ЕТО) – выполняется перед и после каждого случая применения, а также перед вводом в эксплуатацию и периодически не реже одного раза в месяц путем визуальной проверки;

текущий ремонт – в случае обнаружения дефектов или неисправностей.

Костюмы типа КИО-2м, кроме указанных выше видов технического обслуживания, перед вводом в эксплуатацию после каждого случая ремонта и периодически через шесть месяцев подвергаются проверке на герметичность (ТО-1, ТО-2).

Внешний осмотр костюмов КИО-2м, КИХ-4м и других

Проверяется наличие на костюме клейма завода-изготовителя и сравнивается дата выпуска костюма с его паспортными данными и с фактическим сроком использования костюма на момент проверки. Срок хранения не должен превышать 5 лет.

Устанавливается по таблицам 25 и 26 соответствие роста и размера костюма размерам респираторщика, за которым этот костюм закреплен.

Определяется наличие и исправность составных частей комплекта костюма путем визуального осмотра.

Проверяется исправность костюма: костюм не должен иметь порывов, проколов материала и швов, отслоении, потертостей полимерного покрытия материала, отслоение проклеечной ленты и усилителей, отслоения панорамного стекла (КИХ-4м), помутнения и трещин на нем; отрывов хлястиков и рамкодержателей, предохранительного кармана, текстильной застежки; огрубления и трещин осоюзок; перекоса лепестка.

Проверка герметичности костюма КИО-2м проводится манометрическим методом по схеме (рис. 49). Для проверки лицевая часть капюшона костюма герметизируется при помощи приспособления (1), используемого для проверок шлем-масок, лаз костюма – тесьмой-молнией с подкруткой. Приспособление (1) соединяется резиновыми трубками (2) с мановакуумметром типаМВ-600 (4) и редуктором типа ДКП-1-65, имеющего два манометра (высокого и редуцированного давления). Редуктор подключается к баллону (6) вместимостью 1-2 л со сжатым воздухом при помощи трубки высокого давления (8).

При открытом вентиле баллона (6) в костюме создается избыточное давление 392,4±4,0 Па (≈40 мм вод. ст.) регистрируемое по показаниям мановакуумметра (4), затем вентиль баллона закрывается и резиновая трубка перекрывается зажимом (3).

В течение одной минуты не должно наблюдаться снижение избыточного давления более, чем на 68,8±2,0 Па (≈7 мм вод. ст.).

Для проверки герметичности костюма могут использоваться вместо мановакуумметра приборы УКП-5, однако в этом случае прибор должен использоваться только для проверок на сжатом воздухе, должны быть сделаны надписи «воздух» на корпусе и крышке прибора, баллон и манометр окрашен в черный цвет и должна быть исключена проверка на этом приборе

респираторов и иного кислородного оснащения.

О результатах проверки костюмов вносится запись в журнал согласно Регламента.

При выбраковке изолирующих костюмов составляется акт с указанием причин за подписью командира подразделения и личного состава проводившего проверку.

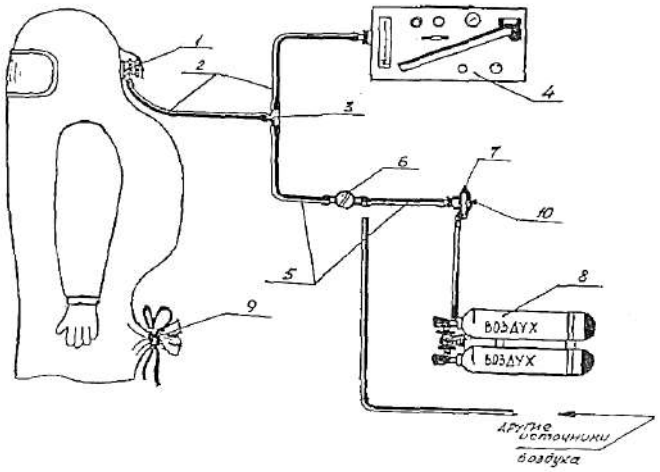


Рис. .49. Схема проверки костюма КИХ-4

I - штуцер с отводом, 2 - шланг резиновый, 3- тройник,4 - прибор УКП-5, 5 - шланг резиновый, 6 - кран, 7 - автомат легочный, 8 - аппарат дыхательный АВМ, 9 - лаз костюма, 10 - шток.

Примечание:можно использовать один прибор УКП-5 для заполнения костюма - без дыхательного аппарата.

Текущий ремонт костюмов КИО-2м и КИХ-4

Проколы, порезы, утонения (сдиры, потертости) материала костюма и рукавиц устраняются при общей площади дефекта не более 1 см2. Для ремонта используются латки из прорезиненного материала (ТСБ-30 или ТС-60), которыеподклеиваются специальным клеем в следующей последовательности:

очищается от пыли и грязи смоченной водой ветошью место повреждения с лицевой стороны, отслоившаяся лента или латка – с внутренней стороны, просушиваются и обезжириваются указанные поверхности с помощью тампона, смоченного бензином;

наносится на склеиваемые поверхности тонкий слой клея, причем, на поврежденный участок наносится клей так, чтобы промазанная площадь перекрывала площадь латки, поверхности просушиваются на воздухе 10-15 мин;

вторично наносится тонкий слой клея на латку (ленту), место ремонта, вновь просушивается на воздухе в течение 5-20 мин, накладывается латка, место склеивания прикатывается, просушивается и присыпается тальком.

Общее количество латок на костюме должно быть не более трех, а ремонт отслоения проклеечной ленты от швов допускается выполнить на общей длине не более 10 см.

Ремонт при отрыве хлястиков, рамкодержателей, текстильной застежки, предохранительного кармана выполняется вручную двойной ниткой (армированная, капроновая или пропиленовая) из состава ЗИП, с последующим проклеиванием швов проклеечной лентой. При повреждении лепестка в седловине клапана избыточного давления, потере рамок (полуколец) в костюме КИХ-4м производится их замена на новые из

комплекта ЗИП. При повреждении (потертости, огрублении) трикотажные перчатки костюмов (КИО-2м, КИХ-4м) подлежат замене, а в случае загрязнения – стирке.

Текущему ремонту не подлежат костюмы, разрушения которых превышают установленные в пунктах нормы, а также костюмы КИХ-4м, имеющие разрушения осоюзок (трещины, огрубления, порывы и т.п.), повреждение или помутнение смотрового стекла, его отслоение по месту приклеивания.

Дегазация (душевание)

Сразу после выхода из загазованной среды, перед снятием костюма, провести душевание водой в течение 3-5 мин. При отсутствии душевой установки провести дегазацию промыванием костюма из пожарного рукава с помощью находящихся в резерве спасателя или водителя, которые должны быть обеспечены защитной спецодеждой.

Применяемое оборудование и средства индивидуальной защиты: душевая установка, вода, пожарный рукав, ствол. Резиновые сапоги, перчатки, фартук, защитные очки.

Чистка костюма

После душевания провести чистку костюма раствором нейтральных моющих средств.

Применяемые средства: раствор моющего средства типа "Лотос" или "Прогресс" (5 г. на 1л воды), ветошь, перчатки резиновые.

Просушивание

После чистки костюма провести просушивание костюма на открытом воздухе в висячем положении на вешалке или специальной подставке. В случае невозможности размещения костюма на открытом воздухе, организовать его просушивание в хорошо проветриваемом помещении.

Применяемые средства: вешалка, специальная подставка.

Визуальная проверка

Визуальный контроль проводить лицевой и изнаночной сторон костюма только после его высушивания.

При этом необходимо проверить:

отсутствие проколов порывов, потертостей, отслоения полимерного покрытия материала костюма, трещин на панорамном стекле и его помутнения;

качество приклеивания швов путем их перегибания по краю на 180º;

прочность притачивания хлястиков и рамкодержателей, держателей пряжек;

исправность клапана сброса избыточного давления проверяется при снятом с капюшона костюма его корпуса и снятой крышке - определяется упругостью обоих лепестков, плотностью прилегания их к своим седлам;

целостность поверхности сапог и герметичность их определяются путем плотного соединения вверху голенищ сапог и закатывание их сверху-вниз.

Проверка герметичности костюма манометрическим методом

Костюм в расправленном виде уложить на стол.

Снять клапан сброса избыточного давления на капюшоне костюма, в отверстие от клапана вставить и закрепить штуцер с отводом (1; рис. 1.49).

Установленный на капюшоне костюма штуцер с отводом (1) посредством резиновых трубок (2) и тройника (3) подсоединить к прибору УКП-5 (4).

На панели прибора УКП-5 установить: маховичок КР - в положение МАНОМЕТР, маховичок КЭ - в положение НАГНЕТ, рычаг КЛАПАН - в положение ЗАКР, маховичок ПОТОК - в положение МЕНЬШЕ до упора, штуцер манометра-реометра в положение ОТКР.

Свободный конец тройника (3) посредством резиновых трубок (5) и запорного крана (6) соединить с легочным автоматом (7) аппарата АВМ (8).

Лаз костюма (9) загерметизировать путем завязывания его капроновым шнуром.

Открыть вентиль баллона на АВМ и запорный кран (6). Штоком (10) включить избыточное давление и довести давление в костюме до 40 мм вод. ст. (392,4±4,0 Па) Отключить подачу воздуха в костюм и на прибор и включить секундомер. По прибору (4) снять показания давления. Если снижение давления в течение 1 минуты не превысит 7 мм вод. ст. (68.8±2,0 Па), то костюм считается исправным. В случае снижения давления более, 7 мм вод. ст. (68,8±2,0 Па) в минуту - костюм подвергается повторному осмотру и устраняют выявленные дефекты (проколы, порывы). В случае невозможности обеспечения герметичности костюм бракуется.

После проверки разгерметизировать лаз костюма, извлечь штуцер с отводом из отверстия капюшона и на его место установить клапан сброса избыточного давления, навинтить крышку на корпус клапана. Результаты проверки занести в журнал .

Ремонт костюма.

При обнаружении неисправностей костюм КИХ-4М подлежит текущему ремонту, который выполняется силами ремонтных служб на месте эксплуатации в подразделении ВГСЧ.

Устраняются следующие неисправности:

- наложение заплат на проколы и порывы общей площадью до 1 см2, при этом общее количество заплат на костюме должно быть не более трех штук;
- отслоение проклеечной ленты от швов длиной до 10 см,
- подшивка хлястиков, рамкодержателей, предохранительного кармана с последующим проклеиванием швов с изнаночной стороны проклеечной лентой;
- замена лепестка клапана вдоха ЛКВ-1 в корпусе клапана сброса избыточного давления.

Во всех остальных случаях повреждений костюм списывают в установленном порядке.

Наложение заплат на проколы и порывы площадью не более 1 см2.

Очистить от грязи и пыли место ремонта ветошью, смоченной водой и просушить.

Вырезать заплату такого размера, чтобы она накладывалась на материал вокруг поврежденного места не менее 15 мм. Обезжирить поверхность заплаты и место ремонта с помощью тампона, смоченного бензином, нанести тонким слоем резиновый клей на место ремонта и внутреннюю сторону заплаты, просушить его на воздухе 10-15 мин, затем вторично нанести тонкий слой клея, просушить на воздухе в течение 5-10 мин и наложить заплату. Тщательно разгладить заплату, используя валик или какой-либо другой подходящий инструмент.

Применяемые средства: ветошь, вода, заплата соответствующего материала, бензин, кисть, клей, валик, кисточка.

Подклейка проклеечной ленты при её отслоении от швов длиной не более 10 см.

Подклейку производить после очистки и обезжиривания нанесением тонкого слоя клея на отслоившуюся часть ленты и шва с последующей просушкой в течение 5-10 мин и дальнейшим заклеиванием шва.

Применяемые средства: линейка.

Подшивка хлястиков, рамкодержателей, краев предохранительного кармана

Подшивку производят вручную с последующим подклеиванием к месту ремонта с изнаночной стороны проклеечной ленты.

Применяемые средства: игла, нитки из ЗИПа, ножницы, клей, кисть, проклеечная лента, валик.

Замена лепестка клапана вдоха ЛКВ-1.

Снять корпус клапана с капюшона костюма, снять верхнюю крышку, удалить неисправный лепесток и установить годный лепесток клапана. Установить и закрепить корпус клапана на костюме.

Через 24 часа после наложения заплатки или подклейки проклеечной ленты провести испытание костюма на герметичность и записать в журнал.

Примечание: костюм не подлежит ремонту бракуется и списывается при:

- превышении общей площади дефекта более 1 см2;
- отслоении проклеечной ленты от швов более 10 см
- необходимости наложения четвертой заплаты на костюм;
- повреждении или помутнении панорамного стекла.

Хранение костюма

Костюм хранится в складском помещении при температуре 10-30 ОС, относительной влажности воздуха 50-70 %, в условиях, обеспечивающих защиту от атмосферных осадков и воздействия прямых солнечных лучей.

Ящики с изделиями укладывают в штабеля на стеллажи крышками вверх, маркировкой в одну сторону. Расстояние от пола до нижней полки стеллажа должно быть не менее 0,2 м, от отопительных приборов до изделий - не менее 1 м, от внутренних стен до изделий - не менее 0,2 м.

При соблюдении правил хранения на складах срок сохранности костюма составляет 5 лет.

После получения костюма со склада для индивидуального пользования,

костюм хранится в специально отведенном месте, в развешенном состоянии в комплекте с сапогами в помещениях, оборудованных вытяжной вентиляцией.

Запрещается:

- хранить костюм в сумке, на полу, открытых полках;
- хранить влажный, неисправный, загрязненный костюм;
- совместное хранение костюма с горючими средствами, кислотами, растворителями;
- хранить костюм, не прошедший дегазацию.

Костюмы специальные изолирующие других типов

Возможно применение в подразделениях ВГСЧ иных костюмов химзащиты (КС «Азот», ИК-АЖ «Иней», КИ-АУ «Икар» и др.). Эксплуатация и техническое обслуживание данных костюмов определены соответствующими инструкциями по их эксплуатации и техническому обслуживанию.

Боевая одежда пожарного

Боевая одежда пожарного БОП-1

Боевая одежда первого 1 уровня защиты, в сокращении БОП-1, прекрасно защищает от воздействия на организм высоких температур, тепловых потоков и всевозможных взаимодействий с открытым пламенем при тушении пожара или проведении аварийно-спасательных мероприятий в условиях действия пожара, например, проведение разведывательных действий или спасение людей. Боевая одежда изготавливается из тканей, которые имеют чрезвычайно высокие показатели в области огнетермостойкости. Такие ткани обрабатывают специальными пропитывающими составами или огнеупорные покрытиями. Такой тип одежды в основном поставляется на оснащение частей газодымозащитников.

Рис.50. БОП-1

Все материалы, которые обладают повышенной огнестойкостью, проходят проверку на соответствие установленным показателям разрывной и других видов нагрузок. В качестве примера можно взять материал под названием терлон, или же СВМ, которые способны выдержать разрывную нагрузку превосходящую силу в 1000 Н. Кислородный индекс таких материалов, как правило, составляет приблизительно около 30 %об.

Кислородный индекс пожарозащитной одежды первого уровня равен 28 %. Такой тип одежды чрезвычайно устойчив к температурам до 300 ОС и способен в течение 7 секунд выдерживать контакт с твердыми поверхностями, температура которых составляет около 400 ОС.

Боевая одежда пожарного БОП-2

Боевая одежда пожарного 2-го уровня защиты БОП-2 изготавливается из материала под названием брезент. Существует два типа защиты второго уровня, так тип "А" предназначен для начальников и командиров групп, а вот тип "В" используется рядовым составом при тушении пожаров. Одежда способна обеспечить защиту от сильно концентрированных растворов и поверхностно-активных веществ, температур повышенного и пониженного характера, воды и пенных растворов, осадков в виде дождя и снега, а также от сильного ветра.

Рис.51. БОП-2

Как правило, боекомплект состоит из куртки ниже пояса, к которой пристегивается объемная теплоизоляционная прокладка и полукомбинезона, который также оснащен отстегивающимся теплоизоляционным материалом. По желанию костюм может быть дополнен капюшоном и противопожарными перчатками. Куртка поставляется со стойким воротником, тремя накладными кармашками. Среди них есть один, который рассчитан для расположения в нем портативной рации для переговоров с командой. Рукава куртки в дополнение оснащены усилительными накладками, которые расположены в локтевой области и на манжетах, на которых к тому же расположены трикотажные напульсники. На грудной части куртки в ее нижней части и на рукавах находятся светоотражательные фотоэлементы, которые также находятся снизу полукомбинезона. Масса всего боекомплекта должна составлять порядка 6,5 кг.

Боевая одежда пожарного БОП-3

Боевая одежда 3-го защитного уровня состоит из немного удлиненной куртки и полукомбинезона, который оснащен съемными теплосберегающими подкладками. По кромке куртки, на рукавах локтевой в области и в нижней части штанов, располагаются светоотражающие полосы. Куртка оснащена застежкой из трех карабинов. Поверх молнии застежки, нашит водозащитный клапан, который предостерегает не только от попадания внутрь куртки влаги, но и препятствует задуванию ветра. Рукава на куртке оборудованы хлястиками, которые регулируют ширину рукава в области запястья. С этой же ролью отлично справляются напульсники из основной ткани, которые стянуты эластичной лентой. Боевая одежда пожарного 3-го уровня защиты БОП-3 изготавливается из материала под названием винилискожа. Существует два типа защиты третьего уровня, так тип "А" предназначен для начальников и командиров групп, а тип "Б" используется рядовым составом при тушении пожаров. Одежда способна обеспечить защиту от сильно

концентрированных растворов и поверхностно-активных веществ, температур повышенного и пониженного характера, воды и пенных растворов.

Рис.52. БОП-3

Подобного рода боевая одежда способна защитить спасателя от воздействия температуры в 200 ОС на целых три минуты. Максимальная масса всего комплекта 6,5 кг.

Один раз в месяц и после применения производится осмотр и проверка целостности БОП.

БОП изготавливается трёх условных размеров и ростов, которые приведены в табл. 27.

Таблица 27. Размерный ряд костюмов БОП

Условный размер БОП	Обхват груди типовой фигуры человека, см.	Условный рост БОП	Рост типовой фигуры человека, см.
1	96-100	I	158-164
2	104-108	II	170-176
3	112-116	III	182-188

Тема 6.Оживляющая аппаратура на вооружении ВГСЧ

Как известно, наиболее сложным и трудным приемом оказания первой помощи является восстановление дыхания пострадавшему, находящемуся в бессознательном состоянии, когда сердце и дыхание человека находятся в стадии угасания.

Способы оживления мнимоумерших ко времени создания спасательных дружин были известны и почти все горноспасатели умели их применять в случае необходимости. Однако, производство искусственного дыхания требовало большого умения, часто длительного времени и затраты значительных физических усилий.

Стремясь механизировать процесс оживления пострадавших, в Германии были разработаны автоматические приспособления для производства искусственного дыхания. Это аппараты «Инхабад» и «Пульмотор». Такие аппараты применялись и горноспасателями России.

Механический аппарат «Инхабад» имитировал искусственное дыхание пострадавшему по способу Сильвестра с подачей кислорода в легкие пострадавшего. Более сложный аппарат фирмы Дрегер «Пульмотор» позволял производить искусственное дыхание и ингаляцию. В конце 30-х годов в научно-исследовательской лаборатории ВГСЧ Донбасса аппарат «Инхабад» был несколько усовершенствован и получил название рама ОКА (оживляющий кислородный аппарат). С

С помощью ОКА пострадавшему можно было автоматически подавать смесь кислорода с воздухом, один кислород, смесь кислорода с углекислым газом (карбоген) для лучшего стимулирования дыхания с помощью ингаляторов и механически производить искусственное дыхание по способу Сильвестра. Поэтому ОКА состоял из двух частей: слегка выгнутой доски с металлической рамой для механического производства искусственного дыхания и кислородного или кислородно-углекислотного ингалятора.

Кислородный и кислородно-углекислотный ингалятор предназначены для равномерной подачи дозированных количеств кислорода, кислорода с воздухом или углекислотой с целью восстановления нормального дыхания у пострадавшего.

Деревянная слегка выгнутая доска с металлической рамой и переключательным краном, расположенным под доской, предназначена для механического производства искусственного дыхания.

При отсутствии или порче ингалятора оживление осуществлялось применением одного аппарата для механизации процесса искусственного дыхания. Равным образом, ингалятор применялся для оживления при отсутствии аппарата для механизации искусственного дыхания.

Рама ОКА находилась на оснащении ВГСЧ до 50-х годов прошлого века.

Метод Сильвестра получил широкое распространение ввиду того, что он сравнительно проще других (Шефера, Нильсена) и требует меньших усилий.

Однако опытами было доказано, что метод Нильсена дает значительно

лучшую вентиляцию легких, чем метод Сильвестра. Это было использовано врачом научно-исследовательской лаборатории ВГСЧ Сибири И.Ф.Швайко в созданном им оживляющем аппарате для производства искусственного дыхания по методу Нильсена.

Основу аппарата составляла складная рама (доска) с откидными ножками. Внизу, под передней частью рамы, укреплялась система рычажных передач из металлических трубок, позволявшая приводить в движение рычаги с подлокотниками, закрепляемыми ремнями к локтевым суставам рук пострадавшего. Пострадавший укладывался лицом вниз, причем на уровне его рта в раме имелось круглое отверстие для выведения рвотных масс; через это же отверстие проходила и трубка ингалятора. Две подушечки трапециевидной формы, соединенные тремя пружинами, накладывались широкими краями на лопатки пострадавшего. К имевшимся по бокам этих подушек крючкам прикреплялись цепочки, соединенные с рычагами. При качательном движении рукоятки, соединенной с рычажной системой аппарата, надавливание на лопатки производилось с помощью трапециевидных подушечек, как и при ручном способе, в направлении вперед, вниз и несколько в сторону.

Оживляющие аппараты Швайко изготавливались в механических мастерских штаба ВГСЧ Сибири и имелись на оснащении горноспасательных подразделений.

В дальнейшем оживляющая аппаратура проектировалась с использованием энергии сжатого кислорода и метода вдувания-отсасывания дыхательной смеси в легкие человека. Это были аппараты серии «ДП» и «Горноспасатель», которые эксплуатируются до настоящего времени.

Аппарат "Горноспасатель-10"

Аппарат искусственной вентиляции легких "Горноспасатель-10" предназначен для проведения искусственной вентиляции легких (ИВЛ) пострадавшим при авариях и несчастных случаях в шахте.

ИВЛ может проводиться в пригодной (автономная работа аппарата) и непригодной для дыхания атмосфере.

В непригодной для дыхания атмосфере аппарат применяется совместно с любым газозащитным аппаратом, используемым в горноспасательной практике в атмосфере, соответствующей их защитной способности.

Показания к применению аппарата: расстройство дыхания, приводящее к недостаточной вентиляции легких; прекращение дыхания в результате слабой сердечной деятельности; отсутствие дыхания, сопровождающееся прекращением сердечной деятельности, т.е. клиническая смерть.

С помощью аппарата возможно проведение ингаляции чистым кислородом.

Техническая характеристика

Запас кислорода в баллоне при 200 ат, л….....200

Масса аппарата, кг……...….....5

Габаритные размеры, мм…….....353х242х120

работа в режиме ИВЛ
Время действия аппарата, мин….....…….....90
Давление вдоха аппарата, мм рт.ст
минимальное (основной режим).....…….13,2±1,1
максимальное (дополнительный).....……21,1±2,2
при экстренной ручной подаче,мм вод.ст.…500±50
Минутная вентиляция,л/с.....……...…..0,2±0,03
содержание кислорода в дыхательном газе,%.....35±5
работа в режиме ингаляции
Время действия аппарата, мин…….....15
Производительность ингаляционного устройства, л/с..1
Содержание кислорода в дыхательном газе, %.....99,2-99,5
Разрежение вдоха, мм вод.ст…….....3

Устройство и работа ГС-10

Переключение с фазы вдоха на фазу выдоха происходит вследствие достижения заданного давления дыхательного газа в дыхательном контуре аппарата (принцип переключения - по давлению).

Для осуществления вдоха используются энергия сжатого кислорода, содержащегося в баллоне, и способность инжектора подсасывать атмосферный воздух (или другой дыхательный газ) и направлять образовавшуюся кислородно - воздушную смесь в легкие пострадавшего.

Выдох осуществляется пассивно за счет упругих сил грудной клетки и легких человека.

Аппарат имеет кислородораспределительные системы высокого и низкого давления и дыхательный контур.

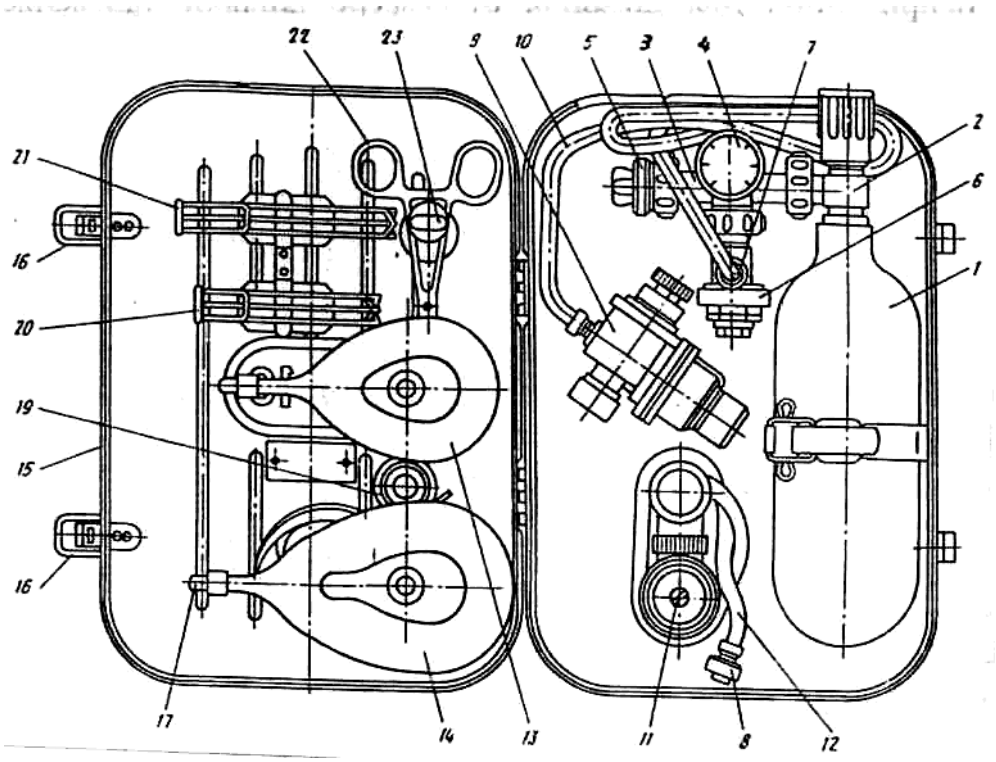


Рис 1. Аппарат ГС-10

В кислородораспределительную систему высокого давления (рис. 1) входят баллон 1 емкостью 1 литр с вентилем 2, тройник 3 с манометром 4 и заглушкой 5.

В кислородораспределительную систему низкого давления ИВЛ входят редуктор 6 с присоединенным к нему гайкой 7 разъемом 8 и переключающее устройство 9 с гибкой трубкой 10.

В кислородораспределительную систему низкого давления ингаляции входят редуктор 6 с присоединенным к нему гайкой 7 разъемом 8 и ингаляционное устройство 11 с гибкой трубкой 12.

Дыхательный контур ИВЛ состоит из дыхательной маски 13 (14) и присоединяющейся к ней части переключающего устройства 9.

Дыхательный контур ингаляции состоит из дыхательной маски 13 (14) и присоединяющейся к ней части ингаляционного устройства 11.

В ранце 15, который закрывается замками 16, размещены пробка 17, маскодержатель 18, переходник 19, языкодержатели 20, 21, 22, зуборасширитель 23.

Работа в режиме ИВЛ

При автономном применении аппарат работает по схеме с полуоткрытым дыхательным контуром (рис.2 и 3а). Кислород из баллона 4 поступает через тройник 1, редуктор 3 и гибкую трубку 2 в переключающее устройство 5, которое одновременно является генератором вдоха, так как содержит инжектор, создающий поток кислородно-воздушной смеси и направляющий его через дыхательную маску 6 в легкие пострадавшего.

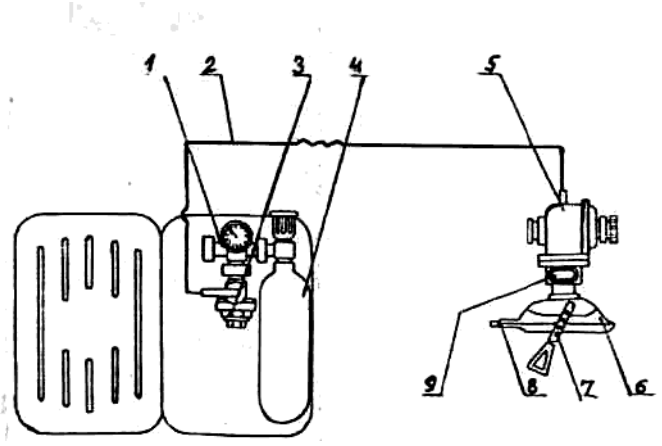


Рис.2

После достижения в дыхательном контуре заданного давления перекрывается доступ кислорода в инжектор и, следовательно, прекращается подача дыхательного газа в легкие. Затем в результате давления, создаваемого упругими силами грудной клетки и легких, происходит пассивный выдох в атмосферу через отверстие овального фланца 9, расположенного на корпусе переключающего устройства.

При работе в непригодной для дыхания атмосфере (при совместном применении с изолирующими дыхательными аппаратами) аппарат работает по схеме с полузакрытым дыхательным контуром (рис.3 в, г, д, е). Кислород из баллона 5

поступает через редуктор 4 и гибкую трубку 3 переключающего устройства 2. Одновременно инжектор начинает подсасывать дыхательный газ из аппарата, подсоединенного к овальному фланцу 6 переключающего устройства 2, и направляет образовавшуюся газовую смесь через дыхательную маску 7 в легкие пострадавшего.

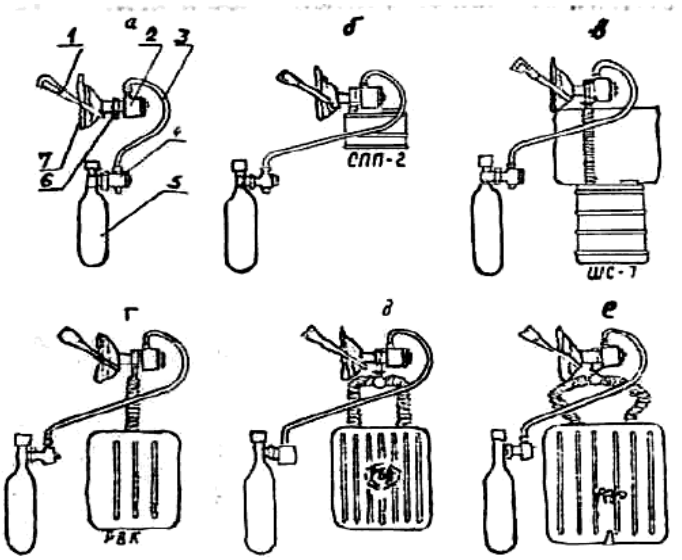


Рис.3

После достижения в дыхательном контуре заданного давления прекращается поступление кислорода в инжектор и начинается фаза пассивного выдоха. Выдыхаемый газ поступает через отверстие овального фланца 6 обратно в дыхательный аппарат, где очищается от углекислого газа и снова используется для дыхания.

При совместном применении с дыхательными аппаратами фильтрующего типа аппарат работает по схеме с полуоткрытым дыхательным контуром. В этом случае выдох происходит в атмосферу (рис.3 б).

Работа в режиме ингаляции

Ингаляция осуществляется чистым кислородом. При вдохе кислород из баллона 3 (рис.4) поступает через тройник 1, редуктор 2, гибкую трубку 4 и ингаляционное устройство 8. Ингаляционное устройство обеспечивает необходимый поток кислорода в зависимости от глубины вдоха пострадавшего и направляет его через дыхательную маску 7 в легкие.

Выдох осуществляется через клапан 5 ингаляционного устройства 8 в атмосферу.

Применение аппарата ГС-10

Проведение ИВЛ в пригодной для дыхания атмосфере

Проведение ИВЛ пострадавшему в пригодной для дыхания атмосфере производится в следующем порядке:

1. командиру отделения убедиться в отсутствии пульса и дыхания у

пострадавшего, информировать личный состав отделения о клинической смерти пострадавшего и подать команду "приступить к оказанию помощи":

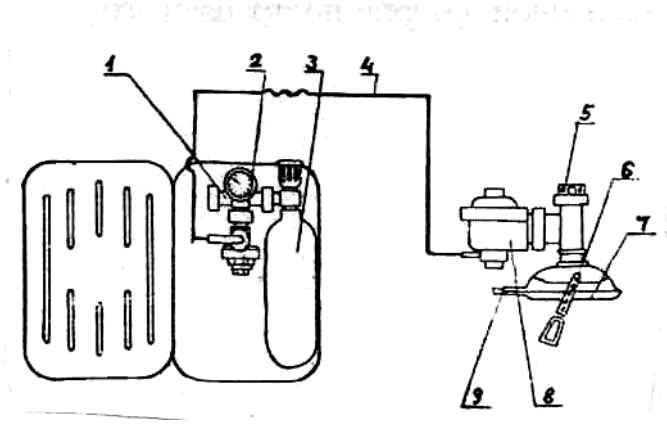


Рис.4

2. командиру отделения встать на колени на левую сторону от пострадавшего, открыть ему рот руками или роторасширителем, осмотреть полость рта и при наличии слизи, рвотных масс, инородных тел быстро очистить намотанной на палец салфеткой (бинтом); положить ладони левой руки на шею, а ладонь правой - поместить на лоб и запрокинуть голову, ввести в полость рта сетчатый языкодержатель так, чтобы он выступал на передние зубы не более чем на один сантиметр;

3. убедиться в отсутствии перелома ребер в области сердца;

4. приступить к непрямому массажу сердца, не ожидая подключения пострадавшего к аппарату ИВЛ;

5. замыкающему положить аппарат ИВЛ перед собой справа от головы пострадавшего и открыть крышку; извлечь сетчатый языкодержатель, оголовье и положить их у головы пострадавшего. Роторасширитель, бинт, салфетку извлекают по требованию командира или медработника;

6. присоединить к круглому фланцу переключающего устройства ротоносовую маску, и после введения командиром сетчатого языкодержателя в полость рта пострадавшего открыть вентиль баллона, наложить маску на лицо пострадавшего; удерживать ротоносовую маску с переключающим устройством до тех пор, пока респираторщик N 1 закрепит ее маскодержателем; контролировать ритмичность работы аппарата ИВЛ и расход кислорода по манометру: подключить запасной кислородный баллон при падении давления в основном баллоне до 100 ат; использовать запасной баллон до давления 10 атмосфер;

7. респираторщику N 1 встать на колени у изголовья пострадавшего, удерживать его голову в максимально запрокинутом положении на протяжении всего времени производства ИВЛ, подвести под шею пострадавшего маскодержатель и закрепить им ротоносовую маску с переключающим устройством; закрепить нить языкодержателя к боковой кнопке маски; расстегнуть воротник и контролировать пульс на сонной артерии пострадавшего;

8. респираторщику N 3 освободить пострадавшего от аккумулятора, расстегнуть пояс, если он туго стянут; убедиться в отсутствии переломов нижних конечностей, приподнять и обеспечить их приподнятое положение

во время проведения непрямого массажа сердца.

Проведение ингаляции

При появлении у пострадавшего устойчивого самостоятельного дыхания командир отделения подает команду "перейти на ингаляцию":

1. респираторщику N 1 отстегнуть маскодержатель, снять ротоносовую маску, извлечь языкодержатель, отсоединить от маски переключающее устройство и передать его замыкающему; подсоединить маску к ингаляционному устройству, наложить маску на лицо пострадавшего и закрепить ее маскодержателем;

2. замыкающему закрыть вентиль баллона в аппарате ИВЛ и контролировать падение давления до нуля; отсоединить трубку переключающего устройства от редуктора, подсоединить к нему трубку ингаляционного устройства и передать ее респираторщику N 1; открыть вентиль баллона; наблюдать за давлением кислорода в баллоне до 10 ат и производить его своевременную замену;

3. респираторщику N 3 поднести к аппарату ИВЛ кислородные баллоны, доставленные на базу.

В аппаратах ГС-10, снабженных разъемами, вентиль баллона не перекрывается, а отсоединяют в разъеме переключающее устройство и подсоединяют ингаляционное.

Проведение ИВЛ в непригодной для дыхания атмосфере с использованием вспомогательного респиратора

По команде "приступить к оказанию помощи" всем в отделении действовать одновременно:

1. командиру отделения встать на колени по левую сторону от пострадавшего, раскрыть ему рот, разжав при необходимости зубы роторасширителем;

2. осмотреть полость рта и, при наличии слизи, рвотных масс, инородных тел, быстро очистить ее намотанной на палец салфеткой (бинтом); запрокинуть голову пострадавшему; ввести по середине спинки языка сетчатый языкодержатель так, чтобы он выступал за передние зубы не более чем на один сантиметр;

3. убедиться в отсутствии проникающего ранения сердца и перелома ребер в области сердца, после подключения пострадавшего к аппарату ИВЛ приступить к непрямому массажу сердца;

4. респираторщику N 1 встать у изголовья пострадавшего, удерживать его голову в максимально запрокинутом положении на протяжении всего времени ИВЛ; закрепить плотно маску с переключающим устройством; закрепить нить языкодержателя к маске; расстегнуть воротник пострадавшего; контролировать пульс на сонной артерии;

5. респираторщику N 2 разместиться слева от пострадавшего между командиром отделения и респираторщиком N 1, положив перед собой вспомогательный респиратор, заменить шлем - маску на загубник и,

развернув его в противоположном направлении от подбородка, открыть вентиль баллона, нажать на байпас до срабатывания избыточного клапана; подтянуть респиратор к пострадавшему и передать мундштучную коробку с загубником замыкающему;

6. замыкающему положить аппарат ИВЛ перед собой справа от головы пострадавшего, выложить языкодержатель и оголовье, подсоединить к круглому фланцу ротоносовую маску, удерживая переключающее устройство круглым фланцем вниз, подсоединить к овальному фланцу загубник респиратора;

7. открыть вентиль баллона аппарата ИВЛ и после появления шипящего звука наложить маску на лицо пострадавшего; удерживать переключающее устройство до тех пор, пока респираторщик N 1 закрепит маску; контролировать работу ИВЛ;

8. респираторщику N 3 освободить пострадавшего от аккумулятора; расстегнуть пояс, если он туго затянут; убедиться в отсутствии переломов нижних конечностей, приподнять и обеспечить их возвышенное положение в течение всего времени проведения массажа сердца.

В непригодной для дыхания атмосфере переключение с режима ИВЛ на режим "Ингаляции кислорода" не производится.

Проверка аппарата ГС-10

В процессе эксплуатации аппарат ГС-10 подвергается сокращенной и полной проверкам. Кроме того, один раз в год в специализированных мастерских проводят ревизию всех составных частей аппарата с заменой вышедших из строя деталей.

Сокращенная проверка аппарата ГС-10

Сокращенная проверка аппарата проводится один раз в месяц в подразделении и после каждого случая применения лицом, за которым закреплен аппарат в следующем порядке.

Открыть вентиль баллона и по манометру аппарата определить давление кислорода, которое должно быть 200±10 ат.

Тлеющим фитильком проверить герметичность соединений баллона, манометра, заглушки и редуктора с тройником, а также штуцера переключающего и ингаляционного устройства с редуктором. При обнаружении утечек их необходимо устранить.

Определить субъективно исправность переключающего устройства. Для этого соединить дыхательную маску с переключающим устройством и открыть вентиль баллона. Закрыть дыхательную маску несколько раз ладонью во время вдоха.

Четкое переключение устройства, определяемое на слух, является признаком его исправности. Если переключение отсутствует или происходит с перебоями, переключающее устройство необходимо проверить на приборе КП-3м.

После проведения сокращенной проверки присоединить к аппарату

наполненный кислородом баллон и проверить герметичность этого соединения тлеющим фитильком.

Полная проверка аппарата ГС-10

Полная проверка аппарата ГС-10 производится в подразделениях ВГСЧ один раз в шесть месяцев, а также при обнаружении неисправностей в работе во время сокращенной проверки или при эксплуатации. Проверку проводит лицо, за которым закреплен аппарат. Основные параметры аппарата проверяют при помощи приборов КП-3м и УКП-5.Устранение неисправностей, при которых требуется полная разборка переключающего и ингаляционного устройств, производится в специализированных мастерских. После полной проверки к аппарату подсоединяют наполненный кислородом баллон и проверяют герметичность их соединений, как и при сокращенной проверке.

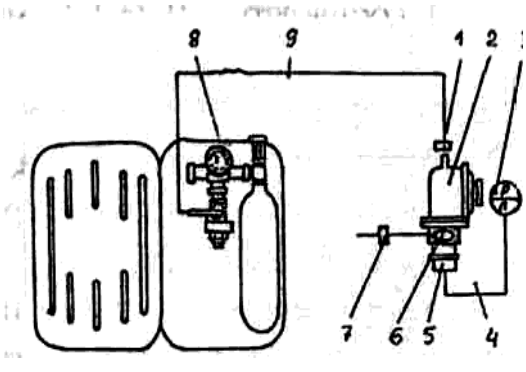


Рис.4

При полной проверке определяется давление кислорода в баллоне и герметичность системы высокого и низкого давлений по схеме, показанной на рис.4. Для этого необходимо открыть вентиль баллона и по манометру 8 определить давление кислорода, пережать гибкую трубку 9 и закрыть вентиль баллона, наблюдая за стрелкой манометра. При падении давления определяют тлеющим фитильком место утечки кислорода и устраняют течь. Система высокого и низкого давления считаются герметичными, если в течение одной минуты не наблюдается падения давления.

Для проверки герметичности дыхательного контура аппарата необходимы пружинящие зажимы для дыхательных трубок, мановакуумметр, секундомер и медицинская резиновая трубка. Проверка герметичности аппарата осуществляется при закрытом вентиле, для чего следует создать через овальный штуцер 6 в системе избыточное давление воздуха 500 мм вод.ст. пережать отвод овального штуцера 7 и одновременно включить секундомер, наблюдая за показаниями мановакуумметра 3. Давление не должно снижаться более чем на 30 мм вод.ст.

При проверке минимального давления вдоха используются контрольный манометр, контрольный прибор КП-3м и резиновая гофрированная трубка. Проверка проводится по схеме рис.5. Кнопка переключающего устройства должна быть установлена в положение, при котором давление вдоха 13,2 мм рт.ст., т.е. толкатель должен быть виден в прорези маховичка. По прибору КП-3м определяют величину минимального давления вдоха, которая должна составлять 13,2±1,1 мм рт.ст.

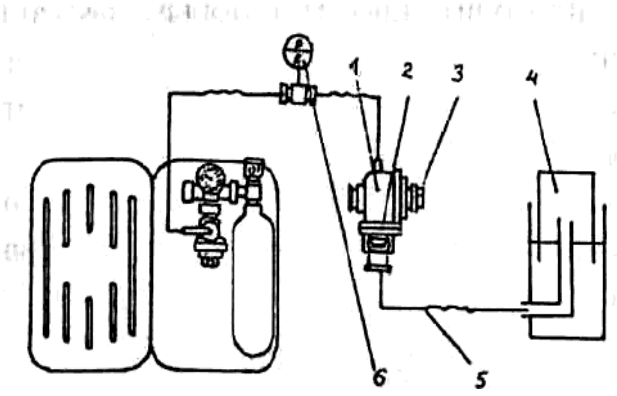


Рис.5

Проверка максимального давления вдоха осуществляется по этой же схеме, при этом предварительно провернуть маховичок, чтобы в прорези не был виден толкатель. Максимальное давление вдоха должно составлять 21,1±2,2 мм рт.ст.

При проверке времени вдоха используют те же приборы и оборудование, что и при проверке минимального давления вдоха, а также секундомер. Осуществляется проверка по схеме рис.5 при открытом вентиле баллона. Маховичок следует зафиксировать в положении, как и при проверке минимального давления вдоха, и по секундомеру определить его время. Время вдоха должно составлять 2±0,1-0,2 секунды. Если время вдоха отличается от заданного, регулируют давление в редукторе.

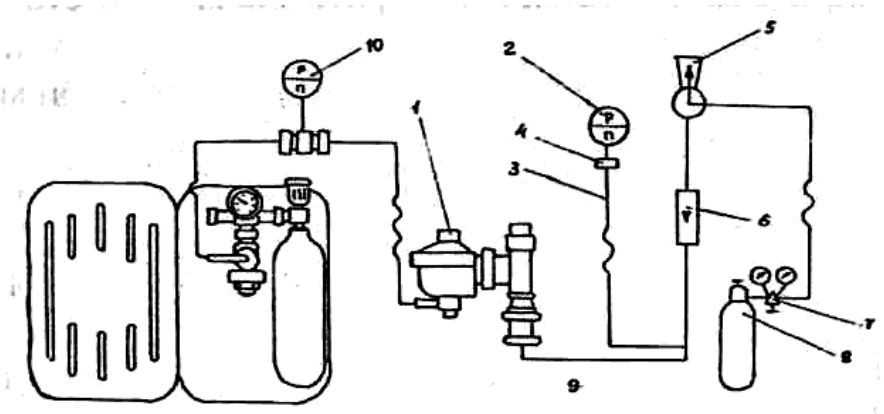


Рис.6

Для проверки времени действия аппарата в режиме ИВЛ используются приборы и оборудование, которое применяется при проверке времени вдоха. Проверка проводится по схеме рис.5. При этом необходимо открыть вентиль баллона, перекрыть отверстие в овальном фланце 7 во время фазы выдоха, включить секундомер в начале вдоха и по прибору КП-3м определить время вдоха. Если продолжительность вдоха не менее 16 с, то обеспечивается действие аппарата в течение 90 мин. Если время вдоха меньше заданного (при соответствии всех других параметров), необходимо проверить герметичность соединений сопел эжектора и мембраны с эжектором.

Проверка продолжительности фазы выдоха в режиме ИВЛ осуществляется по схеме рис.5 при открытом вентиле баллона. По секундомеру необходимо определить продолжительность фазы вдоха, которая должна составлять 3,2±0,2 секунды.

Проверка вакуумметрического давления вдоха ингаляционного

устройства проводится с применением прибора УКП-5, контрольного манометра и соответствующих переходников. Проверка осуществляется при открытом вентиле баллона по схеме рис.6. При этом необходимо открыть вентиль баллона прибора УКП-5, рычаг "клапан" перевести в положение "откр", а маховичок "кэ"- в положение "отсас"; вращая маховичок "поток" в сторону "больше", создать поток 10 л/мин. Вакуумметрическое давление не должно превышать 3 мм вод.ст. (определяется по шкале манометра). Если давление вдоха не соответствует заданному, следует отрегулировать его, а после регулировки - зафиксировать.

Для проверки подачи ингаляционного устройства необходимы приборы и оборудование, используемые при предыдущей проверке. Проверку осуществляют при давлении кислорода в баллоне 200 и 20 ат. С помощью прибора УКП-5 обеспечивают подачу 60 л/мин кислорода и определяют по манометру-реометру вакуумметрическое давление, создаваемое в ингаляционном устройстве. Если давление превышает 20 мм вод. ст., то проверяют работоспособность редуктора аппарата.

Неисправности аппарата ГС-10, связанные с негерметичностью соединений, устраняются путем подтягивания этих соединений или заменой прокладок, при этом не следует забывать перекрыть запорный вентиль баллона и выпустить кислород из системы.

Устранение неисправностей аппарата, требующие разборки его узлов, должны проводиться в специализированной мастерской.

Тема 7. Аппараты горноспасательной связи

В первые годы организации горноспасательных подразделений сигнализации в квартирах спасателей не было. В случае аварии на шахте посылался посыльный оповещать спасателей, находящихся дома. Посыльный брал палку, ходил по домам и стучал в окна с криком :«тревога». Если спасателя не оказывалось дома, его жена бежала разыскивать мужа.

Связи между шахтами и расположением спасателей также не было. В случае аварии с шахты посылали нарочного, который либо на коне, либо бегом добирался до подразделения спасателей и извещал об аварии.

До 1939 года наземная связь между подразделениями ВГСЧ осуществлялась обычными телефонами через несколько коммутаторов, а потому зачастую была неудовлетворительной как по скорости, так и по качеству слышимости.

В некоторых отрядах устанавливались свои небольшие коммутаторы для связи с каждым подразделением. Такая связь была надежнее и качественней.

Были приняты меры к тому, чтобы заменить телефонную связь между штабами ВГСЧ и отрядами, а также между отрядами и их подразделениями, расположенными на значительном расстоянии друг от друга, более надежной и быстрой радиосвязью. В начале 1941 года ряд отрядов, имеющих большой радиус обслуживания, были полностью радиофицированы радиоаппаратами МРК-0.02. Для этой цели в каждом таком подразделении была введена штатная должность радиста.

Связь командного пункта на поверхности с подземной базой часто осуществлялась с помощью шахтной телефонной сети и полевыми фоническими телефонами, которые имелись на вооружении горноспасателей.

С начала 30-х годов XX века делаются попытки применения радиосвязи командного пункта на поверхности с работающими в шахте отделениями.

Первая модель двухсторонней радиоустановки испытывалась в феврале 1939 года на шахте № 3-4 в Донбассе. При этом пятиваттный передатчик был установлен в районе рудничного двора шахты, а приемник на расстоянии около 1700 метров. Радиосвязь осуществлялась по двухпутевому коренному штреку и уклону, насыщенных токопроводящими линиями. Слышимость была весьма хорошей. Однако связи не получилось, когда пытались вести переговоры с расстояния 100 м в штреке, не имеющим каких-либо металлических проводников.

Обнаружение пострадавших, оставшихся живыми за завалом, часто происходило по сигналам, подаваемым ими ударами по рельсам, трубам или по массивам породы и угля. Было установлено, что передача звука по рельсам или по подвешенным на всем протяжении трубам происходит на большие расстояния. Так, по трубопроводу диаметром 150 мм в наклонной шахте постукивание костяшками пальцев передавалось на расстояние 450 метров. Подобные сигналы пострадавших можно услышать с помощью специальных приборов.

Такой прибор, геофон, был изобретен французским физиком во время империалистической войны (1913-1917 г.г.) для обнаружения саперных минировочных подземных операций противника. Прибор был усовершенствован инженерами США, а затем разработкой прибора для горноспасателей занималось горное бюро США.

Геофон конструкции горного бюро США состоял из чугунного кольца, закрытого сверху и снизу медными дисками. Внутри такой коробки между двумя диафрагмами находится свинцовый диск. Диафрагмы металлические или слюдяные расположены одна над кольцом, а другая под кольцом и прижаты к кольцу медными дисками. Между диафрагмами и медными дисками, а также между свинцовым диском и кольцом имеются зазоры.

Коробка геофона воздухонепроницаема. На штуцер верхнего медного диска одета резиновая трубка длиной 600-900 мм внутренним диаметром 6 мм, которая вставляется в ухо наблюдателя. При установке его соответствующим образом на землю и при ударах или раскапывании земли вблизи него, колебания земли передаются корпусу геофона. Свинцовый же диск, имея большую массу и будучи подвешенным между дисками, остается относительно неподвижным, воздух же внутри коробки то сжимается, то расширяется, что и передается по резиновой трубке наблюдателю. При этом если звук идет справа, он слышится правым ухом и наоборот. Поворачивая голову, можно принять такое положение, когда оба уха будут слышать этот звук одинаково, т.е. звук идет или прямо спереди, или прямо сзади. С помощью двух приборов можно определить положение источника звука довольно точно.

Было замечено, что в угольных шахтах удары лучше производить по бортам выработки и что удары молотком (по сравнению с другими горными инструментами) передаются лучше и слышны на больших расстояниях.

Геофон с никелевыми диафрагмами воспринимал удары молотом весом 7,2 кг на расстоянии 900 м по породе, на 600 м по углю, на 120 м по глине и на 170 м по наносам. В обыкновенном разговоре голос человека был воспринят через 45 метровую толщу угля.

В горноспасательной практике с применением геофонов неоднократно удавалось спасать жизнь шахтеров при обрушениях в то время, как никаким другим способом обнаружить присутствие их в районе обрушения не представлялось возможным.

Значительно уменьшается количество жертв во время возникновения подземных аварий в шахтах, когда шахтеры быстро оповещаются об опасности.

Работники Всесоюзного научно-исследовательского угольного института А.Ф. Архангельский и С.Н. Пономарев разрабатывают устройство для оповещения горнорабочих об аварии с помощью ароматических веществ.

Устройство, разработанное ими, хомутом крепилось на трубу подземного воздухопровода. В цилиндре устройства размещалась стеклянная ампула с дурнопахнущим веществом тиоацетоном. В случае аварии ампула раздавливалась с помощью специального устройства, вещество поступало в

воздухопровод и сжатым воздухом разносилось по местам работы горнорабочих.

В заграничной практики для этих целей применяли вещества из группы ароматических веществ – меркаптанов – более сложных в изготовлении, но несколько интенсивнее по запаху.

Система оповещения шахтеров при авариях с использованием пахучих веществ применяется и в настоящее время.

Проводная связь

В настоящее время в ВГСЧ при выполнении горноспасательных работ в шахтах для связи отделений с подземной базой применяются проводные и высокочастотные средства связи. Из проводных средств связи используются аппаратура "Шахтофон", аппаратура "Уголек" и "Уголек-Т".

Аппаратура "Шахтофон", "Уголек" и "Уголек-Т" предназначены для прямой симплексной двусторонней громкоговорящей связи и односторонней (отделение-база) кодовой сигнализации тональными сигналами по двухпроводной линии между подземной базой и отделениями при ведении горноспасательных работ в шахтах. Кроме того, аппаратура "Уголек-Т" позволяет дистанционно измерять температуру окружающей среды в месте нахождения отделения и производить отсчет времени нахождения в загазированной среде (симплексная связь - это связь, позволяющая вести передачу информации между абонентами не одновременно, а попеременно, только в одну сторону).

Техническая характеристика проводных средств связи

показатели	"Шахтофон"	"Уголек"	«Уголек-Т»
Максимальная длина линии связи,км ….	5	5	5
Выходная электрическая мощность аппарата базы,вт ……..…	0,1	0,2	0,2
Источник питания аппарата базы …..	8РЦ-73	5РЦ-73	5РЦ-83
Источник питания аппарата отделения ..	РЦ-53	-	-
Продолжительность непрерывной работы без замены батарей,час ……..	100	100	100
Масса,кг			
аппарата базы ……..	1,5	1,0	1,5
аппарата отделения ……	0,43	0,4	0,65
подключающего устройства ……	-	0,14	0,1
футляра ……..	-	-	2
Габариты,мм			
аппарата базы ……..	195x110x58	62x81x130	178x176x60
аппарата отделения …….	145x62x53	60x63x90	142x72x42
Исполнение …….		РО,Иа	РО,Иа РО,Иа
Диапазон измерений температур,ºС			

с преобразователем ПТ ……..	-	-	20-55
с преобразователем ПТВ ……..	-	-	20-100
Длительность одного цикла измерения температуры,с ……	-	-	4
Объем таймера для отсчета времени,мин..	-	-	99

Аппаратура "Шахтофон"

Устройство

Комплект аппаратуры (рис. 1) состоит из аппарата базы (АБ) 1, двух аппаратов отделения (АО) 2, соединителя 3 и катушек связи с проводом. Аппаратура обеспечивает передачу информации голосом с места аварии на подземную базу, передачу информации голосом с подземной базы отделению и передачу отделением кодовой информации сигналом (из загазированной атмосферы) на подземную базу.

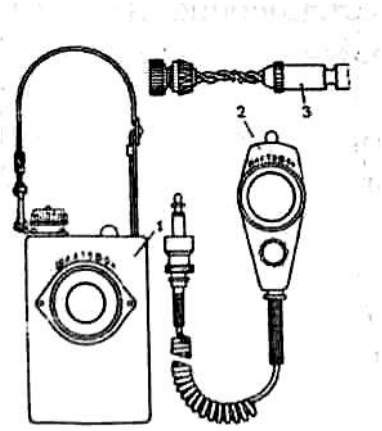


Рис. 1

Аппараты отделения и базы помещены в брызгозащищенные корпусы из ударопрочной пластмассы. Их конфигурация создает максимальные удобства при эксплуатации. Аппарат отделения свободно умещается в руке, может крепиться к спецодежде с помощью карабина или просто находится в кармане. Аппарат базы переносится на плечевом ремне.

В комплекте аппаратуры "Шахтофон" имеется соединитель, с помощью которого аппарат отделения включается в линию связи в любой ее точке без зачистки изоляции проводов, спайки, разрыва связи и т.п.

Аппарат базы постоянно включен на прием. Это позволяет контролировать со стороны базы действия отделения в загазированной среде. Переключение аппарата базы на передачу осуществляется нажатием кнопки на корпусе АБ.

Подготовка "Шахтофона" к работе

Подготовка аппаратуры к работе производится в следующем порядке.

Отмотать от первой катушки 10-15 метров провода и вставить находящийся на его конце штепсель в гнездо аппарата базы.

Включить штепсель второй катушки в гнездо первой.

Включить штепсель аппарата отделения в гнездо второй катушки.

Проверить наличие двусторонней связи и кодовой сигнализации между аппаратами базы и отделения.

Прокладка проводной линии и ведение связи

После проверки и подготовки к работе аппаратуры и катушки связи для прокладки линии связи необходимо следующее.

Закрепить надежно конец провода первой катушки у места установки аппарата базы.

Закрепить аппарат отделения на груди и включить его штепсель в гнездо первой катушки.

Взять первую и вторую катушки и разматывать по мере движения провод с первой катушки.

Подвешивать провод к стенке выработки на высоте 1,5-2 метра через каждые 15-20 метров.

После разматывания провода с первой катушки подвесить ее на стенке выработки и отключить от нее аппарат отделения.

Отмотать от второй катушки 3-4 метра провода, закрепить его за ручку первой катушки и включить в ее гнездо штепсель второй катушки.

Включить штепсель аппарата отделения в гнездо второй катушки и проверить наличие связи с подземной базой.

Взять вторую катушку и продолжать прокладку проводной линии, поддерживая постоянную связь с подземной базой.

Для подключения к проложенной линии связи в любом месте соединителя необходимо следующее.

Включить штепсель аппарата отделения в гнездо соединителя.

Раздвинуть провода и так ввести между ними головку соединителя, чтобы проводки оказались между головкой и гайкой в прорезях над штырями.

Вращать гайку по часовой стрелке до тех пор, пока штырями не будет проколота изоляция провода и не установится надежная связь с подземной базой.

Тактика применения аппаратуры "Шахтофон" аналогична тактике применения других проводных средств связи и будет описана ниже.

Проверка аппаратуры "Шахтофон"

Аппаратура связи "Шахтофон" проверяется перед применением как описано выше, а также один раз в месяц и после каждого применения.

Один раз в месяц и после применения аппаратура базы и отделения должны подвергаться внешнему осмотру, проверке комплектности, работоспособности и исправности источника питания.

При внешнем осмотре определяется чистота деталей, отсутствие внешних механических повреждений, целостность пломб на крышках аппаратов базы и отделения, исправность органов управления и комплектность аппаратуры.

Проверка работоспособности аппаратуры проводится так же как и при ее подготовке к работе (описана выше).

Проверяется исправность соединителя, для чего включается штепсель аппарата отделения в гнездо соединителя, раздвигаются провода и между ними вводится головка соединителя таким образом, чтобы проводки оказались между головкой и гайкой в прорезах над штырями, вращается гайка по часовой стрелке до тех пор, пока не установится надежная связь с

подземной базой.

Проверяется надежность источников питания путем измерения их тока и напряжения. Ток источника питания аппарата базы должен быть не менее 100 мА, аппарата отделения - не менее 10 мА. Напряжение источника питания аппарата базы должен быть не менее 8 В, аппарата отделения - не менее 1 В.

Аппаратура связи "Уголек"

Устройство

Аппаратура "Уголек" обеспечивает:

- включение аппарата отделения в любой точке линии связи для установления связи с подземной базой;
- контроль аппаратом отделения исправности линии связи.

В комплект аппаратуры входят: аппарат базы (АБ), аппарат отделения (АО), подключающее устройство, вилка двухполюсная ВД-1 и розетка двухполюсная РД-1.

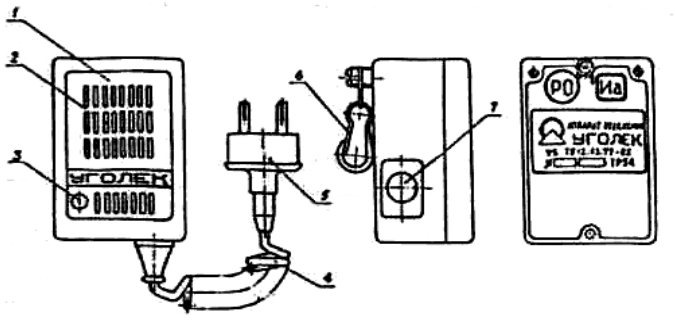


Рис.2

Внешний вид аппарата отделения показан на рис.2. На лицевой панели 1 аппарата имеется решетка 2 микротелефона и светодиод 3. На задней крышке аппарата расположен винт с карабином 6. В нижней части корпуса закреплен спиральный телефонный шнур 4 с двухполюсной вилкой 5, а на боковой стенке расположено окно малогабаритной кнопки 7.

При работе аппарат отделения удерживается одной рукой на расстоянии 10-15 см ото рта говорящего. Переносить аппарат отделения можно в кармане, на спецодежде или в руке.

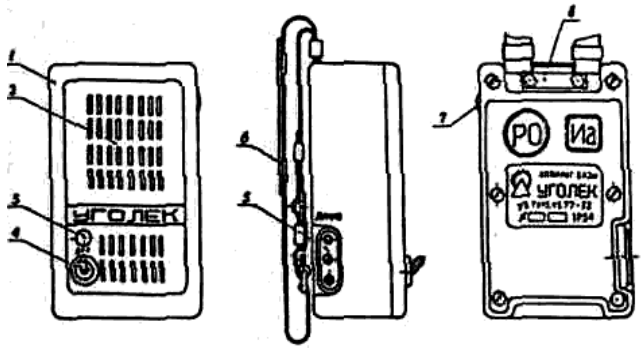


Рис.3

Внешний вид аппарата базы показан на рис.3. На лицевой панели 1 имеется решетка 2 громкоговорителя, светодиод 3 и микротумблер 4 для включения источника питания. К держателю 8, закрепленному в верхней части задней стенки корпуса, прикреплен ремень 6, служащий для переноски аппарата. На одной из боковых стенок корпуса имеется малогабаритная кнопка 7, а на другой находится двухполюсная розетка 5 для подключения аппарата базы к линии связи.

Во время связи аппарат базы может находиться в руках либо подвешен к крепи.

В первом случае аппарат базы удерживается одной рукой на расстоянии 10-20 см ото рта говорящего. При этом большой палец правой руки располагается на кнопке и переключает аппарат базы с приема на передачу нажатием ее. Переносить аппарат базы можно в кармане и на плече с помощью ремня.

Внешний вид подключающего устройства показан на рис. 4. Оно состоит из обоймы 3, в которой неподвижно закреплен сердечник 5. В открытую сверху обойму входит шток 2. Шток имеет прорези, куда закладывается подключаемый провод. Сердечник имеет цилиндрические отверстия, в которые помещаются стаканы 9 с ножами 6, подпружиненными пружинами 7. Усилие пружин регулируется гайкой 8. Обойма и сердечник имеют специальные прорези для прохождения провода. На наружной поверхности сердечника закреплена скоба 1, запирающая шток с проводом. Снизу к обойме крепится двухполюсная розетка 4 для подключения аппарата отделения.

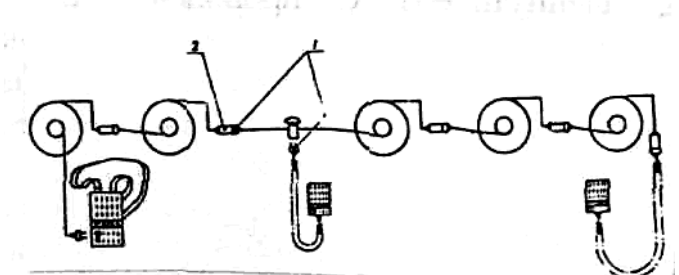
Для того чтобы подсоединить к линии связи подключающее устройство, необходимо отвести скобу, вынуть до упора шток из обоймы, вставить провод линии связи в прорезь штока, задвинуть шток с проводом в обойму и зафиксировать его скобой. С другой стороны подключающего устройства в розетку включить вилку спирального шнура аппарата отделения.

Подключающее устройство рассчитано только на применение с проводом марки ПДГС 2х0,4.

Подготовка аппарата "Уголек" к работе

Для подготовки аппаратуры к работе необходимо:

- аппарат базы подвесить на крепи выработки так, чтобы удобно было им пользоваться во время работы;
- взять катушку связи (рис. 5), вынуть из осевого отверстия двухполюсную вилку 1, подсоединенную к внутреннему концу провода, и включить ее в розетку аппарата базы;
- взять аппарат отделения и катушку связи, отойти на 20-25 метров от аппарата базы, разматывая провод;
- включить двухполюсную вилку аппарата отделения в розетку 2;
- проверить действие двусторонней связи (речевой и тонсигналом). Если при этом появится самопроизвольно звук в виде свиста, отнести аппарат отделения еще на 10-15 метров и повторно проверить состояние связи. Наличие нормальной двусторонней речевой связи и односторонней кодовой сигнализации свидетельствует об исправном состоянии и полной готовности аппаратуры к работе.



Проверяется исправность подключающего устройства, для чего аппарат отделения через подключающее устройство подсоединяется к линии связи и опробуется работоспособность аппаратуры.

Прокладка линии связи

После проверки и подготовки аппаратуры к работе прокладку линии связи осуществлять следующим образом:

- на уровне подвески аппарата базы на расстоянии 0,5-1 метр от него завязать провод на стойке крепи;
- закрепить аппарат отделения на спецодежде с помощью карабина, взять катушку связи, в которую включен аппарат отделения, взять остальные катушки, после чего отделению двигаться по заданному маршруту;
- подвесить провод, начиная от места установки аппарата базы, на высоте 1,5-2 метра от почвы и через каждые 15-20 метров привязывать его к стойкам крепи;
- после разматывания до конца провода первой катушки включить в линию связи вторую катушку для чего отключить аппарат отделения от первой катушки, взять вторую катушку, вытащить из ее осевого отверстия провод с вилкой и включить ее в розетку первой катушки. Вилку аппарата отделения включить в розетку второй катушки и проверить действие двусторонней связи;
- подвесить и закрепить на стойке крепи линейный провод с обеих сторон соединения вилки с розеткой так, чтобы исключить случайное разъединение их и падение на почву;
- после размотки второй катушки при необходимости дальнейшей прокладки линии использовать третью и последующие катушки.

Для подключения аппарата отделения в любой точке линии связи необходимо взять подключающее устройство, отвести скобу, вынуть до упора из обоймы шток, вставить провод линии связи в прорезь штока, задвинуть его с проводом в обойму и зафиксировать шток скобой. С другой стороны подключающего устройства в розетку включить вилку аппарата отделения.

Кодовая информация, переданная отделением, должна повторяться голосом принявшего ее на подземной базе для подтверждения правильности приема (например: «вас понял, прибыли на место и приступили к выполнению задания»).

Проверка аппаратуры "Уголек"

Проверка аппаратуры "Уголек" производится перед применением, как указывалось выше, после применения и один раз в месяц на внешний осмотр,

работоспособность и пригодность источника питания.

При внешнем осмотре определяется комплектность аппаратуры, чистота деталей, отсутствие внешних повреждений, состояние подключающего устройства, двухполюсной вилки, футляра, двухполюсной розетки.

Пригодность источника питания проверяется путем измерения тока короткого замыкания. Секция 5РЦ-73 считается пригодной к использованию, если в течение 2-3 сек. она обеспечивает ток короткого замыкания 0,4-0,5 А. Секция с меньшим током короткого замыкания подлежит замене.

Аппаратура связи "Уголек-Т"

Устройство

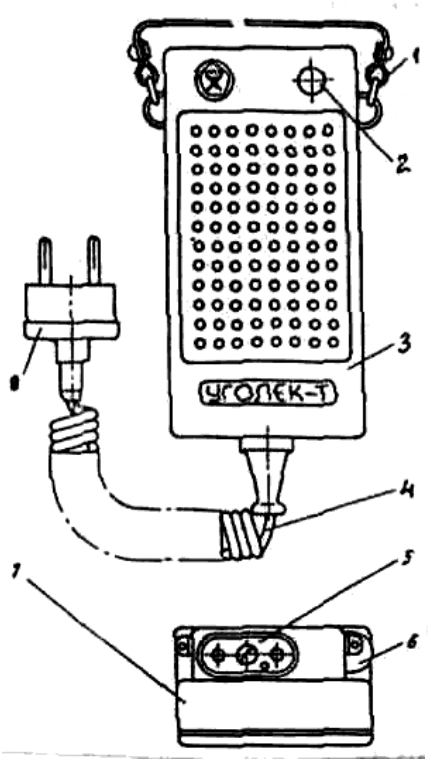


Рис.6

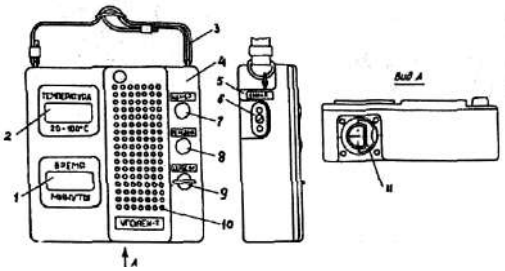


Рис.7

Аппаратура "Уголек-Т" обеспечивает:

- прямую двустороннюю громкоговорящую связь между абонентами аппаратов отделения и базы (направление связи изменяется при нажатии кнопки аппарата базы);
- прямую одностороннюю (от отделения на базу) сигнализацию тональными сигналами с помощью кнопки аппарата отделения;
- оперативное присоединение аппарата отделения и подключающего устройства с микротелефоном к любому участку линии связи;
- поверку отделением исправности линии связи;
- автоматическое дистанционное (циклическое) измерение температуры воздуха в месте нахождения аппарата отделения или выносного преобразователя температуры;
- внеочередное измерение температуры при нажатии на кнопку аппарата

базы;

- отсчет времени нахождения отделения в загазированной среде на аппарате базы;
- цифровую индикацию измерений на аппарате базы;
- автоматическое подключение автономного источника питания к схеме при присоединении к аппарату базы разъема линии связи.

В состав аппаратуры входят: аппарат базы, аппарат отделения, подключающее устройство, подключающее устройство с микротелефоном, преобразователь температуры и преобразователь температуры выносной.

Корпус аппарата отделения (рис.6) выполнен из лицевой панели 3, закрытой снизу дном 7. Ко дну прикреплен шнур 4, заканчивающийся вилкой 8. Сверху на дне располагается розетка 5, а сбоку - протектор 2, закрывающий кнопку, и ремень 1. На лицевой панели расположен светоизлучающий диод 2.

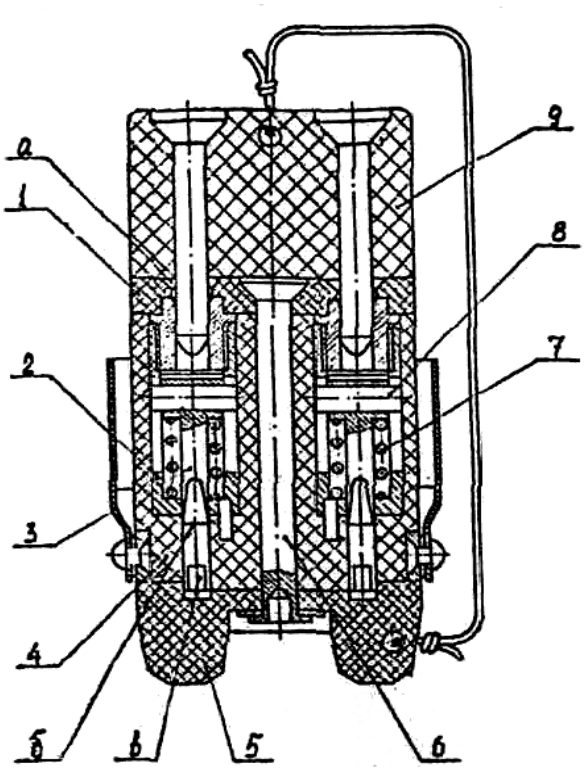


Рис.8

Аппарат базы (рис.7) выполнен в виде прямоугольного полого корпуса 5, закрытого спереди лицевой панелью 4. На лицевой панели расположены жидкокристаллические цифровые индикаторы для отсчета текущего времени 1 и контролируемой температуры 2. Там же расположены кнопки: 8- ПЕРЕДАЧА; 7- ИЗМЕР.; 9- СБРОС ВР.; отверстия 10, за которыми находится головка громкоговорителя. Прежде чем нажать на кнопку СБРОС ВР., необходимо крышку, закрывающую кнопку нажать и повернуть по часовой стрелке на 90º, а затем уже нажать для обнуления показания индикатора текущего времени 2. В нижней части корпуса расположен отсек для источника питания, закрытый крышкой 11. На боковой стенке корпуса находится розетка 6.

Аппарат переносится на ремне 3.

Подключающее устройство (рис.8) выполнено в виде двухполюсной розетки и состоит из корпуса 4 с двумя гнездами 2. Корпус с одной стороны закрыт крышкой 1 с двумя отверстиями для включения вилки, с другой стороны - задвижкой 5. Корпус, крышка и задвижка собраны в одно целое заклепкой 6, причем крышка с корпусом скреплены неподвижно, а задвижка может поворачиваться вокруг заклепки. При повороте задвижки на 90º относительно корпуса открываются прорези "В" в нижней части

корпуса. В эти прорези укладывают подключаемый провод и закрывают задвижку, которая фиксируется в закрытом состоянии. Двухполюсная вилка, включаемая в подключающее устройство, своими штырями толкает контакты 3 в гнездах 2 так, что режущие части "Б" контактов входят в прорези "В", где прорезают изоляцию провода и вступают в гальванический контакт с его токоведущей жилой.

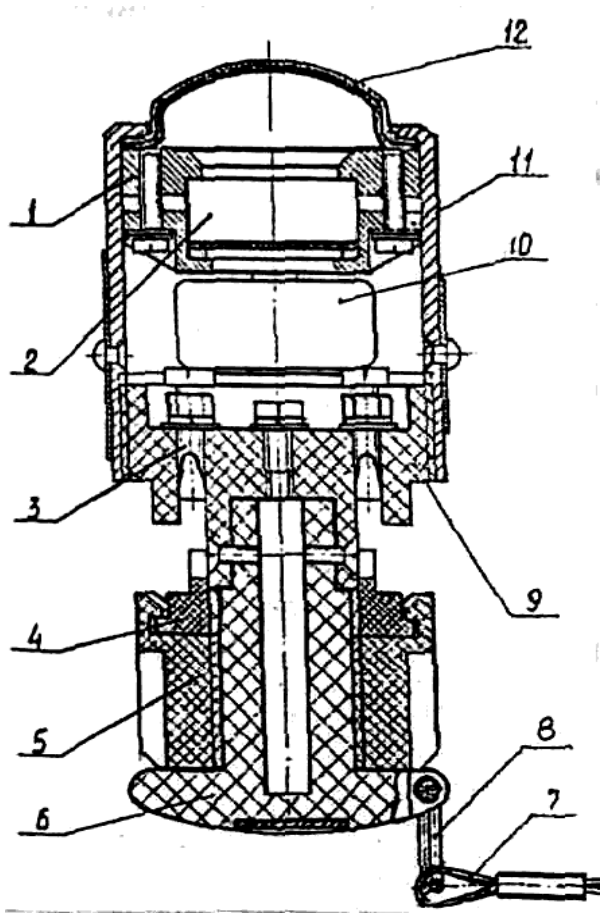


Рис.9

В подключающем устройстве с микротелефоном (рис.9) также реализован принцип подключения к проводу линии связи в любой точке его длины без пайки и зачистки изоляции путем прорезания изоляции. Устройство имеет микротелефон 2, подсоединяемый к линии связи через контакты 3, и используется таким же образом, как и аппарат отделения.

Следует помнить, что подключающие устройства УП и УПМ рассчитаны на подключение к проводам, имеющим многопроволочные токоведущие жилы, и могут применяться с проводами типа ГСП, ПСРВ, ПСРП и др. сечением 0,35-0,5 квадратных миллиметров. Преобразователь температуры (рис.10) собран на основе двухполюсной вилки 1. Его чувствительный элемент представляет собой кремниевый диод 3, впаянный в металлическую трубку 2. Аналогичный чувствительный элемент положен в основу конструкции выносного преобразователя температуры (рис.11). В нем металлическая трубка 2 с чувствительным элементом заключена в предохранительную решетку 1. Чувствительный элемент подсоединен к удлинительному проводу 3, намотанному на каркас 5 и оканчивающемуся двухполюсной вилкой 4.

Таймер, входящий в состав аппарата базы, позволяет производить отсчет времени нахождения отделения ВГСЧ в аварийной обстановке. Отсчет времени начинается после нажатия кнопки СБРОС ВР.

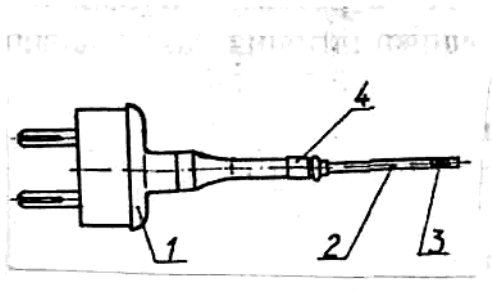


Рис.10

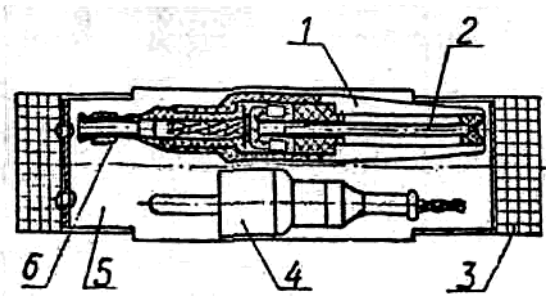


Рис.11

Подготовка к работе и порядок работы аппаратуры "Уголек-Т"

Подготовка к работе и работа на аппаратуре производится в следующем порядке.

Извлечь АБ из футляра, подвесить на крепи выработки так, чтобы было удобно им пользоваться во время работы.

Взять катушку связи и ее двухполюсную вилку включить в розетку АБ.

Взять преобразователь температуры ПТ и его двухполюсную вилку включить в розетку АО с учетом полярности напряжения.

Взять АО, катушку связи, а при необходимости и преобразователь ПТВ, и отойти на 20 метров от АБ.

Включить двухполюсную вилку АО в розетку катушки связи. Проверить уровень напряжения источника питания АБ по наличию знака "Е" на цифровом индикаторе таймера. Прерывистый сигнал знака "Е" в режиме приема речевой информации от АО указывает на то, что напряжение питания ниже нормы и требуется замена источника питания.

Проверить действие двусторонней связи (речевой и тонсигналом). Наличие нормальной двусторонней речевой связи и односторонней (со стороны отделения) кодовой сигнализации свидетельствует об исправном состоянии аппаратуры.

Путем кратковременного нажатия кнопки ИЗМЕР. произвести измерение температуры окружающего воздуха в месте размещения АО. При необходимости произвести измерение температуры с помощью преобразователя ПТВ, подключив последний вместо ПТ.

При исправной измерительной цепи через 3-4 секунды после нажатия кнопки на цифровом индикаторе АБ установится значение измеряемой температуры. Через каждые 5 минут измерения должны повторяться автоматически со сбросом предыдущих показаний температуры.

Подвесить АБ и на расстоянии 0,5-1 м от него привязать провод к стойке крепи.

Закрепить АО на спецодежде, взять в руку катушку связи, а при необходимости и преобразователь ПТВ, и двигаться по заданному маршруту.

При измерениях температуры в различных труднодоступных местах (на расстоянии до 10 м от АО) подключить к АО преобразователь ПТВ и поместить последний в измеряемую среду.

Для увеличения расстояния между АО и ПТВ до 200 м необходимо использовать катушку связи с проводом ГСП 2х0,5.

Проверить работоспособность таймера по показаниям его индикатора. Убедиться в работоспособности кнопки СБРОС ВР.

Тактика применения проводных средств связи

Подготовка аппарата «Уголек» с катушкой КСГ к работе

По команде "Подготовить связь к работе":

- респираторщику N 1 подвесить аппарат базы на крепь выработки, так чтобы им было удобно пользоваться во время работы, включить в розетку АБ двухполюсную вилку катушки КСГ;

- включить тормоз катушки, взять аппарат отделения и катушку связи, разматывая провод, отойти от АБ на расстояние 10-15 м;
- включить двухполюсную вилку АО в розетку катушки и совместно с респираторщиком N 3, находящимся у АБ, проверить работоспособность связи сначала голосом, а затем тон-сигналом. Если при этом самопроизвольно появится звук в виде свиста, отнести катушку от АО еще на 10-15 м и повторно проверить состояние связи.

Наличие нормальной речевой и тонсигнальной связи свидетельствует о ее исправном состоянии.

Респираторщику N 1 с катушкой КСГ вернуться в исходное положение.

Нормативное время -180 сек.

Прокладка линии связи с катушкой КСГ для аппарата "Уголек"

По команде "Проложить связь":

- респираторщику N 3 у места подвески АБ на расстоянии 0,5-1,0 м от него завязать провод катушки на крепи выработки;
- командиру отделения прикрепить (проверить) один комплект карт-кода к аппарату базы, другой - к катушке связи;
- респираторщику N 1 закрепить АО на спецодежде с помощью карабина, взять катушку КСГ;
- респираторщику N 2 взять вторую катушку.

По команде "Начать движение вперед":

- респираторщику N 3 при движении подвешивать провод, начиная от места установки АБ на высоте 1,5-2 м от почвы и по мере возможности через каждые 15-20 м привязывать его к стойкам крепи;
- респираторщику N 1 после разматывания до конца провода первой катушки выдернуть вилку АО из розетки катушки, закрепить катушку в защищенном месте;
- респираторщику N 3 включить тормоз второй катушки, отмотать от нее 3-4 м провода, закрепить его за ручку первой катушки, вставить вилку второй катушки в розетку первой катушки;
- респираторщику N 1 включить вилку АО в розетку второй катушки, проверить действие двухсторонней связи с подземной базой, взять вторую катушку и продолжать прокладку проводной линии связи.

После размотки второй катушки и при необходимости дальнейшей прокладки линии связи использовать третью и т.д.

По команде "Снять линию связи":

респираторщику N 1 отключить тормоз катушки КСГ, повернуть рукоятку привода барабана катушки в рабочее положение, надеть ремень катушки на левое плечо; сматывать провод, вращая правой рукой рукоятку катушки и придерживая левой рукой корпус катушки; следить за равномерной и плотной укладкой провода на барабане катушки.

Проверка аппаратуры "Уголек-Т"

Проверка аппаратуры "Уголек-Т" производится в те же сроки и

объемы, что и аппаратуры "Уголек" и дополнительно один раз в два года производится поверка функции измерения температуры в специализированной мастерской.

При месячной проверке производится профилактический осмотр аппаратуры, проверка ее работоспособности, как и при подготовке к применению, а также проверка пригодности источника питания батареи 5РЦ-83.

Проверка пригодности источника питания производится путем измерения тока короткого замыкания. Батарея 5РЦ-83 считается пригодной, если в течение 2-3 с обеспечивает ток короткого замыкания не менее 0,9 А.

Беспроводная связь

Аппаратура подземной высокочастотной связи "Кварц"

Аппаратура "Кварц" предназначена для двусторонней телефонной (разговорной) связи и кодовой сигнализации тональными сигналами отделения ВГСЧ с подземной базой с использованием в качестве направляющих изолированных металлических проводников.

Аппаратура применяется также для связи командного пункта, расположенного на поверхности шахты, с подземной базой и отделением ВГСЧ.

Аппаратура может быть использована для внутришахтной связи и связи абонентов, находящихся на поверхности и в клети или в другом движущемся транспорте.

Комплект аппаратуры размещается в легком футляре из алюминиевого сплава и состоит из двух аппаратов связи, подсоединительного шлейфа и высокочастотной перемычки.

Техническая характеристика аппаратуры "Кварц"

Номинальная частота, кГц…….....266
Пиковая мощность передатчика, Вт…….....0,7
Выходная мощность приемника, Вт…….....0,2
Напряжение источника питания, В…….....12,5
Источник питания…….....10РЦ73
Дальность связи по изолированным
металлическим направляющим, км…….....8
Время непрерывной работы без смены питания, час…....50
Исполнение…….....РО;Иа
Габариты; мм
аппарата…….....75х120х182
антенны.....…….....54х142х250
Масса аппарата с антенной и источником питания, кг…...1,7

Конструкция аппаратуры "Кварц"

ппарат связи состоит из блока приемопередатчика (рис.12), расположенного в пылебрызгозащищенном корпусе, и рамочной антенны, соединенных между собой шнуром в полихлоридной оболочке. Корпус, крышка и оболочка антенны выполнены из ударопрочного полистирола. Крышка крепится к корпусу шестью винтами. Головка громкоговорителя аппарата связи защищена от механических повреждений и проникновения

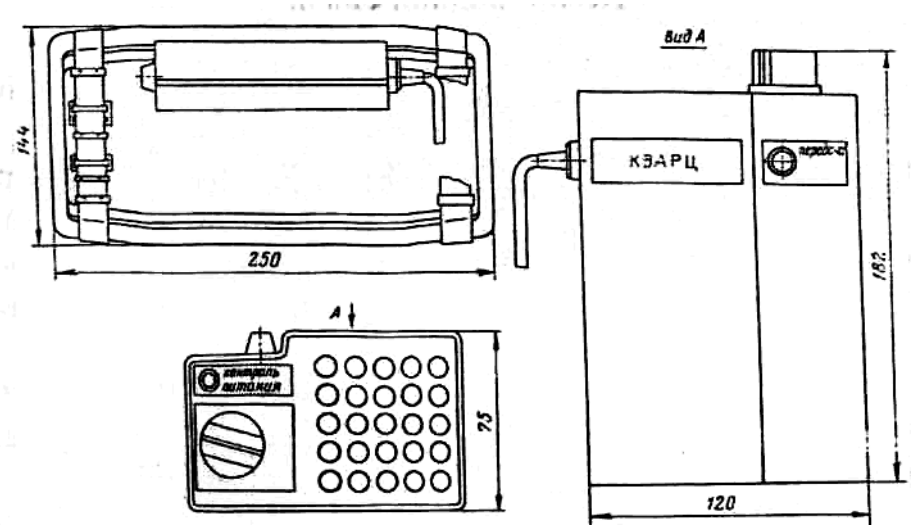


Рис.12

влаги специальным защитным устройством, состоящим из металлической сетки, полиамидной пленки и резиновых прокладок.

На передней части корпуса расположена кнопка перехода с приема на передачу "Передача". Переключатель режима работы "ТЛГ-О-П-ТЛФ" (телеграф-отключено-помеха-телефон), индикатор контроля источника питания "Контр. питан." и головка громкоговорителя расположены на крышке.

Рамочная антенна аппарата имеет жесткую конструкцию, выполненную в форме полуцилиндра. На ручке антенны имеется кнопка перехода с приема на передачу, дублирующая кнопку на корпусе аппарата.

Аппаратура «Кварц» выполнена на полупроводниках и интегральных микросхемах с применением печатного монтажа.

Подсоединительный шлейф подключает аппарат на командном пункте к телефонной линии, служащей в качестве направляющей. Он выполнен проводом НВ-0,75 и имеет два витка. Выведенные концы подсоединительного шлейфа имеют зажимы типа "Крокодил".

Высокочастотная перемычка служит для соединения через шахтный коммутатор телефонных линий (не более трех) аварийного участка, по которым должна осуществляться ВЧ связь с телефонной линией, в которую включен подсоединительный шлейф на командном пункте. Высокочастотная перемычка не исключает возможность двусторонней телефонной связи лиц, находящихся на командном пункте, с любым абонентом.

Аппаратура "Кварц" работает с использованием металлических проводников (телефонных и силовых кабелей, канатов, рельсов, трубопроводов).

Перед применением поочередно на каждом аппарате переключатель ставится в положение "ТЛГ", нажимается на 3-5 секунд одна из кнопок на антенне или аппарате. Если индикатор загорелся и не гаснет, то источник питания работоспособен.

Затем аппараты разносятся на 20-25 метров, переключатели устанавливаются в положение "П", нажимается одна из кнопок аппарата и проверяется двусторонняя речевая связь. После этого переключатель ставится в положение "ТЛГ" и проверяется кодовая сигнализация. После проверки переключатель режима работы ставится в положение "О"-отключено.

Тактика применения аппаратуры "Кварц"

Подготовка аппаратуры к работе

По команде "Подготовить связь к работе":

- командиру отделения и респираторщику N 1 взять по одному переносному аппарату связи, поочередно на каждом приемопередатчике установить переключатель рода работ в положение ТЛГ и нажать одну из кнопок (на приемо-передатчике или на антенне); если индикатор на приемо-передатчике загорелся и не гаснет, то источник питания пригоден к использованию, отойти с аппаратом друг от друга на расстояние 20-25 м;
- установить переключатель рода работ в положение ТЛФ, нажимая кнопку на антенне или приемо-передатчике, проверить наличие двухсторонней связи голосом, установить переключатель рода работы в "П" и, нажимая на одну из указанных кнопок, вновь
- проверить наличие двухсторонней связи голосом; установить переключатель рода работ в положение ТЛГ и с помощью одной из кнопок проверить наличие двухсторонней кодовой сигнализации; установить переключатель рода работ в положение "О".

Нормативное время- 80 сек.

Прокладка направляющей линии связи

По команде "Проложить связь":

- Респираторщику N 3 отмотать от катушки связи 10-15 м провода и закрепить его на стенке выработки с таким расчетом, чтобы остался свободный конец не менее 10 м;
- респираторщикам N 1 и 4 надежно заземлить свободный конец провода, прижав его зачищенный конец к какому-либо заземленному металлическому предмету или туго обвить зачищенную часть экрана силового кабеля, или же забив заземляющий штырь аппаратуры связи "Кварц" в почву выработки; на расстоянии 2 метров от заземления смотать провод в бухту (3-4 витка) диаметром 20-30 см, связать провод в бухте не менее как в двух местах тесьмой или шпагатом (не электропроводным материалом), и наложить на эту бухту антенну аппарата, остающегося на базе; подвесить аппарат к крепи выработки так, чтобы им было удобно пользоваться; установить переключатель рода работ в положение ТЛФ.

- Респираторщику N 4 пропустить ремень второго аппарата связи под шланги респиратора, надеть его ремень на шею так, чтобы он оказался под шлангом, перебросить антенный шнур через шею и закрепить антенну на предплечье правой (левой) руки.

Нормативное время-18 сек.

По команде "Начать движение":

- респираторщику N 1 взять катушку в удобное для переноски положение и производить прокладку линии;
- респираторщику N 3 подвешивать провод к стойкам выработки на высоте 1,5-2 м через каждые 15-20 м;
- респираторщику N 4 поддерживать связь с подземной базой; при наличии высокого уровня помех, влияющих на разборчивость речевой информации, перевести переключатель рода работ в положение "П" и продолжать поддерживать связь;
- при значительном удалении от базы и значительном ослаблении сигнала отстегнуть антенну с предплечья и удерживать ее параллельно прокладываемой линии на расстоянии, обеспечивающем надежную двухстороннюю связь;
- на месте выполнения работ привязать антенну длинной стороной параллельно проводу на расстоянии не ближе 5 метров от катушки связи. Если при этом связь будет неудовлетворительной, то необходимо провод смотать в бухту (3-4 витка) диаметром 20-30 см и положить на нее антенну.

Как в первом, так и во втором случае связь будет более устойчивой, если конец провода катушки надежно заземлить.

Проверка аппаратуры "Кварц"

Один раз в месяц и после применения осуществляется внешний осмотр аппаратуры, проверяется ее комплектность и источник питания.

Проверка работоспособности аппаратуры производится один раз в месяц и перед применением, как указывалось выше.

Для проверки источника питания он вынимается из аппарата. Секция 10РЦ-73 напряжением 12,5 В и емкостью 1,0 А.ч считается пригодной к использованию, если ее ток короткого замыкания составляет не менее 0,9-1,0 А. Секция с током к.з. ниже 0,7 А подлежит замене.

Катушки проводной связи

Катушка связи горноспасательная КСГ

Катушка КСГ предназначена для прокладки и снятия проводной линии при организации связи с помощью аппаратуры связи типа "Уголек" при выполнении горноспасательных работ в шахтах, опасных по газу и пыли.

В катушке предусматривается применение провода ГСП 2х0,35 со скрученными или параллельно уложенным жилами.

Техническая характеристика КСГ

Длина вмещающего провода, км…….....0,8

Усилие разматывания провода, кг…….....2-5

Габаритные размеры, мм…….....400х340х180
Масса катушки без провода, кг…….....4
Масса катушки с проводом, кг…….....11

Устройство КСГ

Катушка КСГ (рис.13) состоит из станка 1 с рукояткой 3, привода барабана и плечевым ремнем 10, вращающегося барабана 2 с проводом, токосъемника 8 (переходное устройство: скользящий контакт-розетка), двухполюсной вилки 9 для подключения аппаратуры связи и для соединения катушек между собой, направляющей провода 13 и тормоза барабана 16.

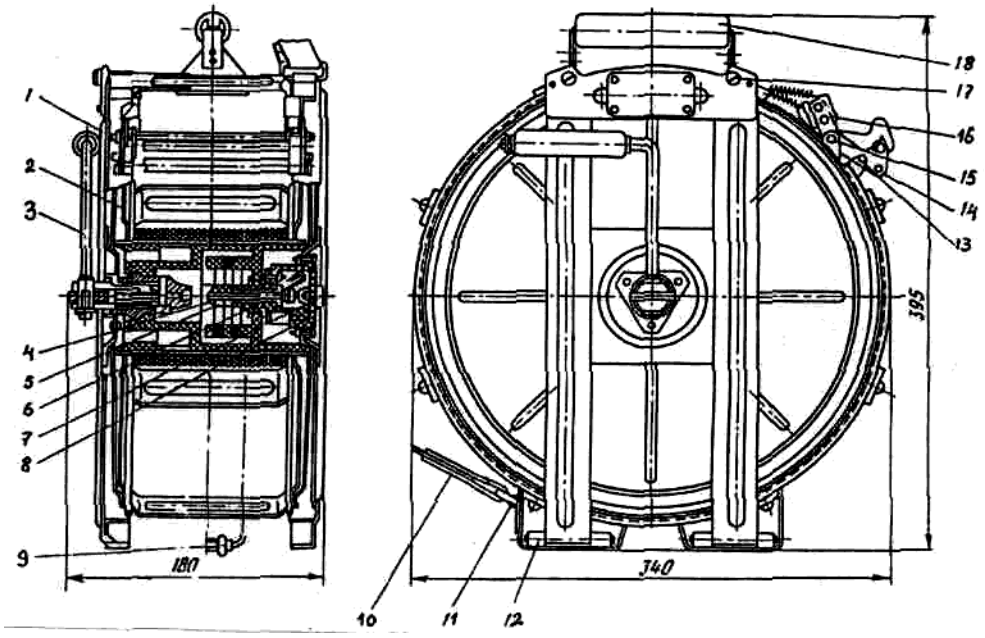


Рис.13

Станок представляет собой легкую решетчатую сварную конструкцию. К левой стенке станка крепится токосъемник, образующий одновременно левую опору барабана.

Правая стенка с механизмом привода барабана откидная, что позволяет легко вставлять и извлекать барабан с проводом из станка.

Откидная стенка установлена на шарнирах 12, а вверху крепится к корпусу двумя винтами 17.

На ободе станка имеются шарниры 11 с петлями, к которым крепится плечевой ремень, а также стойки 14 для закрепления оси 15 направляющей провода и тормоза барабана.

В верхней части станка имеется ручка 18 для переноски катушки.

В токосъемник встроены два скользящих контакта 4 и 6, изолированных друг от друга с помощью капроновых втулок 5, и двухполюсная розетка 7, служащая для подключения аппарата отделения или другой катушки.

Проверка катушки КСГ

Один раз в месяц и после каждого применения катушка подвергается осмотру, технической проверке, протирке, смазке трущихся частей, промывке контактной группы, а также проверке работоспособности, как и при подготовке всех проводных средств связи к применению.

Техническая проверка недоступных для осмотра частей и узлов катушки производится при неполной разборке, которая производится в следующем порядке: вывернуть винты, отвести правую откидную стенку, на которой крепится приводной механизм барабана, и осторожно вытащить из стакана барабан.

Полная разборка катушки производится в специальных мастерских.

Промывка контактной группы (токосъемника, контактных пластин контактодержателя, двухполюсной розетки) производится авиационным бензином или спиртом. Смазка поверхностей трения, за исключением токосъемной контактной группы, должна производиться смазкой "Литол-24".

Универсальная катушка связи УКС-1

Катушка УКС-1 предназначена для прокладки двухпроводной линии связи с подземной базы к месту ведения горноспасательных работ и однопроводной линии связи для применения высокочастотной аппаратуры в выработках, где нет шахтных изолированных металлических проводников.

Катушка позволяет осуществлять связь, как в процессе прокладки линии, так и при сматывании линейного провода на катушку.

Техническая характеристика УКС-1

Тип применяемого провода…….....ПСПР 2х0,5

Длина вмещающегося провода, км

двойного.....……..0,6

одинарного.....……...1,5

Габаритные размеры, мм…….....398х340х185

Масса катушки, кг

без провода.…….....4

с одинарным проводом.....…….14,5

с двойным проводом.....……...12,4

Устройство УКС-1

Катушка УКС-1 состоит (рис.14) из корпуса 1 и вращающегося барабана 2 с приводом.

Корпус представляет собой легкую решетчатую сварную конструкцию. К правой стороне корпуса приварена траверса с приводным механизмом 3. В верхней части корпуса имеется ручка 4 для переноски катушки. В левой части ступицы находится контактное устройство и микрофон. Барабан с проводом можно извлекать из корпуса катушки. На ободе корпуса имеются шарниры с петлями, к которым крепится ремень 5 для переноски катушки.

Проверка катушки УКС-1

После каждого случая применения катушка разбирается, очищается от грязи, смазки и подвергается проверке.

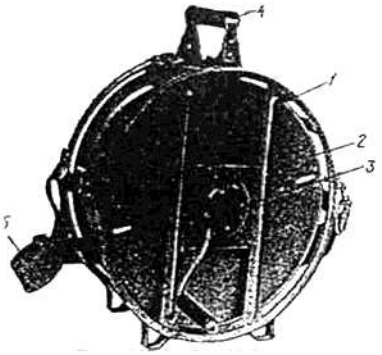


Рис.14

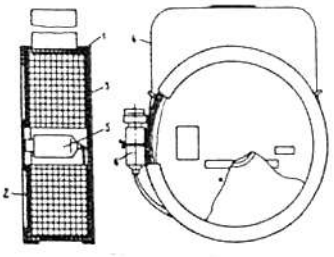


Рис.15

Осмотру подлежат следующие составные части и детали:

- контактное устройство и линейный провод, для чего проверяется состояние штепселя, контактных пластин и их крепление к контактодержателю;
- состояние изоляции и качество крепления проводов.

Места контактов очищаются от окиси наждачной шкуркой.

В корпусе и барабане проверяется целостность сварных швов, состояние окраски, отсутствие деформаций, состояние плечевого ремня и крепления его к корпусу, состояние шарнира и замков траверсы, состояние подшипников и цапф.

В механизме привода проверяется состояние корпуса и валика, кулачка квадратной втулки и пружин.

После сборки и регулировки проверяется работа электрической части катушки, для чего катушку штепселем соединяют с шахтофоном или другим аппаратом связи, разматывают некоторое количество линейного провода и проверяют наличие двухсторонней связи. Один раз в квартал производится проверка катушки внешним осмотром, проверяется работоспособность электрической части и работоспособность механизма привода как указывалось выше.

Бескаркасная катушка связи КСБ-2

Катушка КСБ-2 предназначена для прокладки временных линий к аппаратуре подземной проводной горноспасательной связи "Шахтофон" и "Уголек" двужильным проводом ПДГС 2х0,4 в шахтах, опасных по газу и пыли.

КСБ-2 выпускаются в двух модификациях: КСБ2-Ш применяется в комплекте "Шахтофон" и КСБ2-У применяется для аппаратуры "Уголек".

Катушка КСБ-2 предназначена для одноразового применения.

Техническая характеристика КСБ2-У

Емкость барабана с проводом, м…….....500

Габаритные размеры, мм…….....73х208х235

Масса, кг…….....2,9

Устройство КСБ2-Ш

Катушка КСБ2-Ш (рис.15) выполнена в виде плоского цилиндрического футляра 1 с бабиной провода. Футляр представляет собой картонную обойму, закрытую крышкой 2 и дном 3. Крышка и дно крепятся к обойме ребордами. К обойме крепится лента 4 для переноски катушки. Витки бабины провода ПДГС 2х0,4 "склеены" связывающим веществом. Соединение катушек осуществляется соединителями 5 и 6, припаянными к концам провода. Для предотвращения фрикционного искрения на соединители надеты резиновые протекторы (трубки).

Штепсель является подключающим устройством к аппарату базы "Шахтофона" и состоит из розетки, соединенной втулкой с телефонным штепселем, и накидной гайки. Для подключения к аппарату отделения служит гнездо, которое представляет собой цилиндрический корпус, закрываемый со стороны телефонного гнезда заглушкой. Для включения аппарата отделения в любой точке линии связи, проложенной проводом ПДГС 2х0,4, служит ножевой соединитель.

Катушка КСБ2-У конструктивно выполнена аналогично катушке КСБ2-Ш за исключением устройства подключения провода к аппаратам базы и отделения и между катушками.

Для подготовки связи с катушкой КСБ-2 необходимо:

- переходник вставить в гнездо аппарата базы;
- соединить розетку аппарата отделения с вилкой на наружном проводе катушки;
- соединить вилку переходника с розеткой катушки, расположенной в осевом отверстии катушки. Если при этом в аппарате базы возникнет свист, катушку вместе с аппаратом отделения отнести на 20-25 м от аппарата базы. Свист должен прекратиться.

Проверить наличие речевой и кодовой связи.

Тактики применения катушек аналогичны и описаны выше.

Контрольные вопросы:

1. Аварийные материалы и вспомогательное снаряжение ВГСЧ.
2. Аппаратура контроля атмосферы.
3. Аппараты защиты дыхания, принятые на вооружение ВГСЧ.
4. Выплаты за выполнение аварийно-спасательных и технические работы.
5. Допуск к работе на поверхности.
6. Задачи ВГСЧ.
7. Задачи вспомогательных горноспасательных команд ВГСЧ.
8. Индивидуальные средства защиты горнорабочих.
9. Какие помещения должны быть в служебно-техническом здании подразделения ВГСЧ.
10. Контроль состояния атмосферы.
11. Назначение аппаратов искусственной вентиляции легких.
12. Организация горноспасательных работ по ликвидации аварии.
13. Организация связи между базой и отделением работающим в респираторах.
14. План ликвидации аварии.
15. Пожарное оснащение ВГСЧ.
16. Постоянное денежное довольствие.
17. Предоставление отпуска личному составу ВГСЧ.
18. Работы неаварийного характера выполняемые ВГСЧ.
19. Сбор бойцов ВГСЧ по тревоге и выезд по тревоге.
20. Средства горноспасательной связи ВГСЧ.
21. Средства и приспособления ВГСЧ для ведения спасательных работ.
22. Средства первой помощи на вооружении ВГСЧ.
23. Страхование личного состава ВГСЧ.
24. Структура ВГСЧ.
25. Транспортные средства ВГСЧ.
26. Что обуславливает военизация личного состава ВГСЧ.
27. Тушение подземных пожаров в различных выработках
28. История становления ВГСЧ.

29. Респираторы на вооружении ВГСЧ.
30. Проверка респираторов.
31. Что такое аппарат ГС-10?
32. Как осуществляется проверка аппарата ГС-10?
33. Как осуществляется подготовка аппарата к работе?
34. В каких случаях выполняется искусственная вентиляция легких.
35. Как подготовить пострадавшего к проведению ИВЛ.
36. Как осуществляется выполнение искусственной вентиляции легких с применением прибора ГС-10.
37. Как осуществляется выполнение искусственной вентиляции легких с применением прибора ГС-10 в непригодной для дыхания атмосфере.
38. Какие аппараты проводной связи есть на вооружении ВГСЧ.
39. Какие аппаратыбеспроводной связи есть на вооружении ВГСЧ.
40. Принцип действия аппарата «Уголек».
41. Принцип действия аппарата «Кварц».
42. Какие катушки есть на вооружении ВГСЧ.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению контрольной работы по дисциплине

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация №9 (ГМО)

Горные машины и оборудование (ГМО)

квалификация выпускника: **горный инженер**

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2014

Автор: Гаврилова Л.А., доцент, к.т.н.
Иванов И.Ю., доцент, к.т.н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Горных машин и комплексов	горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Суслов Н.М.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 10 от 15.06.2018	Протокол № 10 от 22.06.2018
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 3

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ... 4

2. ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ 4

3. ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ 4

ЛИТЕРАТУРА 20

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов решаются задачи на прочность элементов конструкции. Выпускники университета должны уметь применять соответствующие методики расчета при проектировании объектов нефтепромыслов.

Цель контрольной работы: проверка приобретенных студентами навыков оптимизации и поиска оптимальных значений параметров объектов и технологических процессов нефтегазовой отрасли.

Контрольная работа соответствуют следующим компетенциям федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки ***21.05.04 Горное дело***:

общекультурные

- готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-7);

общепрофессиональные

- готовность использовать научные законы и методы при оценке состояния окружающей среды в сфере функционирования производств по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов (ОПК-6);

Профессиональные

- умение определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты (ПК-7);

профессионально-специализированные

- способность разрабатывать техническую и нормативную документацию для машиностроительного производства, испытания, модернизации, эксплуатации, технического и сервисного обслуживания и ремонта горных машин и оборудования различного функционального назначения с учетом требований экологической и промышленной безопасности (ПСК-9.1).

Результат изучения дисциплины: «Горные машины и оборудование»

ОК-7 (уметь: самоорганизовываться; пользоваться методическими, информационными ресурсами),

ОПК-6 (знать: закономерности поведения массива в процессе воздействия на него органами горных машин и обо-рудования; уметь: определять усилия воздействия инструмента горных машин на массив горных пород; владеть: методами анализа взаимодействия инструмента горных машин с горными породами),

ПСК-9.1 (знать: требования безопасной эксплуатации горных машин и оборудования; уметь: пользоваться норма-тивной документацией для эксплуатации и технического обслуживания горных машин и оборудования; владеть: навыками анализа технической и нормативной документации по горным машинам и оборудованию),

ПК-7 (знать: классификацию и назначение машин для выполнения операций по добыче и транспортировке полезных ископаемых; принципиальные схемы, конструктивные особенности, области применения и основные расчетные характеристики различного типа машин для отбойки, погрузки, транспортировки, крепления и вспомогательных операций; методику определения основных конструктивных и режимных параметров машин, их производительности и эффективности в горно-добывающем производстве; виды нагруженного состояния элементов горных машин и оборудования; уметь: производить

расчет основных конструктивных и режимных параметров горных машин и оборудования и моделирование их работы; осуществлять выбор типов горных машин и оборудования, производить расчет их производительности и эффективности, а также выбор типоразмеров в зависимости от горно-геологических условий и условий эксплуатации; владеть: профессиональной терминологией в области горных машинах и оборудовании; методикой определения и расчета основных параметров, производительности и эффективности горных машин; определять технологические и конструктивные параметры горных машин и оборудования),

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

При подготовке к контрольной работе необходимо изучить примеры, рассмотренные на лекциях а также в пособии [1].

2. ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа должна включать следующие этапы:

1. Постановка задачи.
2. Анализ задачи.
3. Составление графической схемы для расчета конструктивных параметров.
4. Выбор методики расчета.
5. Выполнение необходимых расчетов по выбранной методике.
6. Выводы и предложения по совершенствованию работы оборудования.

3. ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольная работа № 1 по темам 4,6

Выбор типоразмера бурильной установки; расчет длительности бурения и скорости проходки при буровзрывных работах (БВР).

Условия: Крепость пород f, площадь сечения выработки $S_{выр}$, тип бурильной машины. По заданным условиям

Последовательность расчета:

1. *Расчет скорости бурения при различных значениях f и L.*
2. *Построить графики изменения скорости бурения.*

Варианты заданий

№№	f	S, м²	Тип бурильной машины (перфоратора)		№№	f	S, м²	Тип бурильной машины (перфоратора)		№№	f	S, м²	Тип бурильной машины (перфоратора)
1	4	10	ПК-60		21	4	20	БГП		41	4	30	COP
2	5	10	ПК-60		22	5	20	БГП		42	5	30	COP
3	6	10	ПК-60		23	6	20	БГП		43	6	30	COP
4	8	10	ПК-60		24	8	20	БГП		44	8	30	COP
5	10	10	ПК-60		25	10	20	БГП		45	10	30	COP
6	4	15	ПК-75		26	4	25	ГБГ		46	4	20	PR
7	5	15	ПК-75		27	5	25	ГБГ		47	5	20	PR
8	6	15	ПК-75		28	6	25	ГБГ		48	6	20	PR
9	8	15	ПК-75		29	8	25	ГБГ		49	8	20	PR
10	6	15	ПК-75		30	10	25	ГБГ		50	10	20	PR
11	4	20	L500		31	12	20	БГП		51	12	20	ПК-60
12	5	20	L500		32	15	20	БГП		52	15	20	ПК-60
13	6	20	L500		33	18	20	БГП		53	18	20	ПК-60
14	8	20	L500		34	20	20	БГП		54	20	20	ПК-60
15	10	20	L500		35	12	25	ГБГ		55	12	25	ПК-60
16	4	15	HRP1		36	15	25	ГБГ		56	15	25	ПК-75
17	5	15	HRP1		37	18	25	ГБГ		57	18	25	ПК-75
18	6	15	HRP1		38	20	25	ГБГ		58	20	25	ПК-75
19	8	15	HRP1		39	12	30	ГБГ		59	12	30	ПК-75
20	10	15	HRP1		40	15	30	ГБГ		60	15	30	ПК-75

Методические указания по выполнению контрольной работы

Типоразмер бурильной установки определяется размерами горной выработки (зоны бурения). В таблице 2 приведены технические характеристики бурильных установок. Число бурильных машин (перфораторов) также зависит от площади сечения выработки *S*. Величина зоны бурения одной бурильной машины составляет 10-15 м^2.

Типоразмер бурильной машины принимается по предыдущему заданию.

Эксплуатационные показатели установок.

Производительность бурильных установок определяется мощностью бурильных машин, их числом и затратами времени на выполнение вспомогательных операций. Установлено также, что бурильные установки с увеличенным ходом подачи (3,5 м) имеют более высокую производительность. Бурильные установки позволяют значительно увеличить энерговооруженность процесса бурения и за счет этого увеличить производительность. Поэтому на установках используются наиболее мощные бурильные машины, в том

числе специального исполнения. Однако их мощность ограничивается диаметром шпуров и сечением штанг.

Максимальная производительность бурильных установок достигается при рациональных значениях режимных параметров.

Техническая производительность установки:

$$Q_{тб} = \frac{N_{бм} \cdot K_o \cdot K_г}{V_б^{-1} + V_{ox}^{-1} + \frac{T_з}{B} + \frac{(T_н + T_{зб}) \cdot N + T_п}{L \cdot N}},$$

где $N_{бм}$ – число бурильных машин;

K_o – коэффициент одновременности работы. $K_o = 1;\ 0{,}8$ и $0{,}7$ при $N_{бм} = 1;\ 2$ и 3.

$K_г$ – коэффициент готовности установки. $K_г = 0{,}9$;

N – количество шпуров;

$T_п$ – длительность перегона установки, мин.

$V_б$ – скорость бурения, м/мин;

V_{ox} – скорость обратного хода бурильной машины. $V_{ox} \approx 20$ м/мин;

$T_з$ – длительность замены коронки. $T_з = 2$ мин;

B – стойкость коронки на одну заточку. $B = 50\text{ -}100$ м в зависимости от крепости породы;

$T_н$ – длительность наведения бурильной машины с одного шпура на другой.

$T_н = 1$ мин;

$T_{зб}$ - длительность забуривания. $T_{зб} = 1$ мин.

L ($l_з$) – длина шпура (длина заходки).

Длительность бурения

$$t_б = \frac{N \cdot L}{Q_{тб}}$$

где N – количество шпуров.

Количество шпуров определяется в зависимости от крепости породы и конструкции заряда ВВ.

Расчет скорости бурения при перфораторном бурении

Практика эксплуатации перфораторов показывает, что скорость бурения с увеличением глубины бурения падает ввиду потерь при передаче ударного импульса в местах соединения штанг и штанги с коронкой, а также от вибрации штанг. КПД ударного механизма при бурении равен $\eta = \eta_{уд} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$, где $\eta_{уд}$ - КПД удара; $\eta_1 = 0{,}85\ldots0{,}95$ – коэффициент, учитывающий потери энергии удара на трение бура о стенки шпура; η_2 - коэффициент, учитывающий потери в местах соединения штанг и штанги с коронкой, а также от вибрации штанг. При резьбовом соединении штанг $\eta_2 = 0{,}75\ldots0{,}85$; при конусном – $\eta = 0{,}6\ldots0{,}8$.

Величина средней скорости бурения перфораторами составит

$$V_{пср} = V_{нач} \cdot (1 - e^{-\alpha L}) / \alpha L$$

где $V_{нач}$ – начальная скорость бурения (скорость бурения первого метра);

a – декремент затухания энергии ударного импульса, $a = 0{,}02 - 0{,}2$;

L – длина шпура или скважины.

Для перфораторов с независимым вращением и большой массой поршня а имеет меньшее значение (колонковые перфораторы).

В таблице 3 приведены значения средней скорости бурения (в долях от максимального значения).

Таблица 3

Средняя скорость бурения (относительная)

a·L	**e^{-aL}**	**$1-e^{-aL}$**	**$V_{срп}/V_{нач}$**
0,1	0,905	0,095	0,950
0,2	0,819	0,181	0,905
0,3	0,741	0,259	0,863
0,4	0,670	0,330	0,825
0,5	0,607	0,393	0,786
0,6	0,549	0,451	0,750
0,8	0,449	0,551	0,690
1,0	0,368	0,632	0,632

При $a \cdot L < 0{,}1$ принимаем $V_{срп} = V_{нач}$

Выполненные исследования машин ударного действия показывают, что их производительность находится в прямой зависимости от давления сжатого воздуха или рабочей жидкости. Так, увеличение давления воздуха с 0,5 МПа на 0,1 МПа позволяет увеличить механическую скорость бурения примерно на 20%.

Начальная скорость бурения (м/с):

$$V_б = \frac{2N_и}{\pi \cdot d^2 \cdot \sigma_{ск} \cdot (\mu + tg\frac{\alpha}{2}) \cdot K_з},$$

где $N_и$ – ударная мощность на инструменте, Вт;

d – диаметр шпура, м. Принимаем $d = 40$ *мм;*

$\sigma_{ск}$ – предел прочности породы при сколе, Па;

μ – коэффициент трения стали о породу. Ориентировочно μ = 0,3;

$$И_и = A_n \cdot z \cdot \eta$$

α – угол заострения лезвия. $\alpha = 90°$;

$K_з$ – коэффициент затупления лезвия. $K_з = 1{,}1$.

где A_n – энергия удара на поршне;

Z – частота ударов;

η - КПД перфоратора. $\eta = 0{,}7 - 0{,}8$.

Значения A_n и Z приведены в табл.4.

$\sigma_{ск} \approx 0{,}5\ \sigma_{сж}$

Предел прочности породы на сжатие

$\sigma_{сж} = 10f$ *, МПа.*

Варианты заданий приведены в табл.4.

Число шпуров

$$N = \frac{Q_{вв}}{M_з} = \frac{q_{вв} \cdot V}{M_з} = \frac{q_{вв} \cdot S \cdot L}{M_з},$$

где $Q_{вв}$ – расход взрывчатых веществ;
$M_з$ – масса заряда;
$q_{вв}$ – удельный расход ВВ; ориентировочно $q_{вв} = 1\text{-}4$ *кг/м*^{3} при $f = 5\text{-}20$;
V – объем заходки;
S – площадь сечения выработки.

Масса заряда (рис.4)

$$M_з = \frac{\pi d^2}{4} \cdot (L - l_{заб}) \cdot \rho_{вв} \cdot K_п,$$

где d – диаметр шпура;
$l_{заб}$ – длина забойки. $l_{заб} \approx 0{,}25L$;
$\rho_{вв}$ – плотность ВВ. $\rho_{вв} = 1{,}05 - 1{,}15$ *кг/дм*^{3};
$K_п = 0{,}9$ – коэффициент плотности заряда (заполнения шпура).

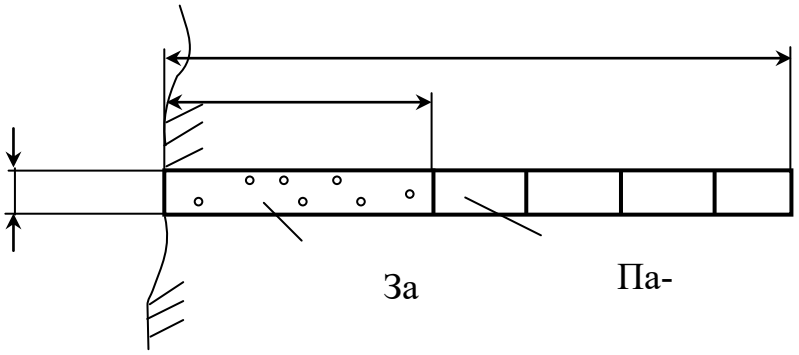


Рис. 1. Конструкция заряда

Продолжительность цикла Т определяется построением циклограммы. Длительность основных операций определяется расчетом.

Длительность заряжания одного шпура составляет (в мин).

$$t_{з1} = (1 \div 1{,}5) \cdot L,$$

где L – длина шпура, м.

Длительность погрузки

$$t_п = \frac{V_{гм}}{Q_{тп}} = \frac{S \cdot L \cdot K_р}{Q_{тп}},$$

где $V_{гм}$ – объем отбитой горной массы;
$K_р$ – коэффициент разрыхления породы. $K_р = 1{,}2 - 1{,}4$ в зависимости от крепости породы;
$Q_{тп}$ – техническая производительность погрузочной машины;
S – сечение выработки.

$$V_{прт} = \frac{l_з}{T},$$

Скорость проходки (техническая) составит:

где $l_з$ – шаг подвигания забоя, $l_з = L \cdot K_{иш}$,

$K_{иш}$ – коэффициент использования шпуров. $K_{иш} = 0,9$.

Циклограмма работ при проходке выработки

Операции проходческого цикла	Затраты времени, мин	Часы					
		1	2	3	4	5	6
Осмотр, смазка и подготовка бурильной установки (БУ) к работе	20 – 30						
Подгон БУ в забой	10 – 15						
Подготовка к бурению	5 – 10						
Бурение шпуров забоя	Расчет						
Бурение шпуров под крепление	Расчет						
Отгон БУ из забоя	5 – 10						
Заряжание шпуров, взрывание	Расчет						
Проветривание забоя	30						
Приведение забоя в безопасное состояние	10 – 15						
Наращивание вентиляционных труб	10 – 15						
Осмотр, смазка и подготовка погрузочной машины к работе	20 – 30						
Погрузка и уборка горной массы из забоя	Расчет						
Вспомогательные работы (доставка материалов, ВВ и др.)							

Эксплуатационная (месячная) скорость проходки составит

$$V_{пр} = V_{прт} \cdot Ф \cdot K_и,$$

где $Ф$ – фонд времени работы;

$K_и$ – коэффициент использования оборудования. $K_и \approx 0,8$.

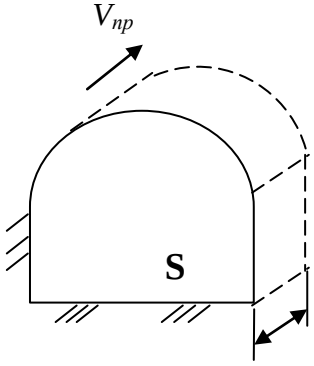


Рис. 2. Схема подвигания забоя

Фонд времени работы:

$$Ф = 6 \cdot N_{см} \cdot T_{р},$$

где $N_{см}$ – число рабочих смен;
$T_р$ – количество рабочих дней.
Принимаем $Ф_{мес}$ = *540 ч (6×3×30*).

Критерии оценивания: использование определенного алгоритма подготовки исходной информации – 1 балл, выполнение и правильность расчетов – 2 балла, наличие пояснений к расчетам – 2 балл, выводы по полученным результатам – 2 балла, оформление работы – 2 балл, представление графического материала – 1 балл.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если работа оформлена аккуратно, в соответствии с требованиями; методика решения задач правильная и все действия обоснованы; все расчеты выполнены верно; ответ полный, имеется вывод по задаче, материал изложен профессиональным языком, логично – 7-8 баллов.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если работа оформлена аккуратно, с незначительными замечаниями (отступлениями от требований); методика решения задач правильная и все действия обоснованы; в расчетах имеются ошибки; ответ полный, имеется, вывод по задаче или его нет, материал изложен профессиональным языком, логично – 5-6 баллов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа оформлена с существенными замечаниями (отступлениями от установленных требований); методика решения задач правильная, однако действия не обоснованы; в расчетах имеются ошибки; ответ неполный, не имеет вывода по задаче, материал изложен без использования профессиональной терминологии, логично – 3-4 балла.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа оформлена неаккуратно, со значительными отступлениями от требований; методика решения задач не правильная и (или) действия не обоснованы; ответ полный или неполный, нет вывода по задаче, материал изложен без использования профессиональной терминологии, нелогично – 0-2 балла.

Контрольная работа № 2 по теме 8

Контрольная работа №2:

Расчет скорости проходки комбайном цикличного действия

Условия: Крепость пород *f*, площадь сечения выработки $S_{выр}$.

Варианты заданий

№ №	***f***	**S, $м^2$**		**№№**	***f***	**S, $м^2$**		**№№**	***f***	**S, $м^2$**
1	*4*	*10*		*21*	*4*	*20*		*41*	*4*	*30*
2	*5*	*10*		*22*	*5*	*20*		*42*	*5*	*30*
3	*6*	*10*		*23*	*6*	*20*		*43*	*6*	*30*
4	*8*	*10*		*24*	*8*	*20*		*44*	*8*	*30*

5	10	10		25	10	20		45	10	30
6	4	15		26	4	25		46	4	20
7	5	15		27	5	25		47	5	20
8	6	15		28	6	25		48	6	20
9	8	15		29	8	25		49	8	20
10	6	15		30	10	25		50	10	20
11	4	20		31	12	20		51	12	20
12	5	20		32	15	20		52	15	20
13	6	20		33	18	20		53	18	20
14	8	20		34	20	20		54	20	20
15	10	20		35	12	25		55	12	25
16	4	15		36	15	25		56	15	25
17	5	15		37	18	25		57	18	25
18	6	15		38	20	25		58	20	25
19	8	15		39	12	30		59	12	30
20	10	15		40	15	30		60	15	30

Методические рекомендации по выполнению задания №2

Схема проходческого комбайна цикличного действия приведена на рис.3. В табл. 1 приведены технические характеристики комбайнов. Порядок расчета соответствует №№ формул.

Техническая скорость проходки:

$$V_{прт} = \frac{B}{T_ц}, \qquad (5)$$

где B – захват исполнительного органа (коронки). Ориентировочно $B = 1м$;
$T_ц$ – длительность цикла (обработки всей площади забоя).

$$T_ц = T + T_{во}, \qquad (4)$$

где T – длительность непрерывной работы;
$T_{во}$ – длительность вспомогательных операций. $T_{во} \approx 0,25T$.

$$T = \frac{L_{ио}}{V_{пп}}, \qquad (3)$$

где $L_{ио}$ – ход исполнительного органа при отработке забоя;
$V_{пп}$ – скорость поперечной подачи.

Величина $L_{ио}$ определяется в зависимости от схемы обработки забоя и площади сечения S (рис.4).

Скорость поперечной подачи

$$V_{пп} = \frac{V_р \cdot h \cdot N_{лр}}{\pi D_{кср}},$$

(2)

где $V_р$ – скорость резания. *V= 2-3 м/с*;
h – толщина среза;
$N_{лр}$ – число резцов в линии резания. $N_{лр}$ *=1;*
$D_{кср}$ – средний диаметр коронки. $D_{кср}$ *= 1м*.

Толщина среза составит

$$h = \frac{N_{дв} \cdot \eta}{V_р \cdot A_р \cdot N_{ор}}, \qquad (1)$$

где N – мощность двигателя;
η – кпд привода. η *= 0,9*;
$A_р$ – сопротивляемость породы резанию. Ориентировочно $A_р$ *= 100f кН/м*;
$N_{ор}$ – число резцов, одновременно находящихся в контакте с породой;
$N_{ор}$ *= (4 ÷5)B*
f - коэффициент крепости породы.

Эксплуатационная (месячная) скорость проходки:

$$V_{пр} = V_{прт} \cdot Ф \cdot K_и, \qquad (6)$$

где $Ф$ *= 540 ч* – фонд времени работы;
$K_и$ – коэффициент использования оборудования. $K_и$ *= 0,8*.

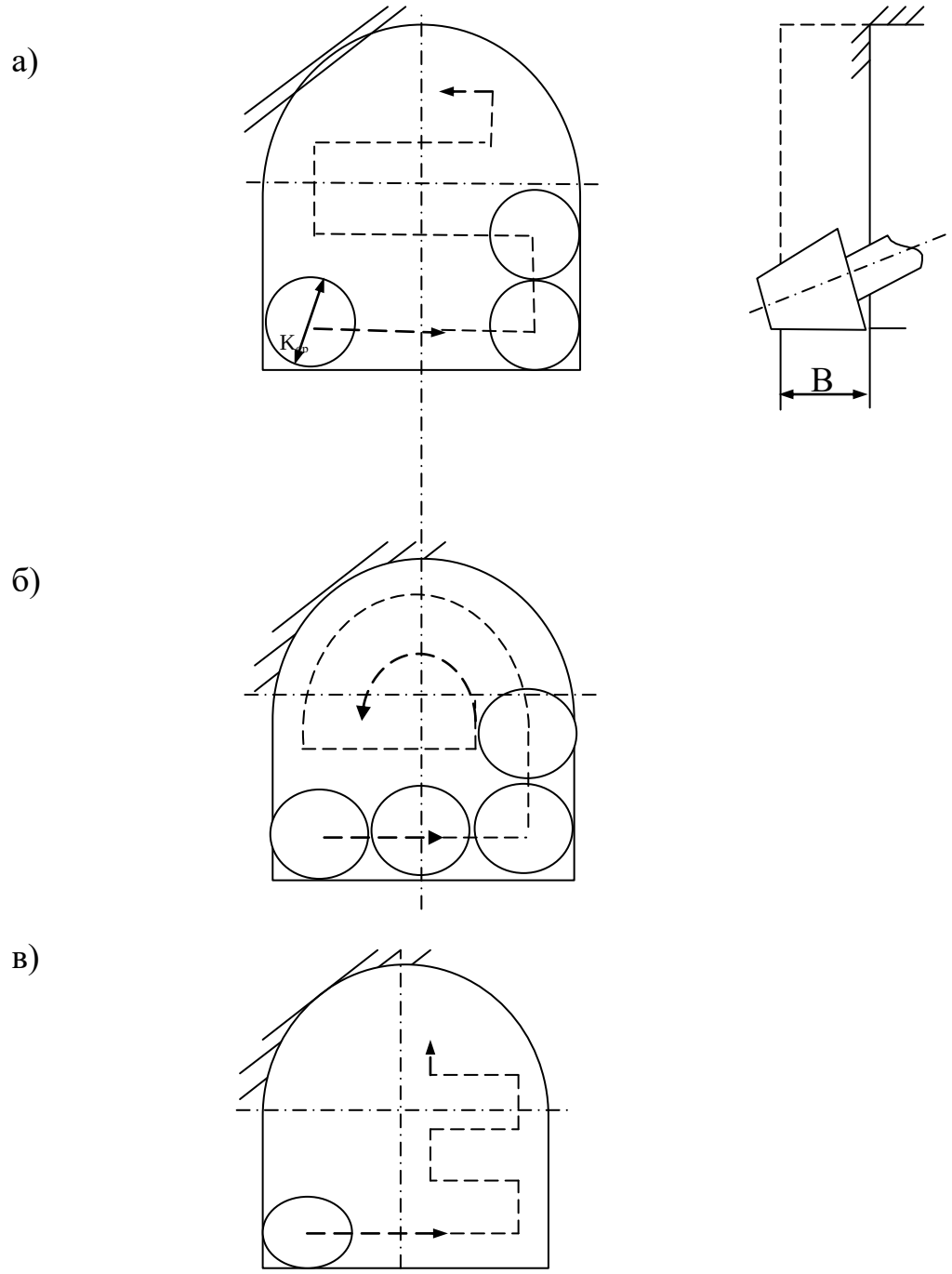


Рис. 4. Схемы разработки забоя:
а – последовательная;
б – с обрушением;
в – с минимальными ходами.

Критерии оценивания: использование определенного алгоритма подготовки исходной информации – 1 балл, выполнение и правильность расчетов – 2 балла, наличие пояснений к расчетам – 2 балл, выводы по полученным результатам – 2 балла, оформление работы – 2 балл, представление графического материала – 1 балл.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если работа оформлена аккуратно, в соответствии с требованиями; методика решения задач правильная и все действия обоснованы; все расчеты выполнены верно; ответ полный, имеется вывод по задаче, материал изложен профессиональным языком, логично – 7-8 баллов.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если работа оформлена аккуратно, с незначительными замечаниями (отступлениями от требований); методика решения задач правильная и все действия обоснованы; в расчетах имеются ошибки; ответ полный, имеется, вывод по задаче или его нет, материал изложен профессиональным языком, логично – 5-6 баллов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа оформлена с существенными замечаниями (отступлениями от установленных требований); методика решения задач правильная, однако действия не обоснованы; в расчетах имеются ошибки; ответ неполный, не имеет вывода по задаче, материал изложен без использования профессиональной терминологии, логично – 3-4 балла.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа оформлена неаккуратно, со значительными отступлениями от требований; методика решения задач не правильная и (или) действия не обоснованы; ответ полный или неполный, нет вывода по задаче, материал изложен без использования профессиональной терминологии, нелогично – 0-2 балла.

Контрольная работа №3:

Расчет скорости проходки комбайном непрерывного действия.

Условия: Крепость пород *f*, площадь сечения выработки $S_{выр}$.

Варианты заданий

№ №	*f*	*S, м²*	*Тип бурильной машины (перфоратора)*		*№№*	*f*	*S, м²*	*Тип бурильной машины (перфоратора)*		*№№*	*f*	*S, м²*	*Тип бурильной машины (перфоратора)*
1	*4*	*10*	*ПК-60*		*21*	*4*	*20*	*БГП*		*41*	*4*	*30*	*СОР*
2	*5*	*10*	*ПК-60*		*22*	*5*	*20*	*БГП*		*42*	*5*	*30*	*СОР*
3	*6*	*10*	*ПК-60*		*23*	*6*	*20*	*БГП*		*43*	*6*	*30*	*СОР*
4	*8*	*10*	*ПК-60*		*24*	*8*	*20*	*БГП*		*44*	*8*	*30*	*СОР*
5	*10*	*10*	*ПК-60*		*25*	*10*	*20*	*БГП*		*45*	*10*	*30*	*СОР*
6	*4*	*15*	*ПК-75*		*26*	*4*	*25*	*ГБГ*		*46*	*4*	*20*	*PR*
7	*5*	*15*	*ПК-75*		*27*	*5*	*25*	*ГБГ*		*47*	*5*	*20*	*PR*
8	*6*	*15*	*ПК-75*		*28*	*6*	*25*	*ГБГ*		*48*	*6*	*20*	*PR*
9	*8*	*15*	*ПК-75*		*29*	*8*	*25*	*ГБГ*		*49*	*8*	*20*	*PR*
10	*6*	*15*	*ПК-75*		*30*	*10*	*25*	*ГБГ*		*50*	*10*	*20*	*PR*
11	*4*	*20*	*L500*		*31*	*12*	*20*	*БГП*		*51*	*12*	*20*	*ПК-60*
12	*5*	*20*	*L500*		*32*	*15*	*20*	*БГП*		*52*	*15*	*20*	*ПК-60*
13	*6*	*20*	*L500*		*33*	*18*	*20*	*БГП*		*53*	*18*	*20*	*ПК-60*
14	*8*	*20*	*L500*		*34*	*20*	*20*	*БГП*		*54*	*20*	*20*	*ПК-60*

15	*10*	*20*	*L500*		*35*	*12*	*25*	*ГБГ*		*55*	*12*	*25*	*ПК-60*
16	*4*	*15*	*HRP1*		*36*	*15*	*25*	*ГБГ*		*56*	*15*	*25*	*ПК-75*
17	*5*	*15*	*HRP1*		*37*	*18*	*25*	*ГБГ*		*57*	*18*	*25*	*ПК-75*
18	*6*	*15*	*HRP1*		*38*	*20*	*25*	*ГБГ*		*58*	*20*	*25*	*ПК-75*
19	*8*	*15*	*HRP1*		*39*	*12*	*30*	*ГБГ*		*59*	*12*	*30*	*ПК-75*
20	*10*	*15*	*HRP1*		*40*	*15*	*30*	*ГБГ*		*60*	*15*	*30*	*ПК-75*

Методические указания по выполнению контрольной работы

Выбор параметров рабочих органов

Баровые органы. Параметры баровых органов определяются из условия исключения заштыбовки (защемления уплотненным штыбом) врубовой цепи.

Рациональное значение скорости режущей цепи:

$$v_р = Lv_п\,[(\gamma - 1) + (h_б/H)] / (b\varepsilon),$$

где L – развернутая длина зарубной щели (рис. 3.14); $v_п$ – скорость подачи машины; γ – коэффициент объемного расширения породы [44]; $h_б$ – толщина направляющей рамы бара; H – высота врубовой щели; b – усредненный вылет резцов; ε – коэффициент заполнения врубовой щели.

Средний шаг резания:

$$t_{ср} = H / (m - 1),$$

где m – число линий резания цепи.

Глубина резания:

$$h = l\,v_п / v_р,$$

где l – расстояние между соседними резцами в линии резания (шаг установки резцов).

Известно, что для углей оптимальный шаг резания

$$t_{опт} = (1{,}5\ldots3)\cdot h.$$

В режущих цепях можно варьировать как шаг резания путем изменения числа линий резания, так и глубину резания путем изменения числа резцов в линии резания (или расстояния между соседними резцами в линии резания).

Расстояние между соседними резцами в линии резания при заданном шаге резания определится из выражения:

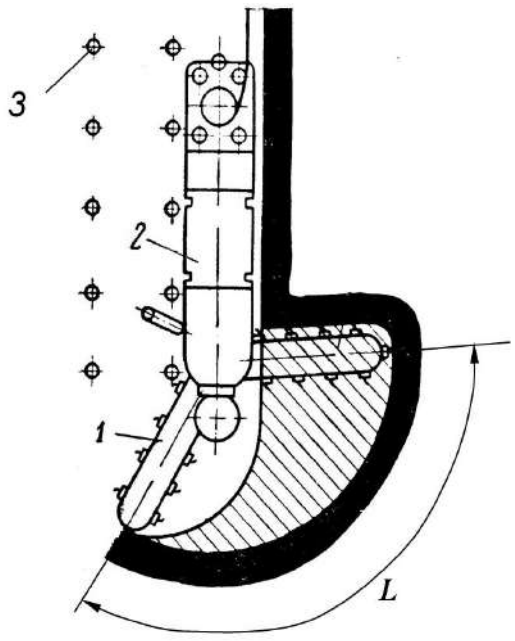


Рис. 5. Схема зарубки врубовой-

$$l_{опт} = v_р H / [(1{,}5\ldots3)\,v_п\,(m - 1)].$$

Барабанные и шнековые рабочие органы. Шаг резания на барабанах и шнеках задается, как правило, конструктивно, но всегда необходимо стремиться к достижению оптимального соотношения шага и глубины резания. Многозаходные шнеки позволяют легче варьировать соотношения h и t путем установки различного числа резцов в линии резания.

Максимально возможное число резцов, одновременно находящихся в работе при равномерном их распределении в линиях резания и по шагу резания, не считая торцовых резцов, определится из выражения

$$z_{л.р} = n\varphi_o((B/t) + 1) / \pi,$$

где n – число заходов шнека; φ_o – угол обхвата органа разрушения угольным массивом; B – ширина захвата.

Для большинства исполнительных органов очистных и проходческих комбайнов (шнековые, барабанные, корончатые) толщина среза – величина переменная. Она изменяется практически от нуля при входе резцов в контакт с массивом до максимального значения при $\varphi = \pi / 2$, а затем уменьшается до нуля при $\varphi \to \pi$:

$$h_i = h_{max} \sin \varphi_i, \ 0 \le \varphi_i \le \pi,$$

где h_{max} – максимальное значение толщины среза; φ_i – угол, определяющий местоположение i-го резца на дуге резания.

Поэтому сила резания на одиночном резце, установленном на исполнительном органе комбайна, при изменении толщины среза составит (рис. 3.15):

$$F_{pi} = A_p \, h_{max} \sin\varphi_i \ = F_{max} \sin\varphi_i,$$

где A_p – сопротивляемость породы резанию.

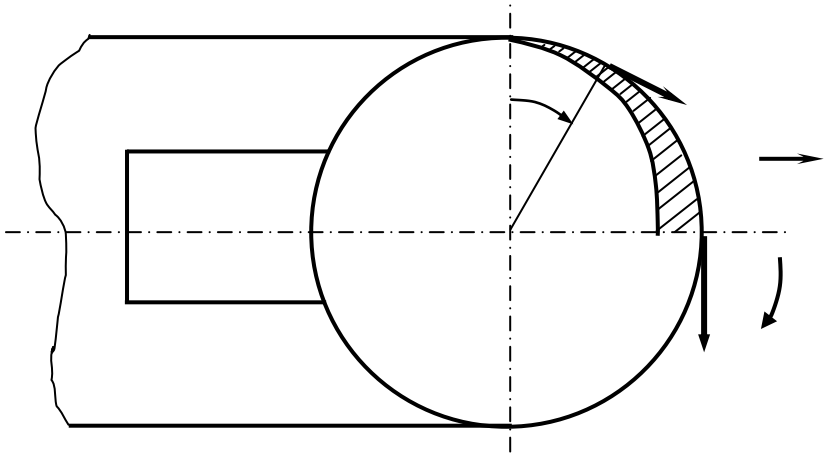


Рис. 6. Схема к определению сил

Суммарная сила резания на шнеке (барабане) определяется выражением:

$$\sum F_p = K_{oc} \sum_{i=1}^{n_p} F_{pi} \, ,$$

где F_{pi} – сила резания на i-м резце, участвующем в резании; n_p – число резцов, одновременно участвующих в резании, определяемое углом контакта рабочего органа с забоем (угол охвата); K_{oc} – коэффициент ослабления массива опережающим рабочим органом и наличием обнаженной поверхности, зависящий от направления вращения рабочего органа относительно поверхности забоя и направления резания относительно напластования.

Средняя суммарная сила подачи на шнековом (барабанном) рабочем органе определяется выражением:

$$\sum F_п = K_{oc} \sum_{i=1}^{n_p} (F_{пi} \sin\varphi_i + F_{pi} \cos\varphi_i) \, ,$$

где $F_{пi}$ – сила подачи на i-м резце.

Степень уравновешенности барабанного (шнекового) органа и динамичность процесса разрушения оцениваются посредством коэффициента совершенства схемы разрушения и режима работы [60]:

$$\eta_{р.р} = [E_о / (E_о + 2\Delta E)]\,[R\sin\varphi_о / D] \quad \text{при } \varphi_о \le \pi / 2,$$

где $E_о$ – оптимальные затраты энергии в данном режиме разрушения; ΔE – дополнительные затраты энергии, обусловленные несовершенством схемы разрушения; D – диаметр шнека (барабана); $R\sin\varphi_о / D$ – составляющая коэффициента совершенства по степени использования шнека (барабана).

Для исполнительных органов, разрушающих угольный массив с поверхности забоя (шнековые, барабанные), рациональными являются режимы резания со средней глубиной 40…60 мм, средней шириной реза 60…80 мм и средним сечением 0,0025…0,005 м^2.

Короночные органы. Линейный шаг установки резцов по рекомендации ЦНИИподземмаш рассчитывается исходя из условия сплошного разрушения породного забоя резцами.

Для кутковых резцов линейный шаг установки:

$$t_{кут} = 0{,}2(1 + (t / h_{ср}))h_{ср},$$

где $h_{ср}$ – средняя глубина резания.

Для конических коронок угловой шаг установки резцов (рис. 3.16) определяется из условия постоянства момента на коронке:

$$\sum F_{рi}\, r_i = \text{const}.$$

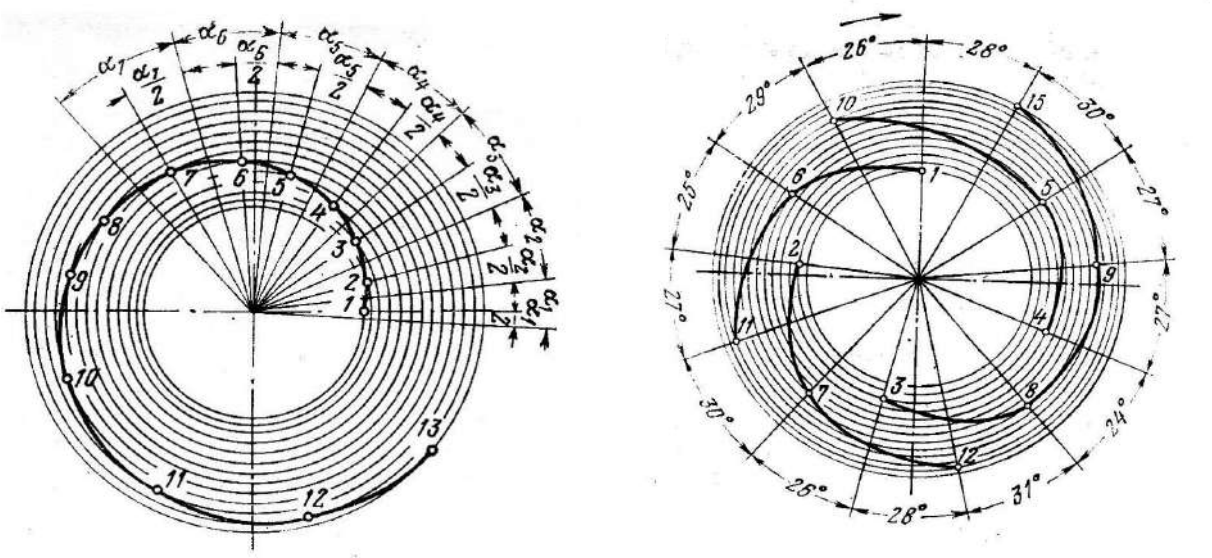


Рис. 7. Одновитковая (*а*) и многовитковая (*б*) схемы набора резцов на коронке

Буровые органы. Для буровых рабочих органов в отличие от барабанных и шнековых характерно постоянное значение толщины (глубины) среза h, определяемое по формуле:

$$h = v_п / (n_{об}\, m_р),$$

где $v_п$ – скорость подачи бурового рабочего органа на забой; $n_{об}$ – частота вращения буровой коронки; $m_р$ – число резцов в линии резания.

Поскольку резцы в буровой коронке устанавливаются в линиях резания, удаленных от оси коронки на различные расстояния, то крутящий момент $M_{кр}$ от сил резания на резцах, расположенных в i-й линии резания, составит:

$$M_{крi} = m_{рi}\, F_{рi}\, (D_i / 2),$$

где m_{pi} – число резцов в линии резания; F_{pi} – сила резания на резце в i-й линии резания; D_i – диаметр i-й линии резания.

Если коронка имеет $n_{л.р}$ линий резания, то полный крутящий момент $M_{кр}$ на коронке от сил резания:

$$M_{кр} = K_{ос} \sum_{i=1}^{n_{л.р}} M_{кр i} .$$

Суммарная сила подачи на буровой коронке определяется из выражения:

$$F_{п} = K_{ос} \sum_{i=1}^{n_{л.р}} F_{пi} m_{pi},$$

где $F_{пi}$ – сила подачи на резце в i-й линии резания.

Планетарные рабочие органы. Параметры планетарных органов определяются из условия обеспечения постоянства формы и размеров стружки. Это условие выражается зависимостью

$$i\, Z_{д}\, \varphi_{кр} = 360°,$$

где i – передаточное число планетарного механизма; $Z_{д}$ – число резцов, установленных в одной линии резания диска; $\varphi_{кр}$ – угол поворота водила, соответствующий вершинам петель траекторий движения рабочих инструментов (критический угол).

Теоретическая производительность комбайна бурового действия:

$$Q_{Б} = S_{в} v_{п\,max},$$

где $S_{в}$ – площадь сечения вчерне проводимой выработки; $v_{п\,max}$ – максимальная скорость подачи комбайна.

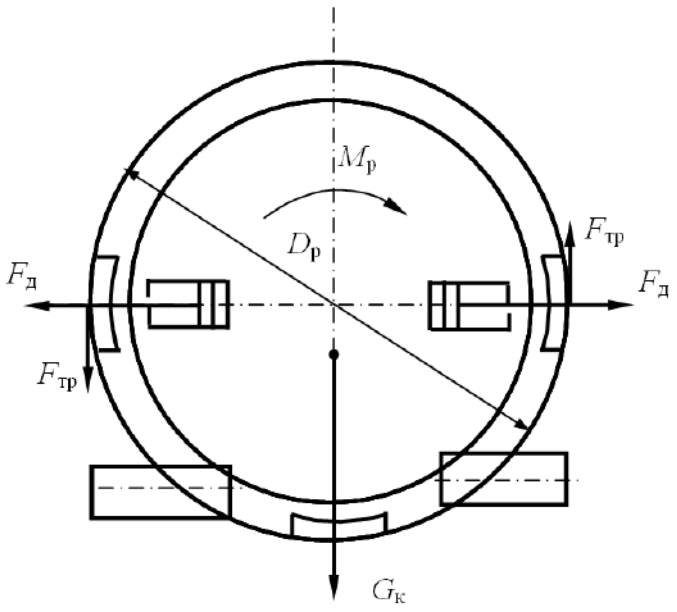


Рис. 8. Расчетная схема поперечной устойчивости от разворота вокруг продольной оси комбайнов с роторным исполнительным органом:
$G_{к}$ – сила тяжести комбайна; $D_{р}$ – диаметр ротора; $M_{р}$ – момент сил, стремящихся вывести комбайн из равновесного состояния; $F_{д}$ – сила на штоке распорного домкрата; $F_{тр}$ – сила трения

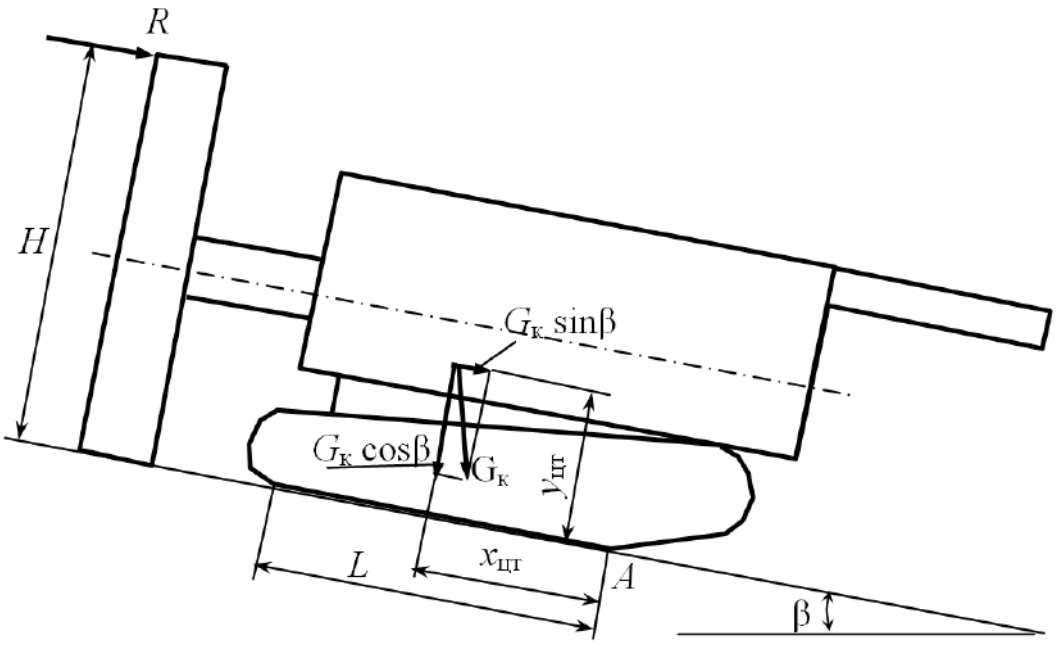


Рис. 9. Схема действия нагрузок на буровой проходческий комбайн при проверке его продольной устойчивости:
$G_к$ - сила тяжести комбайна; R – реакция породы; β – угол наклона выработки; A – точка, относительно которой определяются опрокидывающий и удерживающий моменты; $x_{цт}$, $z_{цт}$ - координаты центра масс; H – плечо действия реакции R

Техническая производительность комбайна:

$$Q_т = QK_т,$$

где $K_т$ – коэффициент технически возможной непрерывности работы комбайна,

$$K_т = (1 + (T_{во}/T))^{-1},$$

здесь $T_{во}$ – длительность вспомогательных операций; T – длительность непрерывной работы.

Критерии оценивания: оформление работы в соответствии с предъявляемыми требованиями – 1 балл; обоснование выбора методики решения задачи – 1 балл; точность в расчетах при определении – 1 балл; полнота ответа на вопросы задания, наличие обоснования, вывода – 3 балл, использование профессиональной терминологии – 1 балл, логичность изложения материала - 1 балл.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если работа оформлена аккуратно, в соответствии с требованиями; методика решения задач правильная и все действия обоснованы; все расчеты выполнены верно; ответ полный, имеется вывод по задаче, материал изложен профессиональным языком, логично – 7-8 баллов.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если работа оформлена аккуратно, с незначительными замечаниями (отступлениями от требований); методика решения задач правильная и все действия обоснованы; в расчетах имеются ошибки; ответ полный, имеется, вывод по задаче или его нет, материал изложен профессиональным языком, логично – 5-6 баллов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа оформлена с существенными замечаниями (отступлениями от установленных требований); методика

решения задач правильная, однако действия не обоснованы; в расчетах имеются ошибки; ответ неполный, не имеет вывода по задаче, материал изложен без использования профессиональной терминологии, логично – 3-4 балла.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа оформлена неаккуратно, со значительными отступлениями от требований; методика решения задач не правильная и (или) действия не обоснованы; ответ полный или неполный, нет вывода по задаче, материал изложен без использования профессиональной терминологии, нелогично – 0-2 балла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.Ю. Погрузочно-доставочные машины: методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Горные машины и оборудование подземных горных работ" для студентов специальности 21.05.04 - "Горное дело" специализации "Горные машины и оборудование" очного и заочного обучения / И. Ю. Иванов. - Екатеринбург: УГГУ, 2018. - 22 с.: рис., табл. - Библиогр.: с. 21.
2. Тургель Д.К. Горные машины и оборудование подземных разработок: учебное пособие / Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: УГГУ, 2007. - 302 с. : ил. - Библиогр.: с. 298-299.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ по дисциплине

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация №9 (ГМО)

Горные машины и оборудование (ГМО)

квалификация выпускника: **горный инженер**

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2014

Автор: Гаврилова Л.А., доцент, к.т.н.

Одобрена на заседании кафедры

Горных машин и комплексов

(название кафедры)

Зав.кафедрой _____

(подпись)

Суслов Н.М.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 10 от 15.06.2018

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

горно-механического

(название факультета)

Председатель _____

(подпись)

Барановский В.П.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 10 от 22.06.2018

(Дата)

Екатеринбург 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ 5

2. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ 6

3. Виды контроля 7

ЛИТЕРАТУРА 8

ВВЕДЕНИЕ

При расчете и конструировании машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов решаются задачи на прочность элементов конструкции. Выпускники университета должны уметь применять соответствующие методики расчета при проектировании объектов нефтепромыслов.

Цель практических занятий: закрепление приобретенных студентами навыков расчета и конструирования машин и оборудования нефтегазовой отрасли.

Практические занятия призваны закреплять теоретический материал по следующим компетенциям федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки ***21.05.04 Горное дело, специализации №9 –Горные машины и оборудование***:

профессиональные

общекультурные

- готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-7);

общепрофессиональные

- готовность использовать научные законы и методы при оценке состояния окружающей среды в сфере функционирования производств по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов (ОПК-6);

Профессиональные

- умение определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты (ПК-7);

профессионально-специализированные

- способность разрабатывать техническую и нормативную документацию для машиностроительного производства, испытания, модернизации, эксплуатации, технического и сервисного обслуживания и ремонта горных машин и оборудования различного функционального назначения с учетом требований экологической и промышленной безопасности (ПСК-9.1).

Результат изучения дисциплины: «Горные машины и оборудование»

ОК-7 (уметь: самоорганизовываться; пользоваться методическими, информационными ресурсами),

ОПК-6 (знать: закономерности поведения массива в процессе воздействия на него органами горных машин и оборудования; уметь: определять усилия воздействия инструмента горных машин на массив горных пород; владеть: методами анализа взаимодействия инструмента горных машин с горными породами),

ПСК-9.1 (знать: требования безопасной эксплуатации горных машин и оборудования; уметь: пользоваться нормативной документацией для эксплуатации и технического обслуживания горных машин и оборудования; владеть: навыками анализа технической и нормативной документации по горным машинам и оборудованию),

ПК-7 (знать: классификацию и назначение машин для выполнения операций по добыче и транспортировке полезных ископаемых; принципиальные схемы, конструктивные особенности, области применения и основные расчетные характеристики различного типа машин для отбойки, погрузки, транспортировки, крепления и вспомогательных операций; методику определения основных конструктивных и режимных параметров машин, их производительности и эффективности в горно-добывающем производстве; виды нагруженного состояния элементов горных машин и оборудования; уметь: производить

расчет основных конструктивных и режимных параметров горных машин и оборудования и моделирование их работы; осуществлять выбор типов горных машин и оборудования, производить расчет их производительности и эффективности, а также выбор типоразмеров в зависимости от горно-геологических условий и условий эксплуатации; владеть: профессиональной терминологией в области горных машинах и оборудовании; методикой определения и расчета основных параметров, производительности и эффективности горных машин; определять технологические и конструктивные параметры горных машин и оборудования),

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Выполнению практических занятий предшествует проверка знаний студентов — их теоретической готовности к выполнению задания.

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 формулировки), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Работы, носящие частично поисковый характер, отличаются тем, что при их проведении студенты не пользуются подробными инструкциями, им не дан порядок выполнения необходимых действий, и требуют от студентов самостоятельного подбора оборудования, выбора способов выполнения работы в инструктивной и справочной литературе и др.

Работы, носящие поисковый характер, характеризуются тем, что студенты должны решить новую для них проблему, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания.

При планировании практических занятий преподаватель использует различное сочетание репродуктивных, частично поисковых и поисковых работ, чтобы обеспечить высокий уровень интеллектуальной деятельности.

Формы организации студентов на практических занятиях:

- фронтальная,

- групповая

- индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу.

При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется брига-

дами по 2—5 человек.

При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Содержанием практических занятий является:

• решение разного рода задач, в том числе профессиональных (анализ производственных ситуаций, решение ситуационных производственных задач, выполнение профессиональных функций в деловых играх и т.п.);

• выполнение вычислений, расчетов, чертежей;

• изучение, заполнение, разработка инструкционных и технологических карт;

• работа с измерительными приборами, оборудованием;

• самостоятельное выполнение технологических операций;

• работа с нормативными документами, инструктивными материалами, справочниками;

• составление технической и специальной документации и др

2. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Тема 3: Элементы конструкции горных машин
Рабочий инструмент горных машин. Виды. Геометрические параметры. Исполнительные органы горных комбайнов. Классификация.
Органы перемещения.
Органы погрузки.

Тема 4: Машины для бурения.
Машины для бурения. Принципиальные схемы и конструктивные особенности бурильных машин для вращательного, ударного, ударно-вращательного и вращательно-ударного бурения. Расчет основных параметров бурильных машин.
Бурильные установки.
Буровые станки для подземного бурения.
Определение производительности и эффективности бурильных установок и буровых станков.

Тема 5: Машины для зарядки.
Машины для зарядки. Классификация, назначение и структурные схемы зарядных машин. Принципиальные схемы и конструктивные особенности зарядных машин. Расчет основных параметров зарядных машин. Определение производительности и эффективности зарядных машин.

Тема 6: Погрузочно-транспортные машины.
Погрузочно-транспортные машины. Классификация, назначение и структурные схемы погрузочных и погрузочно-транспортных машин. Определение оптимальных параметров погрузочных и погрузочно-транспортных машин. Конструктивные особенности и основные расчетные характеристики погрузочных и погрузочно-транспортных машин.

Тема 7: Машины для крепления выработок.

Машины для крепления выработок. Принципиальные схемы и конструктивные особенности машин для крепления выработок. Расчет основных параметров машин для крепления выработок. Определение производительности и эффективности машин для крепления выработок.

Тема 8: Горные комбайны и комплексы.

Горные комбайны и комплексы. Классификация, назначение и структурные схемы горных комбайнов и комплексов. Конструктивные особенности и основные расчетные характеристики горных комбайнов и комплексов.

Тема 9: Выемочно-транспортирующие машины.

Выемочно-транспортирующие машины (ВТМ). Классификация и назначение ВТМ. Конструктивные особенности бульдозеров, скреперов. Расчет основных параметров ВТМ.

Практико-ориентированные задания при выполнении практических работ:

1. Описать конструкцию перфоратора (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
2. Описать конструкцию пневмоударника (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
3. Описать конструкцию бурового (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
4. Описать конструкцию буровой установки (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
5. Описать конструкцию погрузочной машины (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
6. Описать конструкцию погрузочно-транспортной машины (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
7. Описать конструкцию бурового станка для подземных работ (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
8. Описать конструкцию проходческого комбайна (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
9. Описать конструкцию очистного комплекса (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
10. Описать конструкцию ВТМ (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.
11. Описать конструкцию машины для крепления выработки (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры.

12. Описать конструкцию зарядной машины (по предложенному рисунку): условия применения, принцип работы, элементы конструкции. Зарисовать схематично. Расставить режимные параметры

3. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Оценивание практических работ проводится дифференцированно (по пятибалльной системе) и при определении оценок за семестр рассматривается как один из основных показателей текущего учета знаний.

Вопросы для опроса:

1. Оборудование для крепления выработок.
2. Механизация возведения сборной, анкерной, набрызгбетонной и бетонной монолитной крепи.
3. Механизированные гидравлические крепи.
4. Очистные комбайны. Конструкции комбайнов для наклонных и крутонаклонных пластов. Технические характеристики комбайнов.
5. Очистные комплексы и агрегаты. Увязка параметров машин комплекса и агрегата.
6. Проходческие и нарезные комбайны. Определение производительности проходческих и нарезных комбайнов.
7. Управление комплексами и агрегатами в профиле пласта.
8. Системы перемещения очистных и проходческих машин. Конструкции органов перемещения.
9. Устойчивость горных машин. Устойчивость секций механизированных крепей.
10. Автоматизация горных машин. Программное и дистанционное управление.
11. Проходческие комбайны
12. Классификация и требования, предъявляемые к проходческим комбайнам
13. Стреловые проходческие комбайны
14. Буровые проходческие комбайны для проведения горизонтальных выработок
15. Буровые комбайны для проведения наклонных и вертикальных выработок
16. Нарезные комбайны
17. Тенденции развития горнопроходческих комбайнов
18. Очистные комбайны
19. Классификация и требования, предъявляемые к очистным комбайнам
20. Конструкции и компоновка очистных комбайнов
21. Перспективы совершенствования очистных комбайнов
22. Оборудование для крепления и управления кровлей в очистном забое
23. Классификация и требования, предъявляемые к механизированным крепям
24. Конструкции механизированных гидравлических крепей для лав
25. Современные тенденции развития механизированных крепей
26. Очистные и проходческие комплексы и агрегаты
27. Классификация очистных и проходческих комплексов
28. Компоновочные схемы очистных комплексов и агрегатов
29. Выбор оборудования и согласование режимных параметров
30. Схемы работы очистных комплексов (агрегатов) и автоматизация их управления функциональных машин очистных комплексов и агрегатов

31. Комплекты, комплексы и агрегаты для проведения подготовительных выработок
32. Оборудование для возведения крепи из сборных элементов
33. Комбайновые комплексы для проведения подготовительных выработок

Критерии оценивания: полнота и правильность ответа на вопрос, наличие вывода, соблюдение нормы литературной речи, владение профессиональной лексикой. Каждый показатель – 1 балл

Критерии оценки:

Ответ правильный, всесторонне и глубоко освещает предложенный вопрос, показывает умение студента делать выводы, соблюдать нормы литературной речи, владение профессиональной лексикой (полный и правильный ответ) – 4 балла.

Ответ отвечает основным предъявляемым требованиям - студент обстоятельно владеет материалом, показывает умение делать выводы, соблюдать нормы литературной речи, владение профессиональной лексикой, однако не на все вопросы дает глубокие, исчерпывающие и аргументированные ответы (неточный, правильный ответ) – 3 балла.

Ответ неполно раскрывает поставленные вопросы, студент поверхностно отвечает на вопросы, допускает существенные недочеты - затрудняется делать выводы, использовать нормы литературной речи, профессиональной лексики (неточный и неполный ответ) – 2 балла.

Ответы на вопросы неправильны или не отличаются аргументированностью. Студент не показывает необходимых минимальных знаний, бытовая речь, неумение делать выводы, а также, если студент отказывается отвечать (неправильный ответ, отказ от ответа) – 1 балл.

Два и более существенных дополнения к ответу – 3 балла.

Одно существенное дополнение к ответу на вопрос – 1 балл

Правила оценивания:

оценка «отлично» выставляется, если обучающийся получил за ответы 6-7 баллов;

оценка «хорошо» выставляется, если обучающийся получил за ответы 4-5 баллов;

оценка «удовлетворительно» выставляется, если обучающийся получил за ответы 3 балла;

оценка «неудовлетворительно» выставляется, если обучающийся получил за ответы 0-2 балла.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Горные машины для подземной разработки месторождений полезных ископаемых**: учебное пособие / Н. М. Суслов, А. П. Комиссаров; Министерство образования и науки РФ, Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: УГГУ, 2017. - 155 с. : ил. - Библиогр.: с. 151-154. - **ISBN** 978-5-8019-0416-0
2. Тургель Д.К. Горные машины и оборудование подземных разработок: учебное пособие / Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: УГГУ, 2007. - 302 с. : ил. - Библиогр.: с. 298-299.
3. Иванов И.Ю. Рабочий инструмент горных машин: методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Горные машины и оборудование подземных горных работ" для студентов специальности 21.05.04 - "Горное дело" специализации "Горные машины и оборудование" очного и заочного обучения / И. Ю. Иванов. - Екатеринбург: УГГУ, 2018. - 23 с.: рис., табл. - Библиогр.: с. 22.
4. Иванов И.Ю. Погрузочно-доставочные машины: методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Горные машины и оборудование подземных горных работ" для студентов специальности 21.05.04 - "Горное дело" спе-

циализации "Горные машины и оборудование" очного и заочного обучения / И. Ю. Иванов. - Екатеринбург: УГГУ, 2018. - 22 с.: рис., табл. - Библиогр.: с. 21.
5. Комплексы для проходки восстающих выработок: методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Горные машины и оборудование подземных горных работ" для студентов специальности 21.05.04 - "Горное дело" специализации "Горные машины и оборудование" очного и заочного обучения / И. Ю. Иванов. - Екатеринбург: УГГУ, 2018. - 23 с. : ил. - Библиогр.: с. 22.
6. Комиссаров А.П., Суслов Н.М., Тургель Д.К. Горные машины для разработки рудных месторождений: учеб. пособие / Уральская гос. горно-геологическая академия. - Екатеринбург: УГГГА, 1994. - 108 с. : ил. - Библиогр.: с. 105.
7. Очистные комбайны/ Мутыгуллин А.В. [и др.]. – Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр»: 2014. – 576 с. http://library.gorobr.ru/catalog/gornoe-delo?view=content&id=30060

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Учебное пособие
по дисциплинам: «Стационарные машины», «Горные машины и оборудование», «Грузоподъемные машины и механизмы», «Насосы и компрессоры»
для выполнения контрольных и расчетно-графических работ
студентов направлений:
специалитета 21.05.04 – Горное дело,
бакалавриата 15.03.02 – Технологические машины и оборудование
всех форм обучения

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета УГГУ
«19» апреля 2019 г.
Председатель комиссии
_проф. В. П.Барановский

СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Учебное пособие
по дисциплинам: «Стационарные машины», «Горные машины и оборудование», «Грузоподъемные машины и механизмы», «Насосы и компрессоры» для выполнения контрольных и расчетно-графических работ студентов направлений: специалитета 21.05.04 – Горное дело, бакалавриата 15.03.02 – Технологические машины и оборудование
всех форм обучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

С78

Рецензенты: Дмитриев В. Т., д-р техн. наук, профессор кафедры эксплуатации горного оборудования Уральского государственного горного университета

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры горной механики 18 апреля 2019 г. (протокол № 179) и рекомендовано для издания в УГГУ

С78 СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ: учебное пособие по дисциплинам: «Стационарные машины», «Горные машины и оборудование», «Грузоподъемные машины и механизмы», «Насосы и компрессоры» для выполнения контрольных и расчетно-графических работ студентов направлений: специалитета 21.05.04 – «Горное дело», бакалавриата 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения / С. В. Белов, В. Я. Потапов, А. В. Долганов, П. А. Костюк. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 165 с.
ISBN 978-5-8019-0406-1

Учебное пособие содержит необходимые материалы для решения различных задач по дисциплинам «Стационарные машины», «Горные машины и оборудование», «Грузоподъемные машины и механизмы», «Насосы и компрессоры» и выполнения контрольных и расчетно-графических работ.

Учебное пособие может быть использовано также студентами других специальностей УГГУ очного и заочного обучения при выполнении аналогичных работ.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: специалитета 21.05.04 – Горное дело и бакалавриата 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения.

ISBN 978-5-8019-0406-1

© Уральский государственный горный университет, 2019
© Белов С. В., Потапов В. Я., Долганов, А. В., Костюк П. А., 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Коренная перестройка системы образования выдвигает на первый план усиление самостоятельной работы учащихся.

Хорошее знание теории, конструкции машин не может быть гарантией правильного решения многих практических вопросов. Решение задач по горной механике в значительной степени восполняет такой пробел, поэтому при изучении специальных дисциплин в технических учебных заведениях этому виду учебной работы придается большое значение. Он способствует формированию материалистического мировоззрения, лучшему пониманию теории, установлению связи ее с практикой, расширяет эрудицию, развивает логическое мышление, стремление к преодолению трудностей, вырабатывает культуру труда.

Развитие этого направления в обучении требует создания соответствующей учебной литературы. В предлагаемом учебном пособии приведены задачи по основным разделам горной механики — предмета, изучающего сложные, дорогостоящие и энергоемкие вентиляторные, водоотливные, пневматические и подъемные установки, без которых невозможна добыча полезных ископаемых.

Учебное пособие позволит повысить уровень теоретической и профессиональной подготовки будущих специалистов.

ГЛАВА ПЕРВАЯ ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ И ВОДООТЛИВНЫЕ УСТАНОВКИ

1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТУРБОМАШИН

Примеры расчета

1.1. Определить напор насоса при его подаче Q = 125 м^3/ч и к.п.д, трубопровода, если геометрическая высота подачи $H_г$ = 420м; коэффициент гидравлических сопротивлений $\xi_с$ = 176, диаметр трубопровода d = 150 мм. Построить характеристику трубопровода.

Решение. Сопротивление сети (трубопровода)

$$R = \frac{1+\xi_c}{2gF^2} \qquad (1.1)$$

где g = 9,81 м/с^2 — ускорение свободного падения; $F = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь поперечного сечения внешней сети, м^2.

Подставляя заданные значения, получим:

$$R = \frac{1 + 176}{2 \cdot 9{,}81\left(\frac{\pi 0{,}15^2}{4}\right)} = 28920$$

.

Напор турбомашины (м)

$$H = H_r + RQ^2, \qquad (1.2)$$

т.е.

$$H = 420 + 28920\left(\frac{125}{3600}\right)^2 = 454{,}9$$

При $H_г$ = 0

$$H = RQ^2 \; ; \; p = RQ^{2\,1} \qquad (1.3)$$

К.п.д. трубопровода

$$\eta_т = H_r/H \qquad (1.4)$$

т.е. $\eta_т = 420/454{,}9 = 0{,}92$

Уравнение характеристики трубопровода по формуле (1.2) :

---

[1] Формула применяется для расчетов вентиляционных установок. Здесь р- давление воздуха вентиляционной сети.

$$H = 420 + 28920Q^2$$

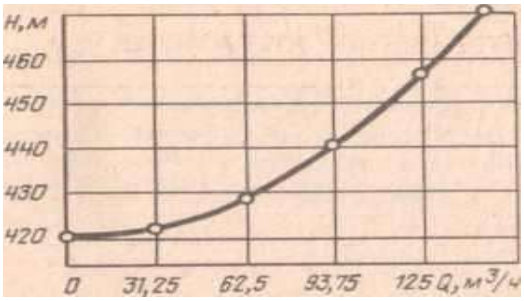


Рис. 1.1. Характеристика трубопровода (к примеру 1.1)

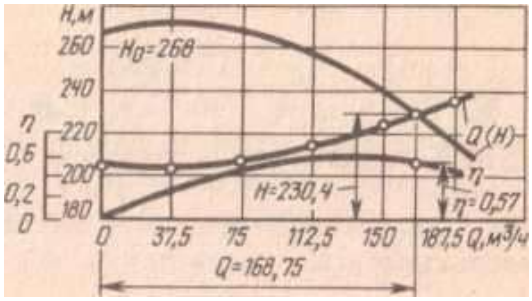


Рис. 1.2. Характеристики насоса и трубопровода (к примеру 1.2)

В полученное выражение подставляем значения Q от 0 до 1,25 требуемой подачи и получаем соответствующие значения.

Задаваемые значения	O	0,25Q	0,50	0,750	Q1,250
Q,м^3/ч.....	O	31,25	62,5	93,75	125 156,25
Qм^3/с.....	O	0,00868	0,01736	0,02604	0,03472 0,04340
H,м	420	422,2	428,7	439,6	454,9 474,5

По полученным данным строим характеристику трубопровода (рис. 1.1).

1.2. Определить рабочий режим насоса, характеристика которого приведена на рис. 1.2, если H = 225 м; Q = 150 м^3/ч и $H_г$ = 205 м. Построить характеристику трубопровода.

Решение. Сопротивление сети (трубопровода) определяем из формулы (1.2) :

$$R = \frac{H - H_r}{Q^2} = \frac{225 - 205}{(150/3600)^2} = 11520$$

Уравнение характеристики трубопровода принимает вид:

$$H = 205 + 11520Q^2$$

Ниже приведены результаты вычислений по этому уравнению.

Задаваемые значения...	0	0,25Q	0.5Q	0.75Q	Q	1.25Q
Q, м^3/ч…….	0	37,5	75	112,5	150	187,5
Q, м^3/с…….	0	0,0104	0,0208	0,0312	0,0417	0,0521
H, м…….	205	206,25	210,2	216,2	225	236,3

По полученным данным строим характеристику трубопровода в том же масштабе, что и характеристика насоса (см. рис. 1.2).

В точке пересечения характеристик получим: Q =168,75 м^3/ч; H = 230,4 м^2; η = 0,57.

Для обеспечения устойчивого режима работы необходимо условие:

$$H_r/H_o \leq 0{,}9 \div 0{,}95 \qquad (1.5)$$

В данном случае 205/268=0,765; что соответствует условию.

1.3. Определить мощность двигателя вентилятора в рабочем режиме, если его подача Q = 36,5 м^3/с; давление p = 1450 Па; η = 0,72. Вал вентилятора непосредственно соединен с валом двигателя, к.п.д. передачи от вала двигателя к валу вентилятора $\eta_п$ = 1.

$$N = \frac{Q_p}{1000\eta\eta_n} \qquad (1.6)$$

т.е

$$N = \frac{35{,}5 \cdot 1450}{1000 \cdot 0{,}72} = 73{,}5\text{кВт},$$

1.4. Определить мощность двигателя насоса в рабочем режиме, если его подача Q = 70 м^3/ч; H = 220 м; плотность воды ρ= 1000 кг/м^3 ; η = 0,68. Вал насоса непосредственно соединен с валом двигателя.

Решение. Мощность двигателя (кВт) насоса

$$N = \frac{Q\rho gH}{1000\eta\eta_П}, \qquad (1.7)$$

где $\eta_п$ = 1 — к.п.д. передачи от вала двигателя к валу насоса, отсюда

$$N = \frac{70 \cdot 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 220}{3600 \cdot 1000 \cdot 0{,}68} = 61{,}7\text{кВт}. \qquad 1.$$

1.5. Определить, как изменяются подача насоса, напор и мощность, если R = const, а частота вращения рабочего колеса увеличится с n_1 = 400 об/мин до n_2 = 440 об/мин.

---

[2]Графическое определение Н можно проверить, подставив полученное значение Q в уравнение Н =205 + 11520Q^2. Такую же проверку производят для задач для задач 1.5 - 1.8.

Решение. Подача насоса прямо пропорциональна частоте вращения ее в первой степени

$$Q_1/Q_2, = n_1/n_2. \quad (1.8)$$

На основании этого подача увеличится в Q_2/Q_1 = 440/400 = 1,1 раза, или на 10 %.

Напор насоса прямо пропорционален частоте вращения ее во второй степени:

$$H_1/H_2 = (n_1 h_2)^2. \quad (1.9)$$

В связи с этим напор увеличится в H_2/H_1 — $440^2/400^2$ = 1,21 раза, или на 21 %.

Мощность насоса прямо пропорциональна частоте вращения ее в третьей степени:

$$N_1/N_2 = (n_1/n_2)^3, \quad (1.10)$$

следовательно, мощность увеличится в $N_2/N_1 = 440^3/400^3$ = 1,33 раза, или на 33 %.

Задачи.

1.1. Определить давление воздуха в вентиляционной сети и построить ее характеристику, если R = 0,144; Q = 1800 м^3 /мин.

1.2. Определить давление воздуха в вентиляционной сети и построить ее характеристику, если Q = 2200 м^3/мин; R = 1,26.

1.3. Определить напор насоса и к.п.д. трубопровода, если Q = 70 м^3/ч; $H_г$ = 170 м; ξ =69,4; d = 125 мм. Построить характеристику сети.

1.4. Определить напор насоса и к.п.д. трубопровода, если Q = 150 м^3/ч; $H_г$= 255м; ξе = 79,6; d= 150 мм. Построить характеристику сети.

1.5. Определить расход воды в трубопроводе, если H = 258 м; $H_г$. = 245 м; $\xi_с$= 87,4; d = 250 мм.

1.6. Определить диаметр трубопровода, если H = 350 м; $H_г$ = 330м; Q=250 м^3/ч; ξ=7,04.

1.7. Определить геометрическую высоту подачи, если

H = 255 м; ξ_c = 85; скорость жидкости в трубопроводе $V_т$ = 2 м/с.

1.8. Определить сопротивление вентиляционной сети, если ρ = 400 Па; Q = 3000 м^3/мин.

1.9. Определить сопротивление трубопровода, если H = 203 м; η =0,916; Q = 250 м^3/ч.

1.10. Определить коэффициент сопротивлений в трубопроводе, если H = 165 м; η = 0,95; Q = 200м^3/ч; $V_т$=1,55 м/с.

1.11. Построить характеристику вентиляционной сети, если ρ = 860 Па; Q = 1750 м^3/мин.

1.12. Построить характеристику трубопровода насоса, если H = 200 м; $H_г$ = 186 м; R = 26700.

1.13. Построить характеристику трубопровода насоса, если H = 200 м; η = 0,92; Q = 50 м^3/ч.

1.14. Определить рабочий режим насоса, характеристика которого приведена на рис. 1.3, если в сети $H_г$ = 292 м; Q = 300 м^3/ч; H= 272 м.

1.15. Определить рабочий режим насоса, характеристика которого приведена на рис. 1.3, если в сети H = 295 м; Q = 270 м^3/ч; $H_г$ = 260 м.

1.16. Определить рабочий режим насоса, характеристика которого приведена на рис. 1.4, если в сети H = 190 м; Q — 65 м^3/ч; $H_г$ = 160 м.

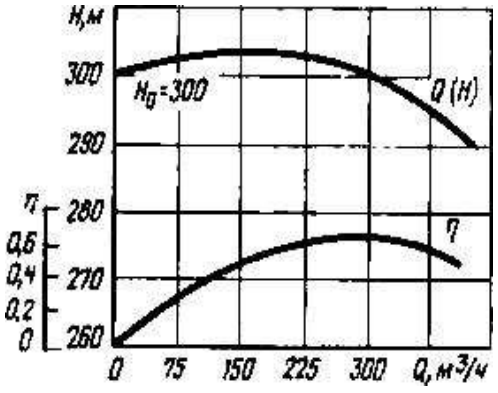


Рис. 1.3. Характеристика насоса (к задачам 1.14 и 1.15)

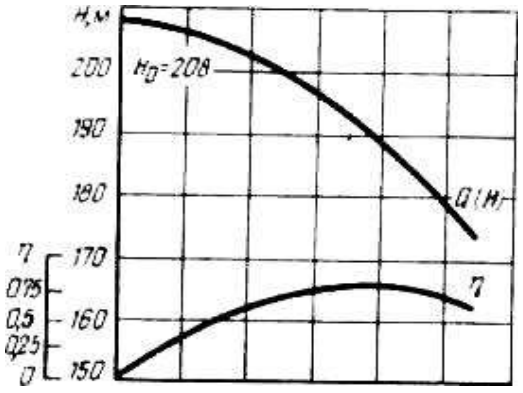


Рис* 1,4. Характеристика насоса (к задачам 1.16 и 1.17)

1.17. Определить рабочий режим насоса, характеристика которого приведена на рис. 1.4, если в сети H = 180 м; Q = 70 м^3/ч; $H_г$ =165 м.

1.18. Определить мощность двигателя вентилятора, если Q = 18 м^3/с;

p = 800 Па; η = 0,6. Вал вентилятора непосредственно соединен с валом двигателя.

1.19. Определить мощность двигателя вентилятора, если Q = 20м^3/с; ρ = 1400 Па; η = 0,57. Вал вентилятора непосредственно соединен с валом двигателя.

1.20. Определить мощность двигателя насоса, если Q = 300 м^3/ч; ρ= 1000 кг/м^3; H = 410 м; η = 0,69. Вал насоса непосредственно соединен с валом двигателя.

1.21. Определить мощность двигателя насоса, если Q = 100 м^3/ч; ρ = 1050 кг/м^3; H= 240 м; η = 0,62; $\eta_п$ = 0,9.

1.22. Определить подачу, давление и мощность при частоте вращения рабочего колеса вентилятора n_2 = 700 об/мин, если при n = 1000 об/мин:

Q, = 50 м^3/с; p_1= 2100 Па; N_1 = 180 кВт; R= const.

1.23. Определить частоту вращения колеса турбомашины, соответствующую подаче Q_2 = 60 м^3/ч; если при n_1= 1450 об/мин: Q_1 = = 50 м^3/ч; R = const.

1.24. Определить частоту вращения колеса вентилятора, соответствующую давлению p_2 = 3500 Па, если при n_1= 750 об/мин: p_1 = 3300 Па, R = const.

1.25. Определить частоту вращения колеса вентилятора, соответствующую мощности N_2 = 85 кВт, если при n_1 = 960 об/мин: N_1 = = 65 кВт; R = const.

1.26. Определить, как изменяется давление, создаваемое вентилятором, и мощность, если подача возрастет на 35 % при R = const.

1.27. Определить, как изменяется подача и давление вентилятора, если потребляемая мощность увеличится в 1,5 раза, R = const.

1.28.Определить давление, создаваемое вентилятором, и мощность при Q_2= 3800 м^3/мин, если при Q_1 = 3200 м^3/мин: p_1 = 1600 Па; N=155 кВт; R = const.

1.29.Определить давление вентилятора и мощность при Q_2 = 80 м^3/с,

если при p_1 = 1450 Па: N_1 = 240 кВт; $Q1$ =100 м^3/с; R = const

2.ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

§ 1. ВЫБОР И РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК

Пример расчета 1.6. Рассчитать вентиляторную установку для шахты первой категории по газовому режиму. Требуемая подача установки Q= 300 м^3/с, минимальное давление $P_{\text{s v min}}$= 130 даПа, максимальное $P_{\max}$ = 250 даПа. Срок службы установки — 15 лет.

Решение. 1. Выбор наивыгоднейшей установки. С экономической точки зрения для заданных условий наиболее эффективна вентиляторная установка с минимальными приведенными среднегодовыми затратами (р.)

$$C = C_{\text{з}}C_{\text{а}}C_{\text{р}}C_{\text{з}}\text{C}_{\text{м}} + \text{EC}_{\text{у}}. \qquad (1.13)$$

где $C_э$ — среднегодовая стоимость электроэнергии; C_a — амортизационные отчисления по вентиляторной установке; $C_р$ — годовые затраты на ремонты, ревизии и наладки; $C_з$ — заработная плата обслуживающего персонала с доплатами и начислениями; $C_м$, $C_у$ — стоимость соответственно материалов и вентиляторной установки; E = 0,15 — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в угольной промышленности.

Затраты $C_{\text{р}}$, $C_з$ и $C_{\text{м}}$ незначительны по сравнению с капитальными затратами и стоимостью электроэнергии. Кроме того, разница затрат для сравниваемых установок столь мала, что их можно считать одинаковыми. Таким образом,

$$\text{C} = \text{C}_{\text{з}}\text{C}_{\text{а}}\text{EC}_{\text{у}} \qquad (1.14)$$

Среднегодовую стоимость (р.) электроэнергии определяем по двухставочному тарифу — за израсходованную активную энергию и установленную мощность.

Годовую сумму амортизационных отчислений находим по стоимости оборудования согласно номенклатурным справочникам. Стоимость зданий и

строительных сооружений определяем по сметам типовых проектов строительства вентиляторных установок. Нормы амортизационных отчислений: для зданий и строительных сооружений — 3,1 %; электропривода — 8,1 %; пускорегулирующей аппаратуры -- 19,8 %; механического оборудования — 12,1%; аппаратуры автоматизации — 19,9%. Стоимость монтажа составляет ориентировочно 14 % стоимости оборудования.

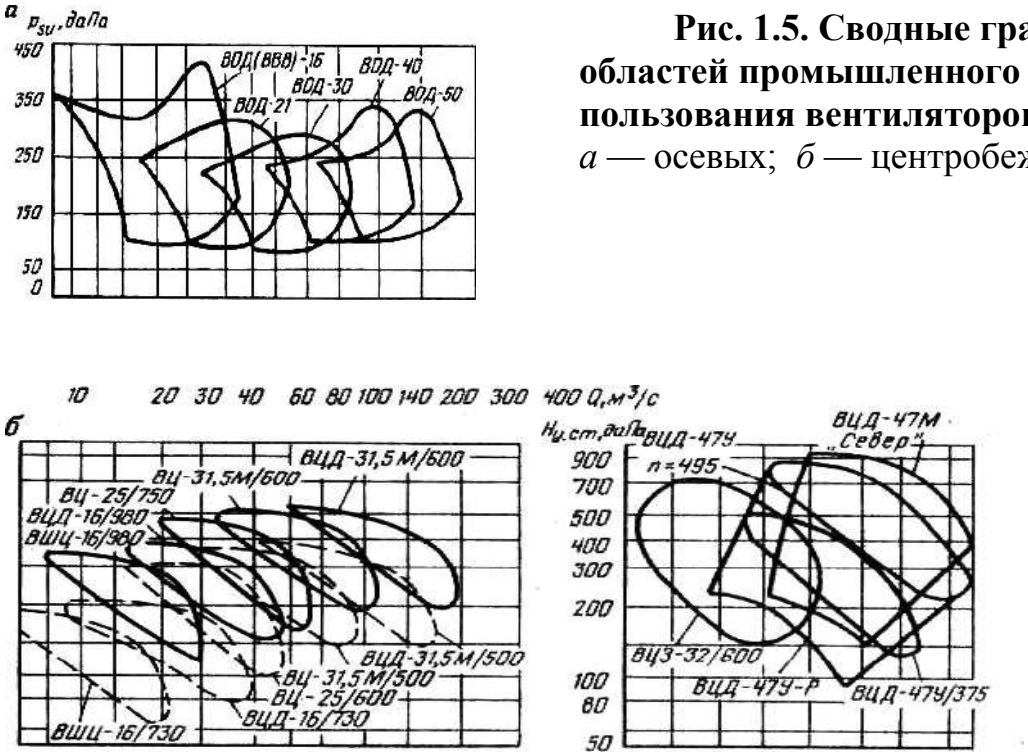


Рис. 1.5. Сводные графики областей промышленного использования вентиляторов: *а* — осевых; *б* — центробежных

Наносим точки (Q; $P_{sv\ min}$)и (Q; $P_{\text{sv max}}$) на сводные графики $Q= f(p_{\text{sv}})$ областей промышленного использования вентиляторных установок (рис. 1.5), по которым находим, что в заданных условиях проветривание шахты могут обеспечить вентиляторные установки ВОД-40 и ВОД-50.

Рассчитаем среднегодовые приведенные затраты по этим установкам.

По аэродинамическим характеристикам установок определяем к.п.д. и мощность двигателя при $P_{sv\ min}$ и $P_{\text{sv max}}$

Для установки ВОД-40: $\eta_{sv\,\text{min}}$=0,63 $\eta_{\text{sv max}}$=0,67; $\eta_{sv\,ср}$=0,695; N=950 кВт;

Для установки ВОД-50: $\eta_{sv\,\text{min}}$= 0,67; $\eta_{\text{sv max}}$=0,78; $\eta_{\text{sv ср}}$=0.72; N=950 кВт.

Ориентировочно для установки ВОД-40 принимаем электродвигатель СДН 16-41-16 мощностью 1000 кВт; n= 375 об/мин; $\eta_{д}$ = 0,94; cos$\varphi_{д}$= 0,9 и для установки ВОД-50 — электродвигатель СДН 17-31-20 мощностью 1000 кВт; n = 300 об/мин; $\eta_{д}$ = 0,93; cos$\varphi_{д}$=0,9

Среднегодовой расход электроэнергии (кВт* ч) вентиляторной установкой за определенный период эксплуатации

$$W_r = \frac{Q_{ср} p_{ср}}{1000 \eta_{ср} \eta_{п} \eta_{д} \eta_{с} \eta_{р}} \qquad (1.15)$$

где $Q_{СР}$= (Q_{MAX}+ Q_{MIN}) /2 - среднее значение подачи, м^3 /с; $P_{ср}^{=}$ = (p_{max} + p_{min})/2— среднее значение давления, Па; $\eta_{ср}$- средний к.п.д вентиляторной установки в течение расчетного периода эксплуатации; $\eta_{п}$= 0,9…0,95; $\eta_{д}$= 0,85….0,95; $\eta_{с}$= 0,95… 0,98 — к.п.д. соответственно передачи от двигателя к вентилятору (если она применяется), двигателя и электрической сети; $\eta_{р}$=0,8…0,9 — к.п.д. регулирования, учитывающий связанные с ним затраты энергии; $\eta_{ч}$ и $\eta_{д}$— число соответственно часов работы вентилятора в сутки и дней его работы в году.

Для вентиляторной установки ВОД-40

$$W_{1r} = \frac{300(1300 + 2500)}{(1000 \cdot 0{,}695 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}8)^2} 24 \cdot 365 = 10056300 \text{кВт} \cdot \text{ч}.$$

Аналогично для установки ВОД-50$W_{2г}^{2}$= 9811800 кВт·ч.

Среднегодовая стоимость электроэнергии (р.)

$$С_{э} = W_r k_a + N_y k_y \ , \qquad (1.16)$$

где k_a = 0,01 р. и $к$ = 36 р. — стоимость соответственно 1 кВт*ч и годовая 1 кВА.

Установленная мощность (кВ·А) двигателя

$$N_y = N/(n_{д} \cos \varphi_{д}). \qquad (1.17)$$

Для установки ВОД-40:

$N_{1y} = 100/0{,}94 \cdot 0{,}9 = 1182$ кВт·А ;

$С_{1Э} = 10056300 \cdot 0{,}01 + 1182 \cdot 36 = 114120$ р.

Аналогично для установки ВОД-50 : N_{2y}= 1195 кВа; $C_{2Э}$ = 141138 руб.

Ниже приведены результаты расчета капитальных затрат и амортизационных отчислений для установок.

Тип установки……	ВОД-40	ВОД-50
Стоимость, тыс. р.:		
оборудования и монтажа……..	167,8	195,4
зданий и сооружений…….....	286	386
установки (общие капитальные затраты)	453,8	581,4
Годовые амортизационные отчисления, тыс. р.:		
по оборудованию…….....	20,1	23,4
по зданиям и сооружениям…….....	8,9	12
Суммарные амортизационные отчисления, тыс. р……	29	35

Среднегодовые затраты по формуле (1.14) для установок ВОД-40 и ВОД-50 соответственно:

$$C_1 = C_{1э}C_{1а}EC_{1у} = 144120 + 2900 + 0{,}15 \cdot 453800 = 241190 \text{ р.}$$

$$C_2 = 141138 + 3500 + 0{,}581400 = 263348 \text{ р.}$$

Таким образом, установка ВОД-40 экономичнее установки ВОД-50, так как среднегодовые затраты при ее применении меньше на 22158 р.

Окончательно принимаем установку с двумя вентиляторами ВОД-40 при частоте вращения n= 375 об/мин.

2.Регулирование рабочих режимов вентилятора осуществляется изменением углов установки лопастей на рабочих колесах.

3. Характеристики вентиляционной сети. При минимальном и максимальном давлениях сопротивление сети согласно второй из формул (1.3) соответственно:

$$R_{min} = p_{sv\,min}/Q^2 = 1300/300^2 = 0.0145;$$

$$R_{\max} = p_{sv\max}/Q^2 = 2500/300^2 = 0.0278,$$

откуда уравнения характеристик сети:

$$p_{sv\,min} = 0{,}0145Q^2$$

$$p_{sv\,max} = 0{,}0278Q^2$$

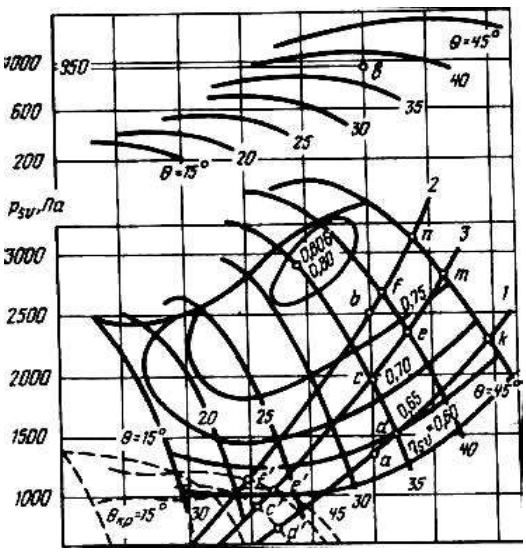


Рис. 1.6. Рабочие режимы вентилятора ВОД-40 (к примеру 1.6)

По этим уравнениям на аэродинамической характеристике вентиляторной установки ВОД-40 строим характеристики *1* и *2* (рис. 1.6) по точкам, рассчитанным для значений *Q* от 0 до 1,25 требуемой подачи:

Задаваемые значения	0.25*Q*	0,5*Q*	0,75 *G*,	*Q*	1.25*Q*
Q,м^3/с	75	150	225	300	375
^{p}sv min'Па	82	326	734	1300	2040
^{p}sv max' ^{Па}	156	625	1407	2500	3910

4. Определение рабочих режимов. Через точки *a* и *b* заданных режимов проводим прямую линию и находим режим с (Q_c = 300 м^3/с; p_c = 1950 Па; η_c = 0,72) как точку пересечения линии *ab*c характеристикой вентилятора, соответствующей углу установки лопастей на рабочих колесах θ_k= 35°, при котором начнется эксплуатация вентилятора (режим *d*). Таким образом, определились две ступени регулирования рабочих режимов: первая ступень — при значении угла установки лопастей, равном 35°, вторая — 40° (окончание работы — режим *f*).

Для построения дополнительной характеристики сети, проходящей через точку с, имеем:

$$R_c = p_c/Q_c = 1950/300^2 = 0{,}0217,$$

откуда p_c —0,0217 Q^2.

По этому уравнению строим характеристику *3* вентиляционной сети (рис. 1.6) по точкам, рассчитанным для следующих значений *Q:*

Задаваемые значения	0.25Q	0,5Q	0,75Q	*Q*	1.25Q
Q, м^3/с.....	75	150	225	300	375
P_c, Па	122	488	1098	1950	3052

Характеристика позволяет установить начальные и конечные рабочие режимы установки на ступенях регулирования.

На первой ступени регулирования угол установки лопастей рабочих колес θ = 35°. При этом в начале работы будет обеспечен режим *d*(Q_d= 320 м^3/с; p_d= 1500 Па; η_d= 0,65). При перемещении режима в точку с (режим *c)* установкой лопастей на угол θ_2 — 40° осуществляется переход на вторую ступень регулирования. Начальный режим на этой ступени — режим *e*(Q_e= 330 м^3/с; p_e= 2350 Па; η_e=0,74). Окончание работы на второй ступени регулирования — режим *f* (Q_f— = 310 м^3/с; p_f=2650 Па; η_f=0,77).

При общей продолжительности работы вентиляторной установки T = 15 лет и допущении линейности закона изменения $P_{sv\,min}$до $P_{sv\,max}$. устанавливаем продолжительность работы соответственно на первой и второй ступенях:

$$T_1 = T\frac{p_c - p_a}{p_f - p_a} = 15\frac{1950 - 1300}{2650 - 1300} = 7{,}2 \text{ года}$$

$$T_2 = T\frac{p_f - p_c}{p_f - p_a} = 15\frac{2650 - 1950}{2650 - 1300} = 7{,}8 \text{ года}$$

5. Резерв подачи вентилятора определяем режимами *к* (Q_k = 390 м^3/с; $p_к$ = 2300 Па) и *n* (Q_n = 335 м^3/с; p_n= 3150 Па) при характеристиках 1 и 2 вентиляционной сети и угле установки лопастей на рабочих колесах θ =45°:

$$\Delta Q_1 = \frac{Q_k - Q_a}{Q_a}100 = \frac{390 - 300}{300}100 = 30\%$$

$$\Delta Q_2 = 11{,}7\%$$

$\Delta Q_{ср}$= 20,85 %, что соответствует нормативному $\Delta Q \geq$20 %.

6. Реверсирование вентиляционной струи обеспечивается изменением направления вращения ротора вентилятора с одновременным поворотом лопаток промежуточного направляющего и спрямляющего аппаратов. При этом подача вентилятора в режимах *d', c', e'* и *f'* равна 225, 205, 220 и 200 м^3/с, что составляет соответственно 75, 68, 73 и 66 % заданной подачи *Q*= 300 м^3/с.

7. Выбор синхронных электродвигателей. Мощность двигателя на первой и второй ступенях регулирования в режимах с и л по формуле (1.6):

$$N_{min} = Q_c p_c / 1000 \eta_c = 300 \cdot 1950 / 1000 \cdot 0{,}72 = 812{,}5 \text{кВт}$$

аналогично N_{max}= 1370 кВт.

При переходе на вторую ступень регулирования предусматривается замена двигателя.

Технические данные выбранных электродвигателей приведены ниже.

Тип электродвигателя	СДН 16-41-16	СДН 17-39-1
Ступени регулирования……..	1	2
Мощность *N*,кВт (кВ А) …….	1000(1180)	1600(1880)
Частота вращения *n,* об/мин……..	375	375
К.п.д. η……..	0,94	0,9
cos *φ*……	0,9	0,9
Напряжение *U*,В……..	6000	6000
Коэффициент запаса мощности $\kappa_д$	1,23	1,17

Здесь $k_д = N / N_{\min(\max)}$ Для обоих электродвигателей $K_д$ соответствует рекомендуемому условию $K_д \geq 1{,}1$.

8. Среднегодовой расход электроэнергии определяем на основании формулы (1.15). На первой ступени регулирования в диапазоне режимов *d*и *c*:.

$$Q_{1ср} = (320 + 300)/2 = 310 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$p_{\text{ср}} = (1500 + 1950)/2 = 1725 \text{ Па}$$

$$\eta_{1\text{ср}} = (0{,}65 + 0{,}72)/2 = 0{,}685$$

Расход энергии:

$$W_r = \frac{Q_{1\text{ср}} p_{1\text{ср}} n_\text{ч} n_\text{д}}{1000 \eta_{1\text{ср}} \eta_\text{д} \eta_\text{с} \eta \ \ \eta_\text{р}} = \frac{310 \cdot 1725}{1000 \cdot 0{,}685 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}8} \cdot 24 \cdot 365 =$$

$$= 9570300 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Аналогично на второй ступени в диапазоне режимов *e* и *f*

$Q_{2\text{ср}} = (330 + 310)/2 = 320$ м^2/с

$p_{2\text{ср}} = (2350 - 2650)/2 = 2500$ Па

$\eta_{2\text{ср}} = (0{,}74 + 0{,}77)/2 = 0{,}755$ $\qquad W_r = 12908000$ кВт·ч

§2. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ВЕНТИЛЯТОРОВ НА ОБЩУЮ ВЕНТИЛЯЦИОННУЮ СЕТЬ. ЕСТЕСТВЕННАЯ ТЯГА.

Примеры расчета

1.7 Два одинаковых вентилятора ВОД-ЗО с частотой вращения *n*= 500 об/мин при угле установки лопастей на рабочих колесах θ= 35° расположены у одного ствола.

Определить рабочие режимы при их параллельной работе на общую вентиляционную сеть, а также каждого из вентиляторов при совместной и индивидуальной работе на эту сеть и прирост подачи при совместной работе относительно индивидуальной, если сопротивление сети *R* =0,01644.

Решение. Вычерчиваем характеристику *1* (рис. 1.7) вентилятора ВОД-ЗО с частотой вращения 500 об/мин при угле установки лопастей θ = 35°. Суммарную характеристику *2* получаем удвоением абсцисс характеристики *1* (при разных вентиляторах складываем абсциссы их характеристик). Незначительными сопротивлениями вентиляционных каналов *BC* и *BD* пренебрегаем.

По второму из уравнений (1.3) $p = 0{,}01644\ Q^2$. По этому уравнению строим характеристику *3* общего участка *AB* вентиляционной сети по точкам,

рассчитанным для следующих значений *Q:*

Q,м^3/с.....	100	200	300	400
p, Па	164	658	1480	2630

Точка *4* —режим совместной работы вентиляторов (*Q*=330 м^3/с; *p* = 225даПа; *η*= 0,75). Проведя горизонталь до характеристики 1, получим точку *5* —рабочий режим вентилятора при совместной работе на общую сеть (*$Q_в$*= 165 м^3/с; *$p_в$*=225 даПа; $\eta_в$= 0,75). Точка 6 - рабочий режим вентилятора при индивидуальной работе его на сеть с характеристикой *3* (*$O_{в1}$*= 190 м^3/с; *$P_{в1}$*= 108 даПа; *$\eta_{в1}$*= 0,55).

Прирост подачи при совместной работе относительно индивидуальной

$$Q_{\text{пр}} = Q - Q_{\text{в1}} = 330 - 190 = 140 \text{ м}^3/\text{с}$$

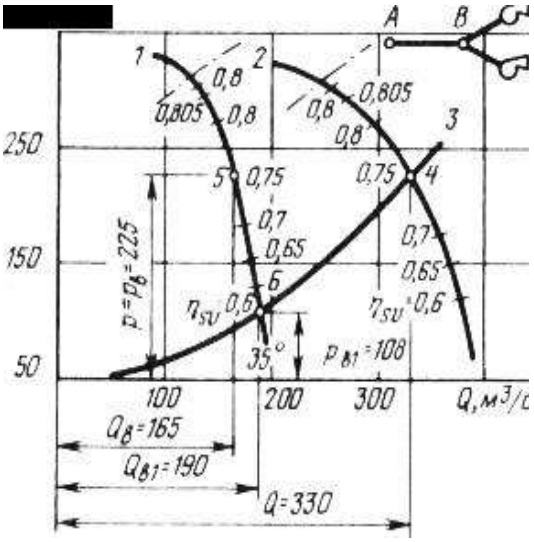


Рис. 1.7. Характристики вентилятора и участов сети (к примеру 1

1.8 По заданным характеристикам *1* и *2* (рис. 1.8) двух фланговых вентиляторов найти их рабочие режимы, если сопротивления участков сети *BC* и *BD* соответственно R_{BC}=0,181, R_{BD}= 0,0692, а общего участка R_{AB} =0,0208.

Решение. Характеристики участков вентиляционной сети по третьему из уравнений (1.3):

$$p_{\text{BC}} = 0{,}181\, Q^2$$

$$p_{\text{BD}} = 0{,}0692\, Q^2 \ ;$$

$$p_{\text{AB}} = 0{,}0208\, Q^2 \ .$$

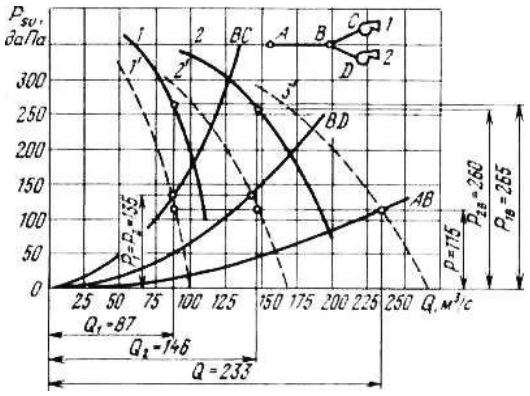


Рис. 1.8. Характеристики вентилятора и участков сети (к примеру 1.8)

По результатам расчетов, приведенным ниже, построены характеристики участков сети.

***Q*, м³/с**	0	25	50	75		100
p_{BC}, Па	0	113	453	1018		1810
P_{BD}	0	43	173	389		692
p_{AB}, Па	0	13	52	117		208
***Q*, м³/с**	125	150	175	200	225	250
p_{BC}, Па	2828	4073	-	-	-	-
p_{BD}, Па	1081	1557	2119	2768	—	—
p_{AB}, Па	325	468	637	832	1053	1300

Вычитая ординаты характеристик участков *BC* и *BD* соответственно из ординат характеристик *1* и 2 вентиляторов, получаем приведенные к точке *B* характеристики 1' и *2'* вентиляторов.

Для нахождения суммарной характеристики *3* складываем абсциссы характеристик 1’ и 2′

На пересечении характеристики общего участка *AB* сети с характеристикой *3’* определим подачу воздуха (*Q*= 233 м³/с) и давление (*p* = 115 даПа) на участке *AB.* Вспомогательными построениями находим подачу воздуха и давление на участках: *BC* — Q_1=87 м³/с; p_1= 135 даПа; *BO*- Q_2=146 м³/с; p_2 =135 даПа; давление, создаваемое вентиляторами ,p_y= 265 даПа; $P_{2в}$ =260 даПа.

1.9. С учетом влияния положительной естественной тяги p_e= = 60 даПа определить рабочий режим вентилятора, имеющего характеристику *1*(рис. 1.9). *R*= 0,234.

Решение. Проводим линию 2 положительной естественной тяги р = 60

даПа. Суммируя ординаты характеристик 7 и 2, получим линию *3*— характеристику вентилятора с учетом влияния на его работу естественной тяги.

При отрицательной естественной тяге из ординат - характеристики *1* вычитаем ординаты линии 2.

Уравнение характеристики сети по второму из уравнений (1.3) принимает вид:

$$P = 0{,}234Q^2.$$

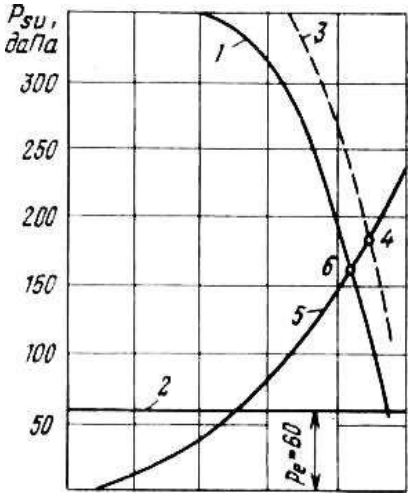


Рис. 1.9. Характеристики вентилятора и внешней сети (к примеру 1.9)

По результатам расчетов, приведенным ниже, строим характеристику *5* внешней сети.

Q_1,м^3/с…….	0	20	40	60	80	100
Р, Па……	0	94	374	842	1498	2340

Получаем рабочий режим *4* с параметрами Q_4 = 88 м^3/с; p_4 = 183 даПа. Без влияния естественной тяги вентилятор имеет режим *6:* Q_5=84м^3/с; p_5 =160даПа.

§3. ВЕНТИЛЯТОРЫ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Пример расчета 1.10. Для проветривания выработки длиной L = 1800 м необходимо выбрать вентилятор местного проветривания. Подача воздуха у забоя Q_0= 5 м^3/с. Трубы гибкие диаметром d = 0,9 м.

Решение. Для обеспечения гарантированной подачи воздуха у забоя определяем коэффициенты резервирования подачи k_o и давления $к_р$*:*

$$k_Q = e^{kt/d} \qquad (1.18)$$

$$k_p = \frac{k_Q^2 - 1}{2 \ln k_Q} \qquad (1.19)$$

где e — основание натурального логарифма; k — коэффициент, учитывающий аэродинамическое сопротивление и герметичность трубопровода (см. табл. 1.1); L —длина труб, м; d--диаметр труб, м.

По формулам (1.18) и (1.19)

$$k_Q = 2{,}719 \frac{3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 1800}{0{,}9} = 1{,}86$$

$$k_p = \frac{1.86^2 - 1}{2 \ln 1{,}86} = 1{,}98$$

Таблица 1.1

Диаметр труб, м	Коэффициент 10^4	Сопротивление трубопровода с трубами		Диаметр труб, м	Коэффициент $. к\ 10^4$	Сопротивление трубопровода с трубами	
		жесткими	гибкими			жесткими	гибкими
0.3	10,2	13,0	11,7	0,8	3,5	0,0749	0,0674
0,4	7,4	2,87	2,58	0,9	3,1	0,0404	0,0364
0,5	5,8	0,885	0,796	1,0	2,8	0,0233	0,021
0,6	4,8	0,339	0,305	1.1	2,5	0,014	0,0127
0,7	4,05	1,161	1,144	1,2	2,3	0,009	0,0081

Подача вентилятора

$$Q = k_Q Q_0 \qquad (1.20)$$

или

$Q = 1.86 \cdot 5 = 9.3$ м^3/с = 558 м^3/мин

Давление (Па), создаваемое вентилятором,

$$p = k_p R I Q_0^2 , \qquad (1.21)$$

где R— сопротивление трубопровода, зависящее от материала и диаметра труб, качества сборки трубопровода (см. табл. 1.6). Подставляя заданные значения, получим:

$p = 1{,}98 \cdot 0{,}0364 \cdot 1800 \cdot 5^2 = 3243$ Па

По аэродинамическим характеристикам вентиляторов местного про-

ветривания находим, что рабочий режим с Q=558 м^3/мин и p=324 даПа могут обеспечить вентиляторы:ВМ-8М (угол установки направляющего аппарата $\theta_{н\ a}$ =0°:η= 0,75; N= 35 кВт) и ВЦ-7 (угол установки закрылков б$_з$=5°; η = 0,62; N = 48 кВт).

Задачи

1.30. Исходя из минимума затрачиваемой энергии выбрать по среднему за период эксплуатации к.п.д. вентиляторную установку, если Q= 55 м^3/с; $p_{sv\ mjn}$= 150даПа; $p_{sv\ max}$= 200 даПа. Установить способ и ступени регулирования рабочих режимов, определить средний резерв подачи установки за период эксплуатации.

1.31. Исходя из минимума затрачиваемой энергии, выбрать вентиляторную установку по среднему за период эксплуатации к.п.д., если Q=300 м^3/с; $p_{sv mjn}$= 200 даПа; $p_{fv mgx}$= 350 даПа. Установитьспособ и пределы регулирования рабочих режимов.

1.32. Выбрать вентиляторную установку для условий: Q= 400 м^3/с; $P_{sv\ min}$= 125 даПа; $p_{sv\ max}$= 225 даПа. Указать способ и ступени регулирования рабочих режимов. Определить средние за период эксплуатации к.п.д. и резерв подачи установки.

1.33. Выбрать вентиляторную установку для условий: Q—40 м^3/с; $p_{sv\ min}$ =140даПа; $p_{sv\ max}$= 300 даПа. Указать способ и ступени регулирования рабочих режимов. Определить средний к.п.д. за период эксплуатации установки.

1.34. Вентилятор ВОД-40 работает с n—375 об/мин при установке лопастей на рабочих колесах, под углом 30°. В начале работы Q_1= 250 м^3/с, в конце — Q_2= 200 м^3/с. Определить по аэродинамической характеристике и расчетом необходимую мощность двигателя в конце работы вентилятора и среднегодовой расход энергии за период эксплуатации установки. Принять к.п.д. двигателя $\eta_д$ = 0,93, регулирования $\eta_р$= 0,8, электрической сети $\eta_г$= 0,95.

1.35. Вентилятор ВЦ-31,5 М, имеющий частоту вращения n= 600 об/мин, работает при установке лопастей направляющего аппарата под углом 20°. В начале работы p_x= 300 даПа, в конце. — P_2= 400 даПа; $\eta_д$= 0,91; $\eta_с$ =0,92; $\eta_р$= 0,83.

Определить по аэродинамической характеристике и расчетом мощность двигателя в конце работы установки, а также среднегодовой расход энергии за период ее эксплуатации.

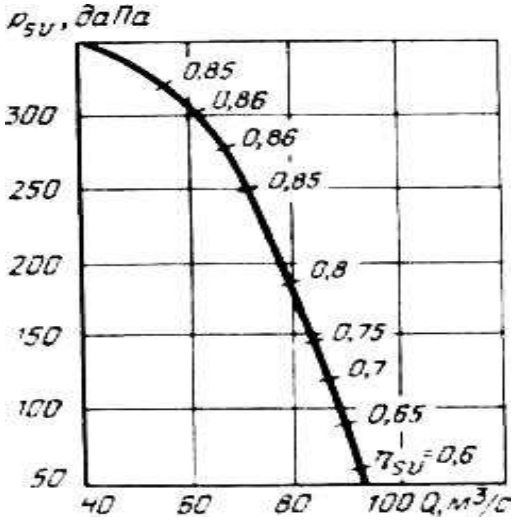


Рис. 1.10. Характеристика вентилятора (к задачам 1.38, 1.39, 1.41)

1.36. Вентилятор ВЦД-47У-Р при подаче Q= 250 м^3/с в начале эксплуатации работает с n_1= 300 об/мин; в конце —n_2= 400 об/мин.; η = 0,92; $\eta_с$= 0,96; $\eta_р$= 0,9.Определить по аэродинамической характеристике и расчетом необходимую мощность двигателя в конце работы установки, а также среднегодовой расход энергии за период ее эксплуатации.

1.37. Вентилятор ВОД-11П за период эксплуатации имеет две ступени регулирования: на первой при θ= 30° продолжительность работы T_1= 7 лет; на второй при θ = 35° T_2= 8 лет. Подача установки в начале и конце работы на каждой ступени $Q_н$= 22 м^3/с; Q_k=20м^3/с; $\eta_д$ = 0,94; $\eta_с$= 0,95; $\eta_р$= 0,8.

Определить по аэродинамической характеристике и расчетом мощность двигателя в конце работы на каждой ступени, среднегодовой расход энергии по ступеням, расход энергии за период эксплуатации на каждой ступени и за весь срок службы установки.

1.38. Два одинаковых вентилятора, характеристика которых дана на

рис. 1.10, установлены у одного ствола. Определить: рабочие режимы при параллельной их работе на общую вентиляционную сеть, и каждого из вентиляторов при совместной и индивидуальной работе на эту сеть; прирост подачи при совместной работе относительно индивидуальной, если R= 0,0926.

1.39.Решить задачу 1.38 при R= 0,1627.

1.40. Решить пример 1.8 при R_{BC} = 0,15, R_{BD} = 0,049, R_{AB}= 0,0247.

1.41.Два одинаковых вентилятора (см. рис. 1.10) работают на флангах шахтного поля. Определить их рабочие режимы, если R_{BC}=R_{BD} = 0,208; R_{AB}=0,0926.

1.42.Определить рабочий режим вентилятора, имеющего характеристику *1* (см. рис. 1.9), с учетом отрицательной естественной тяги p_e = -60даПа, если R= 0,234.

1.43. Определить давление и подачу вентилятора местного проветривания и выбрать его, если Q_Q= 4,5 м^3/с, L= 1000 м, трубы жесткие d=0,8 м.

1.44. Определить давление и подачу вентилятора местного проветривания и выбрать его, если Q_Q= 3,5 м^3/с, L= 100 м, трубы гибкие, d= 0,5 м.

3.ВОДООТЛИВНЫЕ УСТАНОВКИ

§1. РАСЧЕТ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ

Примеры расчета

1.11. Рассчитать главную водоотливную установку на горизонте 510 м. Нормальный приток воды $Q_н$ = 180 м^3/ч. Максимальный приток в течение шести недель $Q_{max\ п}$ =210 м^3/ч. Вода нейтральная. Срок службы трубопровода T = 10 лет.

Решение. 1. Выбор насоса. Требуемая расчетная подача насоса согласно ПБ

$$Q_{\boldsymbol{p}} = 24Q_{н\cdot п}/20, \qquad (1.22)$$

т.е. $Q_p = 24 \cdot 180/20 = 216$ м^3/с

Приняв ориентировочную высоту всасывания 3м, превышение расположения труб над уровнем устья ствола шахты 1м, определяем геометрический напор; Hr= 510 + 3 + 1 = 514 м.

Ориентировочный напор насоса

$$H_{\text{ор}} = 1{,}1 \cdot H_r \qquad (1.23)$$

или $H_{\text{ор}} = 1{,}1 \cdot 514 \approx 565$ м

Заданным условиям удовлетворяют насосы ЦНС 300-650...1040 и ЦНС 300-120…600 (см. прил. 1). Технологическая схема водоотливной установки с насосами ЦНС 300-650…1040 сложнее, так как они работают с подкачивающими насосами.

Предусматриваем установку трех насосов ЦНС 300-120…600, имеющих в оптимальном режиме подачу $Q_{\text{опт}}$= 300 м^3/ч при напоре на колесо $H_к$ =60 м. Напор колеса при нулевой подаче H_{K0} = 66,9 м. Частота вращения n = 1500 об/мин.

Необходимое число последовательно соединенных рабочих колес насоса

$$Z_{kp} = H_{\text{ор}}/H_k \qquad (1.24)$$

или $Z_{kp} = 565/60 = 9{,}46$

Принимаем $Z_к$ = 10.

Оптимальный напор насоса

$$H_{\text{опт}} = Z_{\text{к}} H_{\text{к}} \qquad (1.25)$$

или $H_{\text{опт}} = 10 \cdot 60 = 600$ м.

Окончательно принимаем насос ЦНС 300-600.

Напор насоса при нулевой подаче

$$H_0 = Z_k H_{k0} \qquad (1.26)$$

или $H_0 = 10 \cdot 66{,}9 = 669$ м.

По условию устойчивой работы

$$H_r \leq 0{,}95 H_0 \qquad (1.27)$$

или $H_r \leq 0{,}95 \cdot 669 = 636$ м.

514 < 636, вариант приемлем.

2. Расчет трубопровода. Предусматриваем оборудование водоотливной установки двумя напорными трубопроводами, закольцованными в насосной камере в коллектор. Приняв типовую насосную камеру, составляем схему трубопроводов (рис. 1.11, а).

Длина подводящего трубопровода $L_{\text{п}} = L_{1\text{-}2} = 13$ м. В его арматуру входят приемная сетка с клапаном и три колена.

Напорный трубопровод складывается из двух участков:

$l_{1\text{н}} = l_{2-5}$ и $l_{2\text{н}} = l_{5-6}$

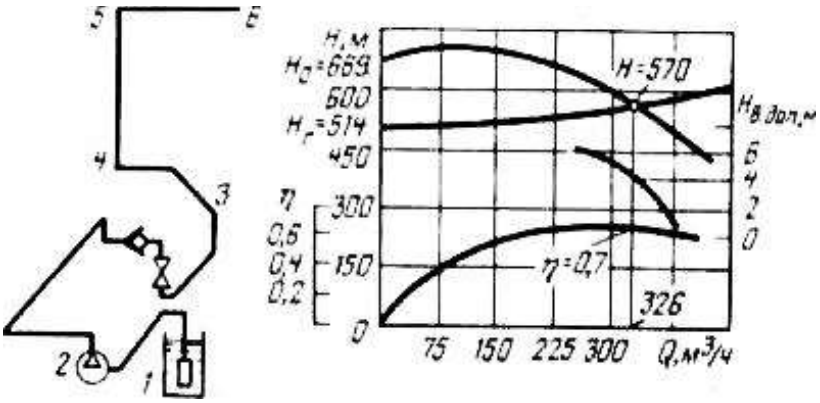


Рис. 1.11. Схема трубопровода (а) и рабочий режим насоса (б) (к примеру 1.11)

Для уменьшения гидравлических потерь на участке $L_{2\text{н}}$ напорного провода на поверхности от ствола до очистных сооружений принимаем трубы большего диаметра, чем на участке $L_{1\text{н}}$

Приняв длины участков в камере $L_{2\text{-}3} = 30$ м, в трубном ходке $L_{3\text{-}4} = 35$ ми превышение трубного ходка над уровнем околоствольного двора 7м, определяем длину напорного трубопровода $L_{1\text{н}}$:

$L_{1\text{н}} = 510 + 30 + 35 - 7 = 568$ м.

В его арматуру входят: одна задвижка, один обратный клапан, два тройника и восемь колен.

Длина участка напорного трубопровода $L_{2\text{н}} = 150$м, его арматура состоит из одного диффузора и двух колен. Оптимальный диаметр напорного трубопровода на участке $L_{1н}$

$$d_{\text{опт}} = k0{,}0131Q_{\text{опт}}^{0{,}476}\ , \qquad (1.28)$$

или $d_{\text{опт}} = 1 \cdot 0{,}0131 \cdot 300^{0{,}476} = 0{,}198$ м,

где *k*— коэффициент, зависящий от числа напорных трубопроводов: при двух трубопроводах *k* = 1, при трех *k* = 0,752.

Принимаем трубы с наружным диаметром D = 219 мм (см. прил. 2).

Требуемая толщина (мм) стенки трубы

$$\delta = \frac{100\left[k_1 D_p + (a + a)T\right]}{100 - k_{\text{с}}} \qquad (1.29)$$

где κ_1 — коэффициент, учитывающий прочностные свойства материала труб (для стали 20 κ_1= 2,27, для стали Ст. 3 κ_1=2,52) ; *D* —наружный диаметр трубы, м; *p*— давление в нижней части колонны труб, МПа; a_1— скорость коррозионного износа наружной поверхности труб, мм/год (при ведении взрывных работ в шахте a_1= 0,25, при отсутствии a_1 =0,15); a_2— скорость коррозионного износа внутренней поверхности труб, мм/год (при нейтральных или щелочных водах a_2 =0,1, при кислотных водах с водородным показателем pH = 6…7 a_2 = 0,2; при pH = 5…6 a_2= 0,4); *T*— срок службы трубопровода, лет; k_c— коэффициент, учитывающий минусовый допуск толщины стенки (для труб обычной точности изготовления при толщине стенки до 15 мм k_c= 15%, при толщине 15 — 30 мм k_c= 12,5 %).

Толщина стенок труб может быть переменной по длине трубопровода, возрастая с увеличением давления в направлении от поверхности к насосу. Рекомендуется принимать участки труб с различной толщиной и давлениями в них 4,0; 6,3; 10 и 16,0 МПа.

Принимаем материал труб Ст. 3, давление у напорного патрубка насоса *p*= 6 МПа, a_1= 0,25. Тогда толщина стенки труб напорного трубопровода на участке Lпо формуле (1.29)

$$\delta = \frac{100[2{,}25 \cdot 0{,}219 \cdot 6 + (0{,}25 + 0{,}1)10]}{100 - 15} = 8{,}01 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки δ=9 мм.

Таким образом, для напорного трубопровода $l_{1\text{Н}}$ принимаем трубы

бесшовные горячедеформированные с внутренним диаметром $d_{1н}$= 201 мм.

Для обеспечения большей надежности всасывания диаметр подводящего трубопровода принимаем на 25 — 50 мм больше напорного, а трубы для него с наружным диаметром $D_п$ = 273 мм и внутренним диаметром d_n= 259 мм. Такими же принимаем диаметры труб на участке напорного трубопровода $l_{2Н}$ т.е. $d_{2н}$= d_n=259 мм.

Скорость воды в подводящем трубопроводе и на участке напорного трубопровода

$$V_п = V_{2п} = 4Q/\pi d_п^2 \quad (1.30)$$

или $V_п = V_{2п} = 4 \cdot 30/3600 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}259^2 = 1{,}58$ м/с

То же на участке $l_{1Н}$ напорного трубопровода:

$$V_{1Н} = 4Q/\pi d_{1Н}^2 = 4 \cdot 300/3600 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}201^2 = 2{,}63 \text{ м/с}$$

Коэффициент гидравлического трения в подводящем трубопроводе и на участке $l_{2н}$ напорного трубопровода

$$\lambda_п = \lambda_{2H} = 0{,}021/d_п^{0{,}3} \quad (1.31)$$

или $\lambda_{2H} = \lambda_{2H} = 0{,}021/0{,}259^{0{,}3} = 0{,}03149$

То же на участке $l_{1Н}$ напорного трубопровода:

$$\lambda_{1н} = 0{,}021/d_{1H}^{0{,}3} = 0{,}021/0{,}201^{0{,}3} = 0{,}03398$$

Коэффициенты местных сопротивлений принимаем из табл. 1.2.

Суммарные коэффициенты местных сопротивлений в подводящем трубопроводе и на участках $l_{1Н}$ и $l_{2Н}$ напорного трубопровода:

$$\Sigma\xi_n = 4{,}5 + 3 \cdot 6 = 6{,}3$$

$$\Sigma\xi_{1н} = 0{,}26 + 10 + 2 \cdot 1{,}5 + 8 \cdot 0{,}6 = 18{,}06$$

$$\Sigma\xi_{2н} = 0{,}25 + 2 \cdot 0{,}6 = 1{,}45$$

Потери напора в подводящем трубопроводе и на участках $l_{1Н}$ и $l_{2Н}$ напорного трубопровода:

$$h_n = \left(\lambda_n \frac{l_n}{d_n} + \Sigma\xi_n\right)\frac{v_n^2}{2g} \quad (1.32)$$

или

$$h_n = \left(3{,}0.149\frac{13}{0{,}259} + 6{,}3\right)\frac{1{,}58^2}{2 \cdot 9{,}81} \approx 1\text{м}$$

Таблица 1.2

Арматура	Диаметр условного прохода $d_{у,}$мм	Коэффициент местного сопротивления ξ
Задвижка	80-400	0,26
Клапан обратный поворотный	80-400	10
Приемная сетка с клапаном	100	7
	150	6
	200	5,2
	250	4,5
	300	3,7
Колено сварное (под углом 90°)	80 - 300	0,6
Тройник равнопроходный	80 - 300	1,5
Диффузор	*d1/d2*=0,5+ 0,8	0,25
Конфузор	*d1/d2* =1,2+1,65	0,2

$$h_{1H} = \left(\lambda_{1H}\frac{l_{1H}}{d_{1H}} + \Sigma\xi_{1H}\right)\frac{v_{1H}^2}{2g} = \left(0{,}03398\frac{568}{0{,}201} + 18{,}06\right)\frac{2{,}63^2}{2 \cdot 9{,}81} =$$

=40,22 м;

$$h_{2H} = \left(\lambda_{2H}\frac{l_{2H}}{d_{2H}} + \Sigma\xi_{2\text{Н}}\right)\frac{v_{2H}^2}{2g} = \left(0{,}03149\frac{150}{0{,}259} + 1{,}45\right)\frac{1{,}58^2}{2 \cdot 9{,}81} = 2{,}5\text{ м}$$

Суммарные потери в трубопроводе $\Sigma h = 1 + 40{,}22 + 2{,}5 = 43{,}72$ м.

Принимаем $\Sigma h = 44$м.

Напор насоса

$$H = H_r + \Sigma h\ , \qquad (1.33)$$

или $H = 514 + 44 = 558$м

Из формулы (1.2)

$R = (H - H_r)/Q^2 = (558 - 514)/300^2 = 0.0004889.$

Следовательно, H=514 + 0,00048890Q.

По этому уравнению в координатных осях Q— H строим характеристику

трубопровода по точкам, рассчитанным для следующих значений *Q:*

О. м^3/ч.....	0	75	150	225	300	375
Н. м	514	517	525	539	558	583

3. Рабочий режим насоса. На рис. 1.11, *б* показаны характеристика насоса ЦНС 300-600 и характеристика трубопровода. По точке пересечения их устанавливаем рабочий режим насоса: Q= 326 м^3/ч; H = 570 м; η = 0,7; $H_{вдоп}$ = =4 м. Режим находится в рабочей части характеристики в границах 220 — 380 м^3/ч.

К.п.д. трубопровода по формуле (1.4)

$\eta_т = 514/570 = 0{,}902$.

4. Проверка вакуумметрической высоты всасывания. Геометрическая высота всасывания принята ориентировочно 3м. Действительная высота всасывания

$$H_в = 3 + h_п = 3 + 1 = 4м$$

По характеристике насоса в рабочем режиме $H_{в.доп}$ = 4м, следовательно, соблюдается условие $H \leq H_{в.доп}$

5. Мощность двигателя, расход и стоимость энергии, к.п.д. водоотливной установки. По формуле (1.7) расчетная мощность двигателя

$$N_р = \frac{326 \cdot 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 570}{3600 \cdot 1000 \cdot 0{,}7} = 723кВт$$

Принимаем электродвигатель ВАО630М4 (N = 800 кВт; $n_с$ = 1500 об/мин; $\eta_д$ = 0,95; cos$\varphi_д$=0,9).

Коэффициент запаса мощности двигателя

$$k_д = N/N_р = 800/723 = 1{,}107,$$

что допустимо.

Число часов работы насоса в сутки при откачивании нормального Притока

$$n_{ч.п} = 24\, Q_{н.п}/Q, \qquad (1.34)$$

или $n_{ч.н} = 24 \cdot 180/326 = 13{,}25ч$

То же при максимальном притоке:

$n_{\text{ч}\,max} = 24Q_{\max\,n}/Q = 24 \cdot 210/326 = 18{,}46\text{ч}$

Годовой расход электроэнергии

$$W_r = \frac{Q\rho gH}{1000\eta\eta_{\text{д}}\eta_{\text{с}}}\left(n_{\text{ч.н}}n_{\text{д.н}} + n_{\text{ч.м}}n_{\text{д}.max}\right) \quad (1.35)$$

или $W_r = \dfrac{326 \cdot 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 570}{3600 \cdot 1000 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}95}(13{,}25 \cdot 323 + 15{,}46 \cdot 42) =$

$= 3950742\text{кВт·ч},$

где $\eta_{\text{д}}$ и $\eta_{\text{с}}$ - к.п.д. двигателя и электрической сети; $n_{\text{д н}}$и $n_{\text{дтах}}$- число дней в году с нормальным и максимальным притоком. Установленная мощность двигателя по формуле (1.17)

$N_{\text{у}} = 800/(0{,}95 \cdot 0{,}9) = 936\text{кВ} \cdot \text{А}$

Стоимость энергии по формуле (1.16)

$C_{\text{э}} = 3950742 \cdot 0.01 + 936 \cdot 36 = 73203\text{р}$

Годовой приток воды

$$A_{\text{в}} = 24\left(Q_{\text{н.п}}\eta_{\text{д.н}} + Q_{\max\,\text{п}}\eta_{\text{д}\,max}\right), \quad (1.36)$$

или $A_{\text{в}} = 24(180 - 323 + 210 - 42) = 1607040\text{ м}$

Удельный расход электроэнергии (на 1 м^3 откачиваемой воды)

$$W_{\text{уд}} = W_r/A_{\text{в}} \quad (1.37)$$

Полезный расход электроэнергии на 1 м^3 откачиваемой воды

$$W_{\text{п}} = \frac{\rho gH_r}{3600 \cdot 1000}, \quad (1.38)$$

или $W_{\text{п}} = \dfrac{1000 \cdot 9.81 \cdot 514}{3600 \cdot 1000} = 1.4\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3.$

К.п.д. водоотливной установки

$$\eta_{\text{у}} = W_{\text{п}}/W_{\text{уд}} \quad (1.39)$$

или $\eta_{\text{у}} = 1{,}4/2{,}458 = 0{,}57.$

С другой стороны,

$$\eta_{\text{у}} = \eta\eta_{\text{д}}\eta_{\text{т}}\eta_{\text{с}}, \quad (1.40)$$

или $\eta_{\text{у}} = 0{,}7 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}902 \cdot 0{,}95 = 0{,}57.$

1.12. Используя условие и результаты задачи 1.67, определить годовой

расход энергии водоотливной установкой, а также к.п.д. установки по удельным энергетическим затратам и по к.п.д. ее элементов, если $Q_{НП}$ = 239м^3/ч в течение n = 290м^3/ч в Течение $n_{д\,max}$= 35 дней; к.п.д. двигателя главного насоса $\eta_д$= 0,93; подкачивающего насоса $n_{1д}$=0,89; $\eta_с$= 0,95.

Решение. По индивидуальной характеристике подкачивающего насоса ВП-340 при Q_1= Q= 332 м^3/ч находим напор H =18,6 м; η_1= 0,56.

Число часов работы установки в сутки при откачивании нормального и максимального притоков по формуле (1.34) $n_{ч.н}$= 17,28 ч; $n_{чmax}$= 20,96 ч.

На основании формулы (1.35)

$$W_r = \frac{Q\rho h}{1000\eta_с}\left(\frac{H}{\eta\eta_д} + \frac{H_1}{\eta_1\eta_{1д}}\right)\left(\eta_{ч.н}\eta_{д.н} + \eta_{ч\,max}\,\eta_{д\,max}\right), \qquad (1.41)$$

Годовой приток воды по формуле (1.36) $A_д$ =2136480 м^3.

Расход энергии на 1 м^3 откачиваемой воды по формулам (1.37) и (1.38) : $W_{уд}$=3,63 кВт • ч/м^3; $W_п$= 2,207 кВт • ч/м^3.

К.п.д. водоотливной установки по формуле (1.39) $\eta_у$=0,61.

Суммарный напор установки

$H_y = H + H_1$ = 868 + 18,6 = 887 м.

К.п.д. трубопровода по формуле (1.4)

$\eta_Т = H/H_y$ = 810/887 = 0,91.

К.п.д. установки по формуле (1.40) $\eta_у$ = 0,61.

§ 2. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА НАСОСОВ НА ОБЩИЙ ТРУБОПРОВОД

Примеры расчета

1.13. Два насоса ЦНС 300-600 работают параллельно на общий трубопровод. Определить рабочие режимы: совместной работы насосов; каждого из насосов при совместной работе и индивидуальной работы одного насоса на данный трубопровод, если H_r = 510 м, R= 0,002.

Решение. Напорные характеристики *1* и *2* (рис. 1.12) двух одинаковых

насосов наложились одна на другую. Суммарную характеристику *3* получаем удвоением абсцисс характеристики *1*.

Характеристику *4* трубопровода строим в соответствии с уравнением

$H = 510 + 0.0002Q^2$

по точкам, рассчитанным для следующих значений *Q:*

Q, м³/с	0	150	300	450	600	750
H, м	510	515	528	550	582	622

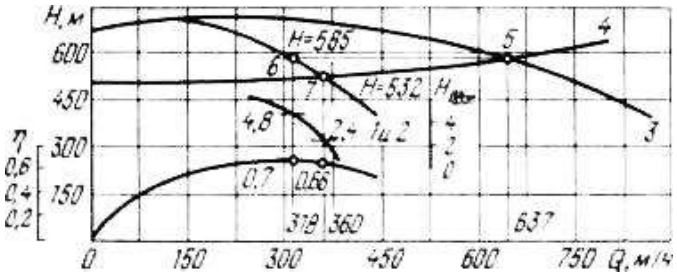


Рис. 1.12. Характеристики и рабочие режимы насоса (к примеру 1.13)

Точка *5* пересечения характеристики *4* с суммарной характеристикой *3* — рабочий режим параллельной работы двух насосов на общий трубопровод (Q= 637 м³/ч; *H* = 585 м). Дополнительными построениями получим точку *6* — рабочий режим одного насоса при совместной работе *(Q*= 318 м³/ч; *H* = 585 м; η = 0,7; $H_{в.доп}$ =4,8 м) и точку 7 — рабочий режим одного насоса при индивидуальной работе на заданный трубопровод (*Q*= 360 м³/ч; *H* = 532 м; η = 0,66; $H_{в.доп}$= 2,4м)

1.14. Два насоса ЦНС 300-120-т 600, расположенные на отметках *A* и *B* (рис. 1.13) горизонтов 490 и 870 м, включены в схему последовательной работы.

Выбрать число рабочих колес и режим совместной работы насосов, если сопротивления трубопроводов на участках *AB* и *BC:* R_{AB}= 0.0002222, R_{BO}= 0,0005.

Решение. Геометрические высоты подачи насосов $H_{1Г}$ —380 м, $H_{2г}$ =490 м. Ориентировочный напор насоса, расположенного на отметке *A,* по формуле (1.23)

$H_{1op} = 1.1H_{1r}$=1,1·380=418м.

Необходимое число рабочих колес

$Z_k = H_{1op} / H_k = 418/60 = 6.9$

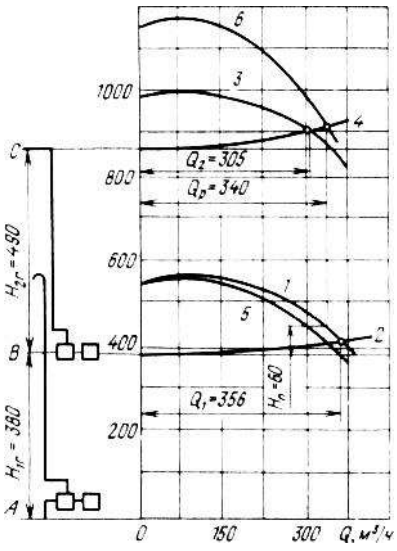


Рис. 1.13. Диаграммы работы последовательно соединенных насосов, расположенных на различных горизонтах (к примеру 1.14)

Принимаем $Z_к$ = 7, но для обеспечения нужного подпора, создаваемого нижним насосом, следует принять $Z_К$= 8 и насос ЦНС 300 — 480. Аналогично для верхнего насоса

$H_{2op} = 1{,}1H_{2r} = 1{,}1 \cdot 490 = 539$м

$Z_к = H_{2op}/H_к = 539/60 = 8{,}98$

Принимаем Z_k= 9 и насос ЦНС 300 — 540.

В соответствии с уравнениями:

H_1 = 380 + 0.0002222Q^2;

H_2 = 490 + 0,00050Q^2,

по результатам расчетов, приведенным ниже, строим характеристик 2 и 4 (см. рис. 1.13) трубопроводов *AB* и *BC.*

Q,м³/с.....	0	75	150	225	300	375
Н, м.....…..	380	381	385	391	400	411
H_2,м .....…..	490	492	501	515	535	560

Если рассматривать насосы как не зависимые друг от друга, то рабочий режим Q_l= 356 м³/ч нижнего насоса определится пересечением его характеристики *1* с характеристикой *2* трубопровода *AB,* а верхнего насоса -- пересечением его характеристики *3* с характеристикой *4* трубопровода *BC′* (Q_2 = 305 м³/ч). Условие Q_2<Q_1соблюдается.

Приняв за начало отсчета отметку *B,* вычитанием ординат характе-

ристики *2* (без учета геометрической высоты $H_{1г}$) из соответствующих ординат характеристики *1* получим приведенную характеристику *5* нижнего насоса к отметке *B,* а сложением ординат характеристик *5* и *3* — суммарную характеристику *6* насосов. Рабочий режим совместной работы двух насосов ($Q_р$= 340 м^3/ч) находим на пересечении характеристик *4* и *6*. Условие $Q_2<Q_p<Q_1$ соблюдается. Подпор верхнего насоса $H_п$= 60м, т.е. соблюдается условие, по которому подпор должен быть равен напору одного рабочего колеса.

Задачи

1.45.Выбрать насос для работы на горизонте 380 м; нормальный приток воды $Q_{н\,п}$ = 145 м^3/ч.

1.46.Выбрать насос для работы на горизонте 910 м. Нормальный приток воды $Q_{н\,п}$= 200 м^3/ч.

1.47.Выбрать насос для работы на горизонте 410 м. Нормальный приток воды $Q_{н\,п}$=81 м^3/ч.

1.48.Выбрать трубы необходимого диаметра и определить толщину их стенок, если подача насоса *Q*= 180 м^3/ч, напор *H* = 441 м, степень кислотности шахтных вод pH = 6,5, в шахте ведутся взрывные работы. Напорных трубопроводов в стволе два, срок их службы 15 лет, материал труб — сталь 20.

1.49. Насос с напором *H*= 1030 м работает на трубопровод, проложенный в вертикальном стволе и секционированный по толщине стенок на уровнях (считая от устья ствола) отметок 400 м и 630 м. Определить толщину стенок в каждой колонне труб, если наружный диаметр трубопровода *D*= 245 мм, материал труб Ст. 3, срок службы трубопровода 70 лет. Степень кислотности шахтных вод pH = 7. В шахте ведутся нарывные работы.

1.50. Определить потери напора в напорном трубопроводе, необходимый напор насоса ЦНС 180 — 85 f425, число рабочих колес и его рабочий режим, если *H* = 370 м, / = 440 м, *d*=160 мм. Арматура трубопровода: две задвижки, один тройник, один обратный клапан и шесть колен. Потерями в

подводящем трубопроводе пренебречь.

1.51. Определить потери напора в напорном трубопроводе, необходимый напор насоса ЦНС 300 — 650 -5- 1040, работающего с подкачивающим насосом ВП-340, число рабочих колес и его рабочий режим, если $H_г$=810 м, L= 920 м, d= 213 мм. Арматура трубопровода: две задвижки, один обратный клапан, два тройника и девять колен.

1.52. Определить потери напора в напорном трубопроводе, проложенном в наклонной выработке, необходимый напор насоса ЦНС 60 —50…250, число рабочих колес и его рабочий режим, если $H_г$—100 м,
L= 580м, d= 128 мм. Арматура трубопровода: одна задвижка, один обратный клапан и четыре колена. Потерями в подводящем трубопроводе пренебречь.

1.53. Используя условие и результаты задачи 3.6, определить годовой расход энергии водоотливной установкой, к.п.д. установки по удельным энергетическим затратам и к.п.д. ее элементов, если $Q_{НП}$= 142 м^3/ч, $Q_{maxп}$ = 190 м^3/ч в течение $n_{дmax}$= 50 дней; $\eta_д$ = 0,94 и η_c= 0,95.

1.54. Водоотливная установка оборудована насосами ЦНС 300 —1040 в комплекте с подкачивающими насосами ВП-340. В рабочем режиме насоса Q =350м^3 /ч; H=954м; η=0,76. Кроме того, дано: $H_г$=905м; $Q_{н.п}$=210м^3/ч; $n_{д\ max}$= =60 дней; $Q_{max\ п}$=280м^3/ч; $\eta_д$=0,91; $\eta_{1д}$=0,88; η_c=0,94.

Определить годовой расход энергии водоотливной ее к.п.д. по удельным энергетическим затратам и к.п.д ее элементов.

1.55. Уклонная водоотливная установка оборудована насосами ЦНС 60-125. В рабочем режиме насоса: Q=66 м^3/ч; H =120 м; η= 0,66. Приток $Q_{НП}$ = =45 м^3/ч постоянный в течение всего года, $H_г$ = 100 м, $\eta_д$= 0,93, η_c = 0,91. Определить годовой расход энергии установкой, к.п.д. установки по удельным энергетическим затратам и к.п.д. ее элементов.

1.56. Два насоса ЦНС 180-425 работают параллельно на общий трубопровод. Определить рабочие режимы: совместной работы насосов, каждого из насосов при совместной работе и индивидуальной работы одного насоса на данный трубопровод, если $H_г$= 370 м,R = 0,00031.

1.57. Два насоса ЦНС 180-500…900, расположенных на отметках *A* и *B* (см. рис. 1.13) горизонтов 450 и 990 м, включены в схему последовательной работы. Выбрать число рабочих колес и режим совместной работы Насосов, если R_{AB} =0,002, R_{BC} = 0,0013.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ШАХТНЫЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

1. ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ

§ 1.ОДНОСТУПЕНЧАТОЕ СЖАТИЕ

Примеры расчета

2.1 Определить работу L_k, конечную температуру t_2 и количество отводимой теплоты *Q* при теоретическом процессе сжатия 1м^3 воздуха по изотерме, адиабате и политропе в одноступенчатом поршневом компрессоре (рис. 2.1). Абсолютное давление в начале сжатия p_1 = 0,1 МПа, в конце сжатия p_2 = 0,4 МПа; начальная температура воздуха =15°С; показатель политропы *n* = 1,25.

Решение. 1. Процесс с изотермическим сжатием. Используя формулу

$$V_1/V_2 = p_2/p_1$$

где p_2/p_1= ε— степень повышения давления, определяем объем воздуха в конце сжатия:

$$V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2} = 1\frac{0,1}{0,4} = 0,25\text{м}^3.$$

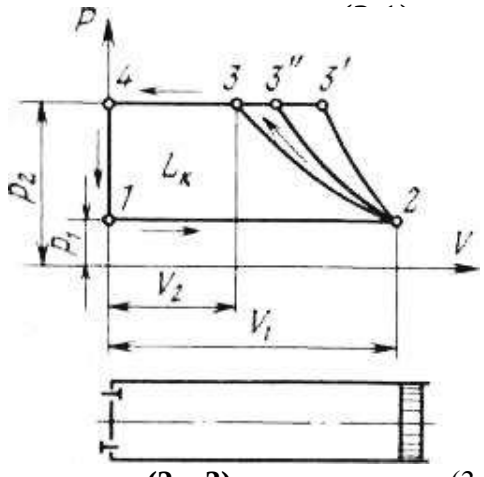


Рис. 2.1. Теоретический процесс в одноступенчатом поршневом компрессоре одностороннего действия: всасывание (*1—2*); сжатие изотермическое**(2—3);** адиабатное **(2—3) ;** политропное **(2—3);** выталкивание (3

—4); выравнивание давления *(4—*

Температура воздуха в процессе сжатия постоянна, т.е.

t_1=t_2=15°С

откуда по формуле

$$T = 273 + t, \quad (2.2)$$

или $T_1 = T_2 = 273 + 15 = 288$ К.

Работа, затрачиваемая в компрессоре,

$$L_{к\ из} = 2{,}303 \cdot p_1 \cdot \ln\frac{P_2}{P_1} \quad (2.3)$$

Количество отводимой теплоты

$$Q = L_{к\ из} \quad (2.4)$$

т.е. Q= 138600 Дж/м^3.

2. Процесс с адиабатным сжатием. Объем воздуха в конце сжатия формулы находим

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)k \quad (2.5)$$

где k = 1,4 — показатель адиабаты.

Из формулы (2.5):

$$V_2 = V_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}} = 1\left(\frac{0{,}1}{0{,}4}\right)^{\frac{1}{1{,}4}} = 0{,}371\ \text{м}^3$$

Температуру воздуха в конце сжатия вычисляем по формулам:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \quad (2.6)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.7)$$

При наших данных

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 228\left(\frac{0{,}4}{0{,}4}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} = 428\ \text{К}$$

Согласно формуле (2.2):

t_2= T_2 -273 = 428 -273 = 155 °С.

Работа, затрачиваемая в компрессоре.

$$L_{\text{к.ад}} = \frac{k}{k-1}(p_2V_2 - p_1V_1) \qquad (2.8)$$

$$L_{\text{к.ад}} = \frac{k}{k-1}p_1V_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \qquad (2.9)$$

По формуле (2.8)

$$L_{\text{к.ад}}\frac{1{,}4}{1{,}4-1}(0{,}4\cdot10^6\cdot0{,}371 - 0{,}1\cdot10^6\cdot1) = 169400\ \text{Дж/м}^3$$

3.Процесс с политропным сжатием. Объем воздуха в конце сжатия вычисляем по формуле (2.5)

$$V_2 = V_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 1\left(\frac{0{,}1}{0{,}4}\right)^{\frac{1}{1{,}25}} = 0{,}33\text{м}^3$$

Температура в конце сжатия согласно выражению (2.7)

$$T_1 = T_2\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 288\left(\frac{0{,}4}{0{,}1}\right)^{\frac{1{,}25-1}{1{,}25}} = 380\text{К}$$

или $t_2 = T_2$ -273 = 380 -273 = 107 °С.

Работа, затрачиваемая в компрессоре, по формуле (2.8)

$$L_{\text{к пол}} = \frac{n}{n-1}(p_2V_1 - p_1V_1) = \frac{1{,}25}{1{,}25-1}(0{,}4\cdot10^6\cdot0{,}33 - 0{,}1\cdot10^6\cdot1) =$$

$$= 160000\ \text{Дж/м}^3.$$

Количество отводимой теплоты

$$Q = mc_{vm}\frac{n-k}{n-1}(T_2 - T_1), \qquad (2.10)$$

где m— масса воздуха, кг; c_{vm}= 0,7243 кДж/ (кг • К) — средняя изохорная теплоемкость воздуха в интервале температур 0 - 200 С.

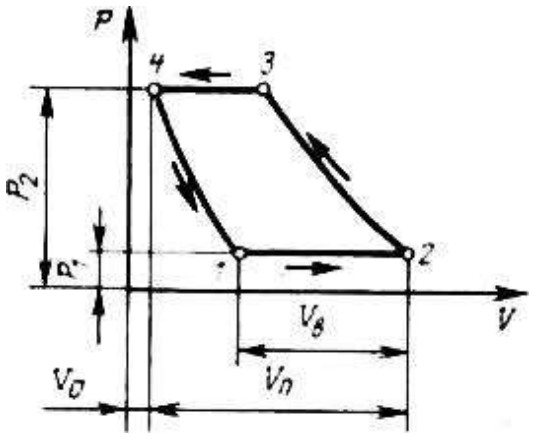


Рис. 2.2. Действительный процесс в одноступенчатом поршневом компрессоре:

V —всасываемый объем: *V* — объем, описываемый поршнем; *V* — объем вредного пространства; *4—1* — расширение воздуха, оставшегося во вредном пространстве

Предварительно находим массу воздуха используя формулу

$$pV = mRT, \qquad (2.11)$$

где R= 287 Дж/(кг • К) — газовая постоянная воздуха.

Из выражения (2.11)

$$m = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{0{,}1 \cdot 10^6 \cdot 1}{287 \cdot 288} = 1{,}21 \text{ кг}.$$

Подставляя числовые значения в формулу (2.10), получим

$$Q = 1{,}21 \cdot 0{,}7243 \frac{1{,}25 - 1{,}4}{1{,}25 - 1}(380 - 288) = -48{,}38 \text{кДж/м}^3.$$

2.2. Определить коэффициент вредного пространства $a_в$, объемный коэффициент a_Q компрессора, объем $V_в$ всасываемого в компрессор воздуха (рис. 2.2), коэффициент подачи $a_п$, а также установить, насколько объем действительно всасываемого воздуха меньше объема при теоретическом процессе, если известно, что объем вредного пространства $V_о$=0,0175м^3- объем, описываемый поршнем, V = 0,35 м^3; начальное абсолютное давление воздуха p_1 = 0,1 МПа; конечное давление p_2 = 0,6 МПа; показатель политропы расширения воздуха, оставшегося во вредном пространстве, n= 1,3; действительная производительность компрессора за один ход поршня, пересчитанная на давление всасывания, V = 0,29 м^3.

Решение.

Коэффициент вредного пространства

$$a_в = V_о / V_п, \qquad (2.12)$$

или $a_в$= 0,0175/0,35 = 0,05.

Объемный коэффициент компрессора

$$a_0 = 1 - a_в \left(\in \frac{1}{n} - 1 \right) \qquad (2.13)$$

или $a_0 = V_в / V_п$ (2.14)

По формуле (2.13)

$$a_0 = 1 - 0{,}05\left[\left(\frac{0{,}6}{0{,}1}\right)^{\frac{1}{1{,}3}} - 1\right] = 0{,}852.$$

Объем всасываемого компрессором воздуха согласно формуле (2.14)

$V_в = a_0 V_п = 0{,}852 \cdot 0{,}35 = 0{,}298 м^3$

Коэффициент подачи компрессора

$a_п - V_д/V_п,$ (2.15)

т.е. $a_п = 0{,}29/0{,}35 = 0{,}83.$

Объем действительно всасываемого воздуха меньше объема воздуха, всасываемого при теоретическом процессе, на объем, описываемый поршнем от начала его хода до начала всасывания:

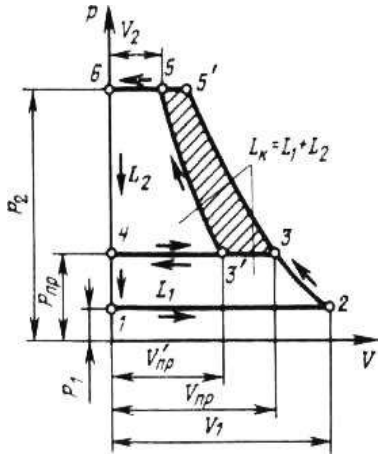
$V_п - V_в = 0{,}35 - 0{,}298 = 0{,}052$ м^3.

§2. МНОГОСТУПЕНЧАТОЕ СЖАТИЕ

Примеры расчета

2.3. Определить наивыгоднейшее давление $p_{пр}$ воздуха в промежуточном охладителе, температуру T_2 в конце сжатия, работы L_1и L_2 в ступенях и полную работу $L_к$, затрачиваемую в двухступенчатом компрессоре (рис. 2.3), если сжатию подвергается 1 м^3 воздуха от давления p_1= 0,1 МПа до давления p_2 = 0,9 МПа. Начальная температура воздуха t_1= 17 °С, показатель политропы сжатия n = 1,25, $a_в$ = 0,05.

Полученные результаты сравнить с результатами одноступенчатого сжатия.



Решение. Наивыгоднейшее давление в промежуточном охладителе

$P_{пр} = \sqrt{P_1 P_2},$ (2.16)

т.е. $P_{пр} = \sqrt{0{,}1 \cdot 0{,}9} = 0{,}3$Мпа

Рис. 2.3. Двухступенчатое сжатие:
***3— 5— 5— 3 — 3* — экономия в работе от промежуточного охлаждения**

На основании формулы

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{zn}} \tag{2.17}$$

температура в конце сжатия в ступени

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_2}\right)^{\frac{n-1}{zn}} = (273 + 17)\left(\frac{0{,}9}{0{,}1}\right)^{\frac{1{,}25-1}{2\cdot 1{,}25}} = 361 \text{ К}$$

Исходя из формулы (2.2)

$$t_2 = T_2 - 273 = 361 - 273 = 88℃$$

Полная работа в первой ступени компрессора

$$L_1 = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_{\text{пр}}}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right] \tag{2.18}$$

т. е. $$L_1 = \frac{1{,}25}{1{,}25-1} 0{,}1 \cdot 10^6 \cdot 1 \left[\left(\frac{0{,}3}{0{,}1}\right)^{\frac{1{,}25-1}{1{,}25}} - 1\right] = 123000 \text{ Дж}$$

То же, во второй ступени компрессора

$$L_2 = \frac{n}{n-1} p_{\text{пр}} V'_{\text{пр}} \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right] \tag{2.19}$$

где $V_{\text{пр}}$ — объем воздуха при всасывании во вторую ступень, м^3.

По формуле (2.5)

$$\frac{p_1}{p_{\text{пр}}} = \left(\frac{V_{\text{пр}}}{V_1}\right) n,$$

откуда объем воздуха на выходе из первой ступени

$$V_{\text{пр}} = V\left(\frac{p_1}{p_{\text{пр}}}\right)^{\frac{1}{n}} = 1\left(\frac{0{,}1}{0{,}1}\right)^{\frac{1}{1{,}25}} = 0{,}415 \text{м}^3.$$

По закону Гей-Люссака, при условии охлаждения в промежуточном охладителе от T_2 до T_1

$V'_{\text{пр}} / V_{\text{пр}} = T_1 / T_2$.

Объем воздуха при всасывании во вторую ступень

$$V'_{\text{пр}} = V_{\text{пр}}\left(\frac{T_1}{T_2}\right) = 0{,}415\left(\frac{290}{361}\right) = 0{,}333 \text{м}^3.$$

Таким образом,

$$L_2 = \frac{1{,}25}{1{,}25-1}\,0{,}3\cdot 10^6\cdot 0{,}333\left[\left(\frac{0{,}9}{0{,}3}\right)^{\frac{1{,}25-1}{1{,}25}}-1\right] = 123000 \text{ Дж.}$$

Следовательно, $L_1 = L_2$, т.е. соблюдается условие равенства работ в ступенях (для z-ступенчатого сжатия):

$L_1 = L_2 = \ldots L_z$.

Полная работа, затрачиваемая в компрессоре,

$L_K = L_1 + L_2 = 123000 + 123000 = 246000$ Дж.

Эту же работу можно рассчитать по формулам

$$L_к = z\frac{n}{n-1}p_1V_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{zn}}-1\right]. \qquad (2.22)$$

При наших данных

$$L_к = 2\frac{1{,}25}{1{,}25-1}\,0{,}1\cdot 10^6\cdot 1\left[\frac{0{,}9}{0{,}1}^{\frac{1{,}25-1}{2\cdot 1{,}25}}-1\right] = 246000 \text{ Дж.}$$

Объемный коэффициент, определяемый по первой ступени сжатия,

$$a_{0z} = 1 - a_в\left(\epsilon^{\frac{1}{zn}}-1\right), \qquad (2.23)$$

$$a_{0z} = 1 - 0{,}05\left[\frac{0{,}9}{0{,}1}^{\frac{1}{2\cdot 1{,}25}}-1\right] = 0{,}93$$

В данном примере при двухступенчатом сжатии по сравнению с одноступенчатым (показатели последнего определены по приведенным ранее формулам):

температура сжатого воздуха ниже на 89° (177° — 88°);

работы затрачивается меньше на 12,2 % (276000 — 246000=30000 Дж);

объемный коэффициент выше на 17% (0,93 — 0,76 = 0,17).

2.4. Определить допустимую степень повышения давления оставшегося во вредном пространстве воздуха в одноступенчатом компрессоре при расширении: а) изотермическом; б) политропном при n = 1,25; в) адиабатном при a = 0,06; г) в одной ступени при t_1=15 °С; t_2 = 165 °С; n=1.3

Решение. Предел степени повышения давления, обусловленный влиянием вредного пространства, — это степень повышения давления, при которой прекратится всасывание:

$$\varepsilon = \left(\frac{1 + a_{\text{в}}}{a_{\text{в}}}\right)^{n} \qquad (2.24)$$

Для заданных условий имеем соответственно:

а) $\varepsilon_{\text{из}} = \dfrac{1 + 0{,}06}{0{,}06} = 17{,}7$;

б) $\varepsilon_{\text{пол}} = \left(\dfrac{1 + 0{,}06}{0{,}06}\right)^{1{,}25} = 36{,}3$;

в) $\varepsilon_{\text{ад}} = \left(\dfrac{1 + 0{,}06}{0{,}06}\right)^{1{,}4} = 55{,}9$.

Температурный предел степени повышения давления в одной ступени

$$\varepsilon = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}}, \qquad (2.25)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{273 + 165}{273 + 15}\right)^{\frac{1{,}3}{1{,}3-1}} = 6{,}15$$

2.5 Определить наивыгоднейшее давление $p_{\text{пр}}$ сжатого воздуха в промежуточном охладителе двухступенчатого компрессора, если t_1 = 5 °С, t_2= 165 °С, n = 1,35, p_1= 0,1 МПа.

Решение. При z-ступенчатом сжатии

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{zn}} \qquad (2.26)$$

причем значения температуры T_2в конце сжатия в каждой ступени должны быть одинаковы.

Степень повышения давления:

в компрессоре по формуле (2.26)

$$\varepsilon = \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{zn}{n-1}} = \left(\frac{273 + 165}{273 + 5}\right)^{\frac{2 \cdot 1{,}35}{1{,}35-1}} = 33{,}34;$$

в каждой ступени z-ступенчатого компрессора

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \cdots \varepsilon_z = \sqrt[z]{\varepsilon} \qquad (2.27)$$

Следовательно,

$$\varepsilon_1 = p_{\text{пр}}/p_1 = \sqrt{33{,}44} = 5{,}77$$

Давление в промежуточном охладителе $P_{\text{пр}}$

$$P_{\text{пр}} = \varepsilon_1 1 p_1 = 5{,}77 \cdot 0{,}1 = 0{,}577\text{МПа}.$$

§3. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМПРЕССОРА И МОЩНОСТЬ ЕГО ДВИГАТЕЛЯ

Примеры расчета

2.6. Определить производительность одноступенчатого одноцилиндрового компрессора одностороннего действия для действительных и нормальных условий всасывания, если внутренний диаметр цилиндра D= 0,9м, ход поршня S= 0,55 м, n= 167 об/мин, коэффициент подачи (a_n= 0,86, давление воздуха во всасывающем патрубке $p_{дс}$ = 0,1 МПа, температура воздуха $t_{\text{вс}}$= 10 °С. ,

Решение. Производительность (м^3/мин) компрессора, отнесенная к условиям всасывания (при давлении и температуре воздуха во всасывающем патрубке), определяется по размерам цилиндра первой ступени сжатия:

для компрессора одностороннего действия

$$V_{\text{мин}} = Z_{\text{ц}} a_{\text{п}} \frac{\pi D^2}{4} Sn; \qquad (2.28)$$

для компрессора двустороннего действия

$$V_{\text{мин}} = Z_{\text{ц}} a_{\text{п}} \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2) Sn\,, \qquad (2.29)$$

где Z— количество цилиндров первой ступени; $a_{\text{п}}$ — коэффициент подачи компрессора; D— диаметр цилиндра, м; d— диаметр штока поршня, м; S— ход поршня, м; n —частота вращения вала компрессора, об/мин.

По формуле (2.28)

$$V_{\text{мин}} = 1 \cdot 0{,}86 \frac{3{,}14 \cdot 0{,}9^2}{4} 0{,}55 \cdot 167 = 50{,}2 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

То же, для нормальных условий всасывания (при давлении воздуха p = 0,1013МПа и температуре его 0 °С, т.е. T_0= 273 К)

$$V_{\text{нор}} = \frac{T_0 p_{\text{вс}}}{T_{\text{вс}} p_0} V_{\text{мин}} \qquad (2.30)$$

т. е. $$V_{\text{нор}} = \frac{273 \cdot 0{,}1}{(273 + 10) \cdot 0{,}1013} 50{,}2 = 47{,}8 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

2.7. Для двухступенчатого компрессора производительностью $V_{\text{мин}}$ = 30 м^3/мин определить теоретическую $N_{\text{т}}$ и индикаторную N_{i}. мощности компрессора, мощности на его валу $N_{\text{в}}$ и двигателя N, полный к.п.д. при изотермическом $\eta_{\text{к из}}$ и адиабатном $\eta_{\text{к ад}}$ сжатии компрессора, если начальное давление воздуха p_1 = 0,1 МПа, конечное p_2= 0,8 МПа, $\eta_{\text{п}}$ = 0,9, $\eta_{\text{iиз}}$ = 0,79, $\eta_{i\text{ад}}$ = 0,92, η_M= 0,9.

Решение. 1. Изотермическое сжатие. Теоретическая работа, затрачиваемая при изотермическом сжатии 1 м^3 воздуха, определяется по формуле (2.3):

Теоретическая мощность (кВт) компрессора

$$N_{\text{т}} = \frac{L_{\text{к}} V_{\text{мин}}}{1000 \cdot 60} \qquad (2.31)$$

где L_K — теоретическая работа, затрачиваемая при изотермическом или адиабатном сжатии 1 м^3 воздуха, Дж.

На основании вышеизложенного

$$N_{\text{т}} = \frac{L_{\text{к.из}} V_{\text{мин}}}{1000 \cdot 60} = \frac{208000 \cdot 30}{1000 \cdot 60} = 104 \text{ кВт}.$$

Индикаторная мощность (кВт) компрессора

$$N_i = \frac{N_{\text{т}}}{\eta_i} = \frac{L_{\text{к}} V_{\text{мин}}}{1000 \cdot 60 \eta_i} \qquad (2.32)$$

где η_i — индикаторный к.п.д. компрессора, учитывающий степень отклонения действительного процесса сжатия от теоретического.

В числовом выражении

$N_i = N_т/\eta_{i\ из} = 104/0{,}79 = 131{,}6$ кВт.

Мощность (кВт) на валу компрессора

$$N_в = \frac{N_i}{\eta_м} = \frac{L_к V_{мин}}{1000 \cdot 60 \eta_i \eta_м} \qquad (2.33)$$

где $\eta_м$— механический к.п.д. компрессора, учитывающий сопротивления трения от поршня до вала компрессора.

С учетом механического к.п.д. компрессора

$N_в = N_i/\eta_м = 131{,}6/0{,}9 = 146{,}2$ кВт.

Мощность (кВт) двигателя

$$N = \frac{N_в}{\eta_п} = \frac{L_к V_{мин}}{1000 \cdot 60 \eta_i \eta_м \eta_п} \qquad (2.34)$$

где $\eta_п$ — к.п.д. передачи от вала двигателя к валу компрессора. Подставляя значение $\eta_п$ в формулу (2.3), получаем:

$N = N_в/\eta_п = 146{,}2/0{,}9 = 162{,}4$ кВт.

Полный к.п.д. компрессора

$\eta_{к.из} = \eta_i \eta_м = N_т/N_в;$

т.е. $\eta_{к.из} = 0{,}79 \cdot 0{,}9 = 0{,}711.$

2. Адиабатное сжатие. Теоретическая работа, затрачиваемая при адиабатном сжатии 1 м^3 воздуха, по формуле (2.22)

$$L_{к.ад} = z\frac{k}{k-1}p_1 v_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{zk}} - 1\right] = 2\frac{1{,}4}{1{,}4-1}0{,}1 \cdot 10^6 \cdot 1\left[\left(\frac{0{,}8}{0{,}1}\right)^{\frac{1{,}4-1}{2 \cdot 1{,}4}} - 1\right] =$$

=242100 Дж.

Теоретическая мощность компрессора по формуле (2.31)

$$N_т = \frac{L_{к.ад} V_{мин}}{1000 \cdot 60} = \frac{242100 \cdot 30}{1000 \cdot 60} = 121 \text{ кВт.}$$

Индикаторная мощность компрессора по формуле (2.32)

$N_i = N_т/\eta_{i\ ад} = 121/0{,}92 = 131{,}5$ кВт

Мощность на валу компрессора по формуле (2.33)

$N_п$= 131,5/0,9 = 146,1 кВт.

Мощность двигателя по формуле (2.34)

N= 146,1/0,9 = 162,3 кВт.

Полный к.п.д. компрессора по формуле (2.35)

$\eta_{\text{к.ад}} = \eta_{i\ \text{ад}}\eta_{\text{м}} = 0{,}92 \cdot 0{,}9 = 0{,}828$

2.8. Определить индикаторную мощность одноступенчатого двухцилиндрового компрессора одностороннего действия, если p=0,24 МПа, D=200 мм, S= 150 мм, n = 730 об/мин.

Решение. Индикаторная мощность (кВт) одноступенчатого компрессора одностороннего действия при площади F(см^2), ходе S(м) поршня, частоте вращения n (об/мин) вала компрессора и среднего индикаторного давления p. (Па) по индикаторной диаграмме

$$N_i = \frac{p_i F S_n}{1000 \cdot 60} \qquad (2.36)$$

Тоже для одноступенчатого компрессора двустороннего действия

$$N_i = \frac{p_i (F_1 + F_2) S_n}{1000 \cdot 60} \qquad (2.37)$$

где F_1 и F_2 — площади рабочих поверхностей поршня.

Индикаторная мощность многоступенчатого компрессора определяется как сумма индикаторных мощностей всех ступеней:

$$N_i = \sum \text{N}_{\text{ic}}. \qquad (2.38)$$

По формуле (2.36)

$$N_i = \frac{2p_i \frac{\pi D^2}{4} Sn}{1000 \cdot 60} = \frac{2 \cdot 0.24 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot 0.15 \cdot 730}{1000 \cdot 60 \cdot 4} = 27.5 \text{ кВт.}$$

§ 4. ОХЛАЖДЕНИЕ СЖИМАЕМОГО ВОЗДУХА

Пример расчета

2.9. Определить часовой расход охлаждающей воды $V_{Bч}$ и поверхность охлаждения $F_{\text{по}}$ промежуточного охладителя для двухступенчатого компрессора, производительность которого $V_{\text{мин}}$ = 30 м^3/мин, начальное давление p_1 = 0,1 МПа, конечное давление P_2 = 0,9 МПа, показатель политропы сжатия

n = 1,25, начальная температура воздуха t_1= 27 °С, $k_т$ = 52 Вт/(м^{2}К).

Решение. Температура воздуха в конце сжатия согласно выражению (2.7)

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{zn}} = (273 + 27)\left(\frac{0.9}{0.1}\right)^{\frac{1,25-1}{2\cdot 1,25}} = 374 \text{ К}$$

или $t_2 = T_2 - 273 = 374 - 273 = 101$℃.

Количество теплоты, отводимой при сжатии 1 кг воздуха в каждой ступени, по формуле (2.10)

$$q_с = c_{vm}\frac{n-k}{n-1}(T_2 - T_1) = 0,7243\frac{1,25-1,4}{1,25-1}(374 - 300) =$$

$$= -32,2 \text{ кДж/кг}.$$

Следовательно, $Q_с$= 32,2 кДж/кг.

Количество теплоты (Дж/кг), отводимой в промежуточном или концевом охладителе от 1 кг воздуха,

$$q_{п.о} = c_р(t_2 - t_1) \qquad (2.39)$$

где c = 1,012 кДж/(кг* К) — теплоемкость воздуха при постоянном давлении и температуре 0-200 °С, тогда

$q_{п.о}$ = 1.012 (101 -27) = 74,9 кДж/кг.

Полное количество теплоты (Дж/кг), отводимой в компрессоре от 1 кг воздуха.

$$q_к = zq_с + (z-1)q_{п.о} + q_{к.о}, \qquad (2.40)$$

или q_k= 2 • 32,2 + 74,9 = 139,3 кДж/кг.

Количество воды (в/кг), необходимое для охлаждения 1 кг воздух.

$$V_{в.к} = \frac{q_к}{c_в(t_{2в} - t_{1в})}, \qquad (2.41)$$

где $c_д$ =4,19 кДж/(кг • К) — теплоемкость воды; $t_{2в}$— $t_{1В}$ = 10….15° — разность температур нагревшейся и поступающей для охлаждения компрессора воды.

В числовом выражении

$$V_{в.к} = \frac{139,3}{4,19 \cdot (20 - 10)} 3,32 \text{ л/кг}$$

Часовой расход охлаждающей воды для всего компрессора

$$V_{\text{в.ч}} = 60 V_{\text{в.к}} \rho V_{\text{мин}} \quad (2.42)$$

где $\rho \approx 1{,}2$ кг/м^3 — плотность всасываемого воздуха.

Подставив в формулу (2.42) значения, получим:

$$V_{\text{в.ч}} = 60 \cdot 3{,}32 \cdot 1{,}2 \cdot 30 = 7170 \text{ л/ч} = 7{,}17 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход воды на охлаждение 1 м^3 всасываемого воздуха

$$V_{\text{м}^3} = V_{\text{в.ч}} / V_{\text{мин}} = 7{,}17/30 = 0{,}24 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Количество теплоты, отводимой в промежуточном или концевом охладителе в течение часа,

$$Q_{\text{п.о}} = 60 c_{\text{р}} \rho V_{\text{мин}} (t_2 - t_1) \quad (2.43)$$

т.е. $Q_{\text{п.о}} = 60 \cdot 1{,}012 \cdot 102 \cdot 30(101 - 27) = 161800$ кДж/ч $=$

$= 161{,}8 \cdot 10^6$ Дж/ч

Средняя разность температур (°С) в охладителе между средними температурами сжатого воздуха и охлаждающей воды

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_2 + t_1}{2} - \frac{t_{2\text{в}} + t_{1\text{в}}}{2}, \quad (2.44)$$

Площадь (м^2) поверхности охлаждения промежуточного или концевого охладителя

$$F_{\text{п.о}} = \frac{Q_{\text{п.о}}}{k_{\text{т}} t_{\text{ср}}} \quad (2.45)$$

где $K_{\text{т}} = 40\ldots60$ Вт/(м^{2}К) — общий коэффициент теплопередачи 1м^2 трубчатой системы охладителя при разности температур по обе стороны стенок трубок, равной одному градусу.

Площадь поверхности охлаждения F_Q должна быть принята на 10 — 15 % больше расчетной по формуле (2.45):

$$F_{\text{п.о}} = \frac{161 \cdot 8 \cdot 10^6}{3600 \cdot 52 \cdot 49} = 17{,}6\text{м}^3$$

Окончательно $F_{\text{п.о}} = 1{,}15 * 17{,}6 = 20{,}2\text{м}^2$

Поверхность охлаждения промежуточного охладителя, отнесенная к 1м^3 всасываемого воздуха.

$$F_{\text{м}^3} = F_{\text{п.о}} / V_{\text{мин}} = 20{,}2/30 = 0{,}67\text{м}^3.$$

Принимаем диаметр трубки в охладителе d= 20 мм и длину l = 2 м. Количество трубок в охладителе

$$n_{\text{т}} = \frac{F_{\text{п.о}}}{\pi d_{\text{т}} L_{\text{т}}} \qquad (2.46)$$

т. е. $n_{\text{т}} = \frac{20{,}2}{3{,}14 \cdot 0{,}020 \cdot 2} = 161.$

Задачи

2.1.Определить объем сжатого воздуха, работу, затрачиваемую в компрессоре при изотермическом сжатии, и количество отводимой от воздуха теплоты, если V_1= 3,5 м^3, начальное абсолютное давление P_1=0,1 МПа, конечное избыточное давление $p_{2\text{и}}$ =0,6 МПа.

2.2. Определить начальный объем V_1 воздуха, работу, затрачиваемую в компрессоре при изотермическом сжатии, если V_2 = 1,25 м^3, p_1 = 0,1 МПа, p_2 =0,45 МПа.

2.3. Определить при изотермическом сжатии конечное давление и температуру воздуха, если Q= 606000 Дж, V_1 = 3,8 м^3, V_2 = 0,7 м^3, масса воздуха m = 4,5 кг.

2.4. Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, конечное давление и температуру воздуха при изотермическом сжатии, если $L_{\text{киз}}$ = 520000 Дж, p_1 =0,1 МПа, V_1=3м^3, m = 3,6 кг.

2.5. Определить объем сжатого воздуха, температуру воздуха в конце сжатия и работу, затрачиваемую в компрессоре на адиабатное сжатие V_1= 2,3 м^3 воздуха от абсолютного давления p_1 = 0,1 МПа до избыточного p_2 = 0,6 МПа, если t_1= 20 °С; k = 1,4.

2.6. Определить работу, давление и объем в конце адиабатного сжатия воздуха в компрессоре, если t= 160 °С. t= 10 °С, p_1=0,1 МПа, V_1 =4 м^3 k= 1,4.

2.7. Определить конечное давление, начальный объем, работу при адиабатном сжатии воздуха в компрессоре, если t_1= 5 °С, t_2= 170 °С, V_2=2 м^3, P_1 =0,1 МПа.

2.8. Определить объем и температуру воздуха в начале политропного

сжатия его в компрессоре, а также затрачиваемую при сжатии воздуха работу и отводимую теплоту, если V_2 = 1,8 м^3, t_2= 125 °С; абсолютное давление p_1 =0,1 МПа, избыточное $p_{2и}$ = 0,4 МПа, n = 1,25, $c_{ут}$= 0,7243 к Дж/(кгК).

2.9. Определить работу при политропном сжатии воздуха в компрессоре и отводимую при этом теплоту, если P_1= 0,1 МПа, ε = 6, t_1= 11 °С, масса сжимаемого воздуха $м$ = 4,25 кг, n = 1,28, $c_{ут}$ = 0,7243 кДж/(кгК).

2.10. Определить начальный объем воздуха, конечное давление и работу при политропном сжатии воздуха в компрессоре, если t_2= 110 °С, t_1=0°С, V_2=1,2 м^3, p_1 =0,1 МПа, n=1,25.

2.11. Определить показатель политропы сжатия воздуха в компрессоре и работу, если V_1= 4,6 м^3, V_2= 1,25 м^3, p_1 = 0,1 МПа, $P_{2И}$ = 0,45 МПа.

2.12. Определить показатель политропы сжатия воздуха в компрессоре и отводимую теплоту, если t= 0 °С, t_2= 100 °С, p_1 =0,1 МПа, $P_{2И}$ = 0,5 МПа, m = 2,8 кг, c'_m = 0,7243 кДж^2/(кг К).

2.13. Определить показатель политропы сжатия воздуха в компрессоре, если $L_{k.пол}$= 680000 Дж, p_1=0,1 МПа, p_2 =0,65 МПа, V_1= 3,1 м^3, V_2= 0,72 м^3.

2.14. Определить коэффициент и объем вредного пространства компрессора, если a_Q= 0,84, абсолютное давление p_1 =0,1 МПа, избыточное $P_{1и}$= 0,4 МПа, n= 1,3, $V_п$= 0,2 м^3.

2.15. Определить объемный коэффициент компрессора и объем всасываемого в него воздуха, если $a_в$ = 0,055, e = 6, n = 1,28, $V_п$ = 0,15м^3.

2.16. Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, если $V_о$=0,012м^3, $V_п$=0,2м^3, $V_в$= 0,16 м^3, n = 1,25.

2.17. Определить показатель политропы расширения оставшегося но вредном пространстве воздуха, если $V_о$= 0,0075 м^3, $V_п$ =0,15 м^3, a_0= 0,84,e = 6.

2.18. Определить коэффициент подачи компрессора, если $V_д$ =0,128м^3, $a_о$=0,82, V = 0,14 м^3.

2.19. Определить коэффициент подачи компрессора, если $V_д$=0,2м^3, $a_в$=0,05, e =5, n =1,3, $V_в$=0,22м^3.

2.20. Определить действительную производительность компрессора за

один ход поршня, пересчитанную на давление всасывания, если $a_{\text{п}}$= 0,8, $a_{\text{в}}$ = 0,05, V_o =0,015 м^3.

2.21. Определить коэффициент вредного пространства компрессора, если $V_{\text{д}}$= 0,28 м^3, $a_{\text{п}}$=0,82, $V_{\text{в}}$=0,3м^3, e = 4, n =1,3.

2.22. Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, если V_o =0,017 м^3, $V_{\text{в}}$= 0,29 м^3, n = 1,29, $a_{\text{п}}$=0,85, $V_д$ =0,28 м^3.

2.23. Определить показатель политропы расширения оставшегося по вредном пространстве воздуха, если e = 3,6, a_n = 0,84, V = 0,26 м^3, $V_{\text{о}}$ = 0,016 м^3, V_B= 0,28 м^3.

2.24. Определить, при каком показателе политропы расширения воздуха, оставшегося во вредном пространстве, прекратится всасывание и одноступенчатом компрессоре, если p_2 = 4,5 МПа, p_1 = 0,1 МПа, V_0=0,013 м^3, $V_в$=0,28 м^3.

2.25. Определить, при каком объеме вредного пространства прекратится всасывание воздуха в одноступенчатом компрессоре, если V_n —0,3 м^3, e = 45, n = 1,3.

2.26. Определить, при каком объеме, описываемом за один ход поршнем компрессора, прекратится всасывание воздуха в одноступенчатом компрессоре, если V_o =0,01 м^3, p_1=0,1 МПа,p_2 = 5,0 МПа, n=1.2

2.27. Определить, какой процесс расширения воздуха, оставшегося во вредном пространстве, происходит в одноступенчатом компрессоре, если a_o =0, V_o = 0,0088 м^3, $V_{\text{п}}$= 0,16 м^3, p_1 = 0,1 МПа, p_2= 1,92 МПа.

2.28. Определить допустимое конечное давление сжатого воздуха, если p_1 = 0,1 МПа; сжатие в одноступенчатом компрессоре происходит без подвода и отвода теплоты; t_1=0 °С; допустимая температура нагрева сжатого воздуха t_2= 170 °С.

2.29. Определить температуру воздуха, всасываемого в одноступенчатый компрессор, если e = 5,2, t=155°С, n= 1,3.

2.30. Определить показатель политропы сжатия воздуха в трехступенчатом компрессоре, если t_2 = 90 °С,t_1= 15 °С, p_1 =0,1 МПа, P_3 = 2,7 МПа.

2.31. Определить конечную температуру сжатия воздуха в ступени двухступенчатого компрессора, если t_1 = 0 °С, P_1 = 0,1 МПа, p_2= 0,9 МПа, n= 1,3.

2.32. Определить начальную температуру воздуха, сжимаемого в двухступенчатом компрессоре, если t= 85 °С, V_1 = 3 м^3, $V_{пр}$= 1,3 м^3, n= 1,28.

2.33. Определить работы L_1и L_2в ступенях двухступенчатого компрессора и работу, затрачиваемую в компрессоре, если V_1 = 2м^3, p_1 = 0,1 МПа, p_2 = 0,9 МПа, $p_{пр}$ = 0,3 МПа, n = 1,28.

2.34. Определить объем воздуха в конце сжатия в первой ступени двухступенчатого компрессора, если L_2= 270000 Дж, n = 1,25, $p_{пр}$= 0,274 МПа, p_2 =0,75 МПа, t_1=24 °С, t_2=90 °С.

2.35. Определить объем воздуха, всасываемого во вторую ступень двухступенчатого компрессора, если L_1= 230000 Дж, p_1 = 0,1 МПа, $P_{пр}$ = 0,29 МПа, n = 1,25, t_1= 15 °С, t_2=85°С.

2.36. Определить объемный коэффициент первой ступени двухступенчатого компрессора, если V —0,01 м^3, V = 0,2 м^3, e — 9, n =1,3.

2.37. Определить производительность для действительных и нормальных условий всасывания одноступенчатого двухцилиндрового компрессора одностороннего действия, если D= 200 мм, S= 150 мм, n= 730 об/мин; $a_п$=0,85; $P_{вс}$ = 0,101 МПа; $t_{ВС}$ = 15°С.

2.38. Определить производительность для действительных и нормальных условий всасывания двухступенчатого четырехцилиндрового компрессора двустороннего действия, если применительно к цилиндрам первой ступени D= 0,62 м, d= 5 см, S= 0,22 м, n = 500 об/мин; $a_п$ = 0,76; $P_{вс}$ = 0,1 МПа; $t_{Вс}$=0°С.

2.39. Определить коэффициент подачи двухступенчатого двухцилиндрового компрессора двустороннего действия, если применительно к цилиндру первой ступени V = 80 м^3/мин, D= 0,75 м, d= 7 см, S = 0,6 м, n=177 об/мин.

2.40. Определить частоту вращения вала одноступенчатого двухцилиндрового компрессора одностороннего действия, если $V_{мин}$= 26 м^3 /мин,

$a_п$ = 0,82, D= 500 мм, S= 490 мм. |

2.41. Определить частоту вращения вала двигателя двухступенчатого двухцилиндрового компрессора двустороннего действия, если применительно к первой ступени V = 20 м^3/мин, a =0,8; D=0,6м; S= 0,5м; ad=8 см; передаточное число ременной передачи между валом компрессора и двигателя i = 8,24.

2.42. Определить мощность на валу двигателя одноступенчатогокомпрессора, исходя из теоретической работы изотермического сжатия, если известно, что $V_{мин}$ = 25 м^3/мин, p_1= 0,1 МПа, p_2 = 0,4 МПа, $\eta_{iиз}$=0,77, а$\eta_м$ =0,88.

2.43. Определить мощность на валу двигателя одноступенчатого компрессора, исходя из теоретической работы изотермического сжатия, если $V_{мин}$= 18 м^3/мин; p_1 =0,1 МПа; p_2 =0,5 МПа; .$\eta_{iиз}$= 0,8; а $\eta_м$ =0,86.

2.44. Определить мощность на валу двигателя одноступенчатого компрессора, исходя из теоретической работы адиабатного сжатия, если $V_{мин}$= 40 м^3/мин; p_1 = 0,1 МПа; p_2 = 0,5 МПа; $\eta_{iад}$ = 0,91; а $\eta_м$ = 0,87.

2.45. Определить мощность на валу двигателя двухступенчатого компрессора, исходя из теоретической работы адиабатного сжатия, если $V_{мин}$ = 32м^3/мин; P_1 =0,1 МПа; p_2 = 0,8 МПа; $\eta_{iад}$ = 0,92; а $\eta_м$ = 0,9.

2.46. Определить индикаторную мощность двухцилиндрового двухступенчатого компрессора двустороннего действия, если среднее индикаторное давление в первой ступени низкого давления p_{i1} = 0,15 МПа; то же, если во второй ступени p_{i2} = 0,41 МПа, диаметры цилиндров и штоков соответственно D_1 = 730 мм, D_2 = 440 мм, d_1 = 70 мм, d_2= 45 мм, S= 450 мм, n = 187 об/мин.

2.47. Определить мощность на валу двухцилиндрового двухступенчатого компрессора двустороннего действия, если среднее индикаторное давление в первой степени p_1 = 0,16 МПа; тоже, второй p = 0,45 МПа, диаметры цилиндров и штоков соответственно D_1 = 900 мм, D_2 = 530 мм, d_1 = 85 мм, d_2 = 55 мм, S= 550 мм, n = 167 об/мин, $\eta_м$ = 0,9.

2.48. Определить, какую производительность может развить односту-

пенчатый компрессор при мощности двигателя N= 250 кВт, если p_1=0,1 МПа, p_2 =0,7 МПа, $\eta_{\text{iиз}}$,=0,78, $\eta_{\text{м}}$ = 0,85 и двигатель соединен с компрессором муфтой.

2.49. Определить, какую производительность может развить двухступенчатый компрессор при мощности двигателя N = 380 кВт, если P_1 =0,1 МПа, p_2 =0,9,МПа, $\eta_{\text{iад;}}$= 0,93, $\eta_{\text{м}}$ =0,9.

2.50. Определить частоту вращения вала одноступенчатого двухцилиндрового компрессора одностороннего действия, если Ni= 98 кВт, $\eta_{\text{iиз}}$= 0,8, p_1 = 0,1 МПа; p_2 = 0,7 МПа; a_n = 0,8; D= 0,45 м, S= 0,43 м.

2.51. Определить частоту вращения вала двухступенчатого двухцилиндрового компрессора двустороннего действия, если $N_{\text{в}}$ = 200 кВт; p_2= 0,9; $a_{\text{п}}$ = 0,87; p_1 = 0,1 МПа; p_2= 0,9 МПа, применительно кпервой ступени a_n = 0,8; D = 600 мм; d= 45 мм; S= 300 мм.

2.52. Определить индикаторный изотермический к.п.д. компрессора, если p_1=0,1 МПа; $p2$ = 0,7 МПа; $V_{\text{мин}}$= 5 м^3/мин; $\eta_{\text{м}}$ = 0,85; $N_{\text{в}}$=25 кВт.

2.53. Определить индикаторный адиабатный к.п.д. одноступенчатого компрессора, если p_1 = 0,1 МПа; p_2 = 0,5 МПа; $V_{\text{мин}}$ = 38 м^3/мин; $\eta_м$ =0,85; $N_в$= 154 кВт.

2.54. Определить механический к.п.д. одноступенчатого двухцилиндрового компрессора одностороннего действия, если $L_{\text{кад}}$ =210000 Дж, D = 200 мм, S = 150 мм, n = 690 об/мин, a_n = 0,85, $N_в$= 22,5 кВт, $\eta_{\text{iад}}$=0,92

2.55. Определить полный изотермический к.п.д. двухступенчатого компрессора, если p_1 = 0,1 МПа; p_2 = 0,5 МПа; $V_{\text{мин}}$ = 25 м^3; N= 110 кВт; $\eta_{\text{п}}$= 0,88.

2.56. Определить полный адиабатный к.п.д. двухступенчатого двухцилиндрового компрессора двустороннего действия, если p_1 =0,1 МПа; P_2 = 0,9 МПа; N= 320 кВт, применительно к первой ступени $a_{\text{п}}$ =0,82; D = 0,8 м; d = 8 см; S= 0,5м; n = 146 об/мин; вал компрессора соединен с валом двигателя.

2.57. Определить объем, описываемый поршнем первой ступени заодин ход, и производительность двухступенчатого двухцилиндровогокомпрессора

одностороннего действия, если применительно к цилиндрупервой ступени N_i= 180 кВт; p_i = 0,23 МПа; $a_п$ = 0,75; n = 280 об/мин.

2.58. Определить $a_п$ одноступенчатого одноцилиндрового компрессора двустороннего действия, пренебрегая размером штока, если N_i=165 к Вт; p_i= 0,32 М Па; $V_{мин}$= 26,9 м^3 /мин.

2.59. Определить частоту вращения вала двухступенчатого двухцилиндрового компрессора двустороннего действия, если применительно к первой ступени N_i=80кВт; D=0,45м; d=4см; S= 0,4м; p_i= 0,16 МПа.

2.60. Определить часовой расход воды на охлаждение одноступенчатого компрессора, если $V_{мин}$= 70 м^3/мин; t_1= 20 °С; t_2= 125 °С; n=1,28; t=20°С; $T_{1в}$= 12 °С.

2.61. Определить часовой расход воды на охлаждение двухступенчатого компрессора с концевым охладителем, если $V_{мин}$ =20 м^3/мин; t_1 = 15 °С; t_2 =95 °С; n = 1,3; t_2 =22 °С; $t_{1в}$= 13 °С

2.62. Определить расход воды для охлаждения 1м воздуха,сжимаемого в двухступенчатом компрессоре, если t_1 = 18 °С; t_2= 100 °С; n=1,25; $t_{2в}$ = 20°С; $t_{1В}$ = 11 °С.

2.63. Определить, какое количество теплоты отводится от 1кг воз-духа в каждой ступени сжатия двухступенчатого компрессора, если t_2— t_1= 85 °С; $q_К$ = 168 кДж/кг.

2.64. Определить количество теплоты, отводимой в процессе сжатияв компрессоре 1кг воздуха, если $V_м^3$ =3,5 л/м^3; $V_{мин}$ =25м^3/мин; $t_{2в}$-$t_{1в}$=11°С

2.65. Определить разность температур входящей в компрессор и выходящей из него воды, если $V_{вч}$= 6700л/ч; $V_{мин}$=26 м^3/мин; $q_к$=150 кДж/кг.

2.66. Определить температуру выходящей из компрессора воды, если $V_м^3$ = 3,5 л/м^3; $q_к$= 147 кДж/кг; $t_{1в}$=12 °С.

2.67. Определить конечную температуру воздуха, сжатого в двухступенчатом компрессоре, если $V_{вч}$=3,6м^3/ч; $V_{мин}$=15м^3/мин; $q_с$= 32кДж/кг, t_1=20°С; $t_{2в}$-$t_{1в}$= 10°С

2.68. Определить начальную температуру воздуха, сжатого в двухсту-

пенчатом компрессоре, если $V_{вч}$ = 10 м^3/ч; $V_{мин}$ =45 м^3/мин; t_2=98 °С; $t_{2В}$-$t_{lв}$ =12 °С, n= 1,25.

2.69. Определить площадь поверхности охлаждения промежуточного охладителя двухступенчатого компрессора, если $V_{мин}$ = 12 м^3/мин; t_2=95 °С, t_1= 18 °С; $t_{2В}$=20°С; $t_{1В}$ = 10 °С; $k_т$ = 47 Вт/(м^2 К).

2.70. Определить потребное число трубок в промежуточном охладителе двухступенчатого компрессора, если $V_{мин}$= 35 м^3/мин4 t_2=100 °С; t_1=22 °С; $t_{2В}$=24 °С; $t_{1В}$= 12 °С; $к_Т$= 54 Вт/(м^2 •К),$d^т$ =22 мм; $l_Т$ = 1,9 м.

2.71. Определить общий коэффициент теплопередачи трубчатойсистемы промежуточного охладителя, если $V_{мин}$ = 15 м^3/мин; t_2= 100°С; t_1= 25 °С; $t_{2в}$ = 20 °С; $t_{1в}$= 10 °С; $F_{по}$=7,2 м^2.

2.72 Определить, какое количество теплоты отводится за час от сжимаемого воздуха в промежуточном охладителе двухступенчатого компрессора, если t= 103 °С; t_1= 27 °С; $t_{2в}$ = 23 °С; $t_{1в}$ = 11 °С; $F_{по}$ = 18 м^2; $к_Т$ = 58 Вт/(м^{2}К).

2.73. Определить, какое число трубок можно выключить из системыохлаждения промежуточного охладителя, если n = 210, $d_Т$=20 мм; $L_Т$=2м; $V_{мин}$=40м^3/мин; t_2=100°С; t_1=25°С; $t_{2в}$=18°С; $t_{1в}$=8°С; $k_Т$=56Вт/(м^{2}К)

2.74. При увеличении частоты вращения вала компрессора производительность его увеличилась до $V_{МиН}$ = 26 м^3/мин. Проверить, достаточна ли при этом площадь поверхности охлаждения ($F_{по}$= 23 м^2) промежуточного охладителя, если t= 100 °С; t_2 = 20 °С; $t_{2\,в}$ = 25 °С; $t_{1В}$= 10 °С; $к_Т$ =52 Вт/ (м^2 К).

2.ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Пример расчета 2.10. Определить среднюю степень повышения давления $e_{ср}$ в одной ступени, индикаторный изотермический к.п.д. $\eta_{iиз}$, мощность двигателя Nцентробежного трехсекционного компрессора, часовой расход охлаждающей воды для всего компрессора и площадь поверхности и охлаждения промежуточных охладителей, если число ступеней сжатия z=6, производи-

тельность компрессора $V_{мин}^{=}$ = 250 м^3/мин, p_1 = 0,1 МПа; p_2 = 0,9 МПа, $\eta_м$ = 0,97, $\eta_п$ = 0,95. Промежуточное охладители установлены после второй и четвертой ступеней (после первой и второй секции), $к_т$ =45 Вт/(м^2 К); температура воздуха на входе и выходе первой, второй и третьей секций соответственно: $t_{1Н}$=20 °С, $t_{1К}$= 120 °С, $t_{2Н}$= 30 °С, $f_{2К}$= 135 °С, $t_{3Н}$= 35 °С, $t_{3к}$= 140 °С, температура воды на входе и выходе первого охладителя $t_{1В}'$=15°С, $t_{2В}^{//=}$ 25 °С, второго— $t_{1В}''$=15°С, $t_{2В}''$= 28°С.

Решение. Средняя степень повышения давления в ступени по формуле (2.27)

$$\varepsilon = \sqrt[z]{\varepsilon} = \sqrt[6]{\frac{p_2}{p_1}} = \sqrt[6]{\frac{0,9}{0,1}} = 1,44.$$

Теоретическая работа, затрачиваемая в компрессоре на сжатие 1 м^3 воздуха в изотермическом процессе, по формуле (2.3)

$$L_{к.из} = 2,303 p_1 V_1 \log\frac{p_2}{p_1} = 2,303 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 1 \log\frac{0,9}{0,1} = 219700 Дж/м^3$$

Фактическая полная работа (Дж/м^3), затраченная на сжатие 1 м^{3}воздуха,

$$l_к = \rho c_р \sum(t_к - t_н) \qquad (2.47)$$

$$L_к = \rho c_р[(t_{1к} - t_{1н}) + (t_{2к} - t_{2н}) + (t_{3к} - t_{3н})] =$$

$$= 1,2 \cdot 1,012 \cdot [(120 - 20) + (135 - 30) + (140 - 35)] =$$

$$= 376,5 кДж/м^3 = 376500 Дж/м^3$$

Индикаторный изотермический к.п.д. компрессора

$$\eta_{i\ из} = L_{к\,из}/L_к \qquad (2.48)$$

т.е. $\eta_{i\,из} = 219700/376500 = 0,584$

Мощность двигателя компрессора по формуле (2.34)

$$N = \frac{L_{к.из} V_{мин}}{60 \cdot 1000 \eta_{iиз} \eta_м \eta_п} = \frac{219700 \cdot 250}{60 \cdot 1000 \cdot 0,584 \cdot 0,97 \cdot 0,95} = 1700 кВт$$

Количество теплоты, отводимое от 1 кг воздуха в первом промежуточном охладителе, по формуле (2.39)

$$q_{п.01} = c_р(t_{1к} - t_{2н}) = 1,012(120 - 30) = 91,1 кДж/кг;$$

то же, во втором охладителе

$$q_{\text{п.02}} = c_{\text{р}}(t_{2\text{к}} - t_{3\text{н}}) = 1{,}012(135 - 35) = 101{,}2 \text{ кДж/кг}.$$

Полное количество теплоты, отводимое в компрессоре от 1 кг воз духа,

$$q_{\text{к}} = q_{\text{п.01}} + q_{\text{п.02}} = 91{,}1 + 101{,}2 = 192{,}3 \text{ кДж/кг}.$$

Количество воды для охлаждения 1 кг воздуха по формуле (2.41)

$$V_{\text{в.к}} = \frac{q_{\text{п.01}}}{c_{\text{в}}(t_{2\text{в}}^{'} - t_{1\text{в}}^{'})} + \frac{q_{\text{п.02}}}{c_{\text{в}}(t_{2\text{в}}^{''} - t_{1\text{в}}^{''})} = \frac{91{,}1}{4{,}19(25 - 15)} + \frac{101{,}2}{4{,}19(28 - 15)} =$$

$$= 4{,}03 \text{ л/кг}.$$

Часовой расход охлаждающей воды для всего компрессора по формуле (2.42)

$$V_{\text{в.ч}} = 60 \cdot 4{,}03 \cdot 1{,}2 \cdot 250 = 72540 \text{ л/ч} = 72{,}5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Количество теплоты, отводимой в первом промежуточном охладителе в течение часа, по формуле (2.43)

$$Q_{\text{п.01}} = 60 c_{\text{р}} \rho V_{\text{мин}}\big((t_{1\text{к}} - t_{2\text{н}}) = 60 \cdot 1{,}012 \cdot 250(120 - 30)\big) =$$

$$= 1{,}64 \cdot 10^6 \text{кДж} = 1{,}6 \cdot 10^9 \text{Дж}.$$

тоже, во втором охладителе:

$$Q_{\text{п.02}} = 60 c_{\text{р}} \rho V_{\text{мин}}\big((t_{2\text{к}} - t_{3\text{н}}) = 60 \cdot 1{,}012 \cdot 250(120 - 30)\big) =$$

$$= 1{,}82 \cdot 10^6 \text{кДж} = 1{,}82 \cdot 10^9 \text{Дж}$$

Средняя разность температур в первом охладителе между средними температурами воздуха и воды по формуле (2.44)

$$t_{\text{ср.1}} = \frac{t_{1\text{к}} + t_{2\text{н}}}{2} - \frac{t_{2\text{в}}^{'} + t_{1\text{в}}^{'}}{2} = \frac{120 + 30}{2} - \frac{25 + 15}{2} = 55℃$$

То же, во втором охладителе:

$$t_{\text{ср.2}} = \frac{t_{2\text{к}} + t_{3\text{н}}}{2} - \frac{t_{2\text{в}}^{''} + t_{1\text{в}}^{''}}{2} = \frac{135 + 35}{2} - \frac{28 + 15}{2} = 63{,}5℃$$

Площадь поверхности охлаждения первого промежуточного охладителя по формуле (2.45)

$$F_{\text{п.01}} = \frac{Q_{\text{п.01}}}{k_{\text{т}} t_{\text{ср.1}}} = \frac{1{,}64 \cdot 109}{3600 \cdot 45 \cdot 55} = 184 \text{ м}^3$$

То же, второго охладителя:

$$F_{\text{п.02}} = \frac{Q_{\text{п.02}}}{k_{\text{т}} t_{\text{ср.2}}} = \frac{1{,}82 \cdot 109}{3600 \cdot 45 \cdot 63{,}5} = 177 \text{ м}^3$$

Площади поверхностей охлаждения промежуточных охладителей принимаем одинаковыми по наибольшей из них, т.е. $F_{п.01}=F_{п.02}$= 184 м^2.

Окончательно, с учетом 15% запаса

$F_{п.01} = F_{п.02} = 1{,}15 \cdot 184 = 212$ м^3

Задачи

2.75 Определить индикаторный изотермический к.п.д. и мощность двигателя центробежного трехсекционного шестиступенчатого центробежного компрессора, если p_1 = 0,1 МПа, p_2 = 0,9 МПа, $V_{мин}$= 500 м^3/мин, $\eta_м$= 0,98, $\eta_п$ =0,97. Охладители установлены после первой и второй секций, а начальная и конечная температуры в каждой секции соответственно

t_1 = 20 °С, t_2= 110°С.

2.76 Определить часовой расход охлаждающей воды для компрессора, по данным задачи 2.75, если начальная температура воды в промежуточных охладителях $t_{1В}$= 10 °С, а конечная $t_{2В}$= 22 ^{0}С.

2.77 Определить производительность трехсекционного шестиступенчатого центробежного компрессора, если N = 810 кВт,p_1=0,1 МПа, p_2 = 0,8 МПа, $\eta_м$ = 0,96, $\eta_п$ = 0,95. Температуры воздуха на входе и выходе каждой секции t_1= 10 °С, t_2 = 100 °С.

2.78 Определить число ступеней сжатия центробежного компрессора и среднюю степень повышения давления в одной ступени, если p_1 = 0,1 МПа, p_2 = 0,9 МПа, $\eta_{iиз}$ = 0,71, $L_{к\ из}$ = 219,7 кДж/м^3. Температура воздуха на входе и выходе каждой секции: t= 20 °С, t_2= 105 °С.

2.79 Определить производительность центробежного трехсекционного компрессора и мощность двигателя для него, если p_1 =0,1 МПа, p_2 = 0,9 МПа, η_m = 0,94, $\eta_п$ = 0,95. Охладители установлены после каждой секции. Температура воздуха на входе и выходе каждой секции: t_1= 25 °С, t= 110 °С; температура воды на входе и выходе каждого охладителя: $t_{1В}$= 17 °С; $t_{2В}$= 30 °С; часовой расход охлаждающей воды для всего компрессора $V_в$ = 39,3 м^3/ч.

Пример расчета 2.11. Рассчитать пневматическую установку для шахты с годовой производительностью $A_г$ =1,2 млн. т угля, разрабатывающую крутые пласты на глубине 400 м. Схема воздухопроводной сети показана на рис. 2.4. Порядок отработки шахтного поля — прямой.

На участках *I, II* и *IV* работают комбайны и по два отбойных молотка, а на участках ///, *V* и *VI* — по 11 отбойных молотков. На

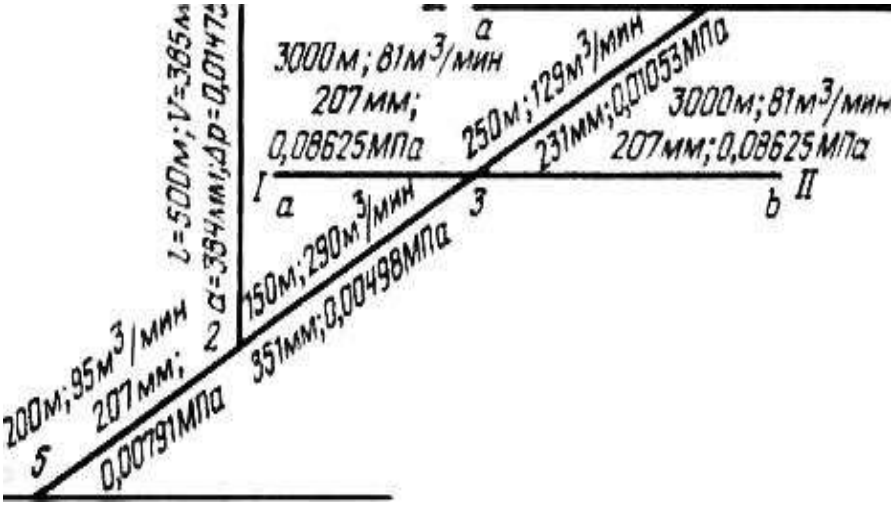


Рис. 2.4. Схема воздухопроводной сети к примеру 2.11

каждом участке, кроме того, работают два бурильных молотка, одна породопогрузочная машина, одна маневровая лебедка и один вентилятор местного проветривания.

Решение. 1. Производительность (м^3/мин) компрессорной станции [4]

$$V_{k.c} = k_c \varphi \left[\mu \left(\begin{array}{c} \sum V_{\text{nj}}\, \text{n}_{\text{nj}}\, \text{k}_{\text{и}j}\, \text{k}_{\text{д}i}\, \text{k}_{\text{з}i}\, \text{k}_{\text{в}i}\, \text{k}_{\text{ni}} + \\ +2{,}7 \sqrt{\sum \text{V}_{\text{ni}}^2\, \text{n}_{\text{ni}} \left(\text{k}_{\text{и}j}\, \text{k}_{\text{д}i}\, \text{k}_{\text{з}i}\right)^2 \text{k}_{\text{в}i} (1 - \text{k}_{\text{в}i}) \text{k}_{\text{ni}}} + \\ +\text{V}_{\text{np}}\, \text{n}_{\text{np}}\, \text{k}_{\text{np}} \end{array} \right) + \sum \text{V}_{\text{yt}} / k_{yt} \right] \quad (2.49)$$

где κ — коэффициент сезонности, учитывающий зависимость производительности компрессорной станции от температуры всасываемого воздуха: при t= - 10 °С; κ_c = 0,893; при 0 °С - 0,932; 10 °С - 0,966; 20 °С — 1,0; 30 °С —

1,034; 40 °С — 1,068. За температуру всасываемого воздуха принимают среднемесячную температуру июля; φ = 1,02 — коэффициент, учитывающий возможность повышения давления по сравнению с расчетным; μ — 1,05 — коэффициент расхода воздуха неучтенными потребителями; i — номер группы однотипных потребителей; , V_n — расход воздуха одним потребителем данной группы; $n_{\text{п}}$ — количество однотипных потребителей; $\kappa_{\text{и}}$ — коэффициент износа, связывающий увеличение расхода воздуха с износом потребителей; $k_{\text{д}}$ — коэффициент давления, учитывающий зависимость расхода воздуха от его давления; $\kappa_з$ — коэффициент загрузки, показывающий изменение расхода воздуха потребителем при отклонении фактической нагрузки его от номинальной и при регулировании; $\kappa_д$ — коэффициент включения, т.е. использования потребителя во времени; $\kappa_д$ — коэффициент сменности, показывающий, что работающих потребителей меньше подключенных к пневмосети (при проектировании новых компрессорных станций принимают κ_n = 1, т.е. предусматривая возможность самого напряженного периода работы всех потребителей одновременно); $V_{пр}$= 0,5 м^3/мин — предельно допустимые утечки на присоединении одного потребителя; $n_{пр}$ — количество присоединений потребителей; κ_n — коэффициент отклонения фактического давления в местах присоединения потребителей от допустимого среднего избыточного $p_{\text{ипр}}$= 0,4 (при проектировании новых компрессорных станций принимают$k_{\text{пр}}$=1) $V_{УТ}$ — предельно допустимые значения утечек сжатого воздуха на 1км магистрального воздухопровода (принимают равными:от компрессора до главного квершлага включительно 3,0 м^3/ (мин км) при среднем по длине избыточном давлении 0,6 МПа; для воздухопроводов групповых и участковых штреков 4 м^3/(мин км) при средних избыточных давлениях по длине соответственно 0,5 и 0,4 МПа]; L —длина одного из указанных выше участков магистрального воздухопровода; $k_{\text{ут}}$ — коэффициент отклонения фактического давления сжатого воздуха на участках магистрального воздухопровода от допустимого среднего по длине давления. При проектировании новых компрессорных станций $k_{\text{УТ}}$= 1.

Упростив формулу (2.49), получим

$$V_{\text{к.с}} = k_{\text{с}}\varphi\left[\mu\left(\sum V_{ni}k_{ni}n_{01i} + 2{,}7\sqrt{\sum V_{ni}^2 n_{ni}k_{02i}} + V_{\text{пр}}n_{\text{пр}}k_{\text{пр}}\right) + \sum V_{\text{ут}}/\text{k}_{\text{ут}}\right] \quad (2.50)$$

Необходимые для расчетов по формуле (2.50) данные о потребителях сжатого воздуха приведены в прил. 3.

Расчеты по первому слагаемому и подкоренному выражению формулы (2.50) даны в табл. 2.1.

Производительность компрессорной станции на горизонте по формуле (2.50) при коэффициенте сезонности $\kappa_c = 1$: в конце работ

$$V_{\text{к.с}} = 1 \cdot 1{,}02\left[1{,}05\left(213{,}01 + 2{,}7\sqrt{195{,}05 + 0{,}5 \cdot 75 \cdot 1}\right) + \right.$$

$$\left. + (3 \cdot 1{,}1 \cdot 1 + 4 \cdot 18 \cdot 1)\right] = 385 \text{ м}^3/\text{мин};$$

в начале работ

$$V_{\text{к.с}} = 1 \cdot 1{,}02\left[1{,}05\left(213{,}01 + 2{,}7\sqrt{195{,}05 + 0{,}5 \cdot 75 \cdot 1}\right) + \right.$$

$$\left. + 3 \cdot 1{,}1 \cdot 1\right] = 312 \text{ м}^3/\text{мин};$$

2. Расход воздуха на утечки:

в конце работ на горизонте

$$\sum V_{\text{ут.к}} = \frac{0{,}5 \cdot 75 + 3 \cdot 1{,}1 + 4 \cdot 18}{385}100 = 29{,}3\%$$

в начале работ на горизонте

$$\sum V_{\text{ут.н}} = \frac{0{,}5 \cdot 75 + 3 \cdot 1{,}1}{312}100 = 13{,}1\%$$

Среднее значение расхода воздуха на утечки за период работы на горизонте 21,2 %.

Таблица 2.1

Потребители		Номинальный расход воздуха потребителем V_n м^3/мин	Коэффициенты			
Наименование	Число n_n		K_{01}	K_{02}	$V_{ni}n_{ni}k_{01}$	$V_{ni}^2 n_{ni}k_{02}$
Комбайны	3	48	0,52	0	74,88	0
Лебедки комбайнов	3	21	0,53	0	33,39	0
Отбойные молотки	39	1,1	0,65	0,14	27,89	6,61
Бурильные молотки	12	4,3	0,33	0,2	17,03	44,38
Маневровые лебедки	6	14	0,08	0,06	6,72	70,56
Породопогрузочные машины	6	35	0,07	0,01	14,7	73,5
Вентиляторы местного проветривания	6	8	0,8	0	38,4	0
Итого:	75				213,01	195,05

3. Тип и число компрессоров. Для компрессорных станций производительностью до 500 м^3/мин применяют поршневые компрессоры, более 500 м^3/мин — как правило, центробежные компрессоры. При выборе количества компрессоров следует учитывать снижение их производительности вследствие износа. Коэффициент износа k_{v3}принимается для поршневых компрессоров производительностью 50 м^3/мин и 100 м^3/мин равным соответственно 0,9 и 0,95; центробежных производительностью 250 м^3 /мин и 500 м^3/мин — соответственно 0,87 и 0,94.

Резерв компрессоров принимают из расчета на один — два работающих один резервный; на три — пять работающих — два резервных; на 6 — 12 работающих — три резервных.

По расчетной производительности компрессорной станции $V_{кс}$ = 385

м^3/мин принимаем шесть компрессоров 4М10-100/8 производительностью 100 м^3/мин, из которых в работе будут четыре: в начале и конце работ на горизонте. Два компрессора резервные.

Таблица 2.2

Потребители		Номинальный расход воздуха потребителем V_n м^3/мин	Коэффициенты		$V_{ni}n_{ni}k_{01}$	$V_{ni}^2 n_{ni}k_{02}$
Наименование	Количество n_n		K_{01}	K_{02}		
Участок 2-3						
Комбайны	3	48	0,52	0	74,88	0
Лебедки комбайнов	3	21	0,53	0	33,39	0
Отбойные молотки	17	1,1	0,65	0,14	12,16	2,88
Бурильные молотки	8	4,3	0,33	0,2	11,35	29,58
Маневровые лебедки	4	14	0,08	0,06	4,48	47,04
Породо-погрузочные-машины	4	35	0,07	0,01	9,8	49
Вентиляторы местного проветривания	4	8	0,8	0	25,6	0
Итого:	43				171,66	128,5

При коэффициенте износа k_v= 0,95 производительность работающих компрессоров составит 4 *100*0,95 = 380 м^3/мин.

4. Расчет воздухопроводной сети. Цель расчета воздухопроводной сети — определение давления сжатого воздуха у компрессорной станции, при котором каждый из потребителей пневмоэнергии имеет гарантированное рабочее давление.

При расчете схему воздухопроводной сети разбиваем на участки, начало и конец каждого из которых определяем точками разветвления сети. Для всех

участков последовательно рассчитываем количество воздуха, проходящего по участку; необходимые диаметры труб; потери давления. По линии с наибольшим падением давления от самого удаленного потребителя до компрессора с учетом потерь давления в гибких воздухопроводах и рабочего давления у потребителя находим необходимые давления у компрессорной станции.

Участок *1 — 2*. Расход воздуха на этом участке равен производительности компрессорной станции, т.е. $V_{1\text{-}2}$ = 385 м^3/мин.

Расходы воздуха на участках сети определяем по формуле (2.50). В табл. 2.2 находим первое слагаемое и подкоренное выражение данной формулы применительно к участку *2 — 3*.

Участок *2 — 3*. Количество присоединений $n_{\text{пр}}$ = 43; длина подключенного воздухопровода квершлага 400 м, штреков — 12 км.

$$V_{2-3} = 1 \cdot 1{,}02[1{,}05\left(171{,}66 + 2{,}7\sqrt{128{,}5} + 0{,}5 \cdot 43\right) +$$

$$+(3 \cdot 0{,}4 \cdot 1 + 4 \cdot 12 \cdot 1)] = 290 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

В дальнейших расчетах исходим из того, что комбайновые участки /, // и *IV* имеют идентичное оборудование; это относится и к участкам ///, *V* и *IV*, где применяются отбойные молотки. Следовательно,

$$V_{2-5} = V_{1-2} - V_{2-3} = 385 - 290 = 95 \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$V_{5-\text{а}} = V_{5-b} = V_{4-\text{а}} = V_{2-5}/2 = 95/2 \approx 48 \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$V_{3-a} = V_{3-b} = V_{4-2} = (V_{2-3} - V_{4-a})/3 = (290 - 48)/3 \approx 81 \text{ м}^3/\text{мин}$$

$$V_{3-4} = V_{4-a} + V_{4-b} = 48 + 81 = 129 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Если оборудование добычных и проходческих участков не идентично, то расходы воздуха на участках сети следует рассчитывать так же, как для участка *2 — 3*.

Оптимальные диаметры труб находим по рис. 2-5. Стандартные диаметры (табл. 2.3) принимаем по прил. 2.

Эквивалентная длина при определении расчетной длины $l_{\text{р}}$ участков сети принята равной 10 % от фактической. Средняя плотность (кг/м^3)

Таблица 2.3

Участок сети (см. рис. 2.4)	Расход воздуха на участке V, м^3/мин	Диаметры труб, мм: Оптимальный По рис. 2.5, мм	Диаметры труб, мм: Принятый наружный, мм	Диаметры труб, мм: Принятый внутренний d, мм	Фактическая длинна участков труб $l_ф$	Расчетная длина с учетом эквивалентной длины	Скорость воздуха в трубе v, м/с	Расчетные потери на участке сети **Ар,** МПа
1-2	385	360	402	384	500	550	8,61	0,01475
2-3	290	320	351	335	150	165	8.53	0,00498
3-4	129	230	245	231	250	275	7,98	0,01053
2-5	95	200	219	207	200	220	7,32	0,00791
4—а	48	150	180	170	3000	3300	5,48	0,08099
4-Ь	81	190	219	207	3000	3300	6,24	0,08625
3—а	81	190	219	207	3000	3300	6,24	0,08625
з-ь	81	190	219	207	3000	3300	6,24	0,08625
5—а	48	150	180	170	3000	3300	5,48	0,08099
5-Ь	48	150	180	170	3000	3300	5,48	0,08099

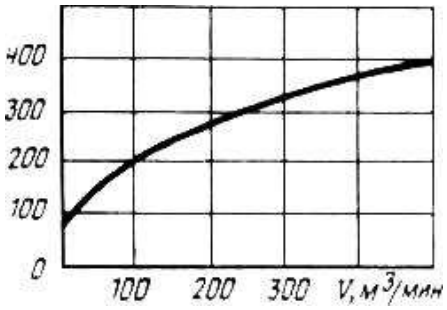


Рис. 2.5. Номограмма для определения оптимального диаметра труб

воздуха на всех участках сети принята одинаковой и вычислена по формуле

$$p_{\text{ср}} = \frac{p_{k\cdot c}+p_n}{2RT_{ср}} \qquad (2.51)$$

где $p_{\text{к с}}$ и p_n — абсолютные давления у компрессорной станции и потребителей, МПа; R= 287 Дж/(кг *К) - газовая постоянная воздуха; $T_{\text{ср}}$ = 273 + 20 = 293 $К$ — средняя температура сжатого воздуха в сети.

Принимая избыточное давление у наиболее удаленного потребителя 0,5МПа и максимально возможные потери давления 0,2 МПа, получим дав-

ление у компрессорной станции 0,7МПа. Следовательно,

$$p_{\text{ср}} = \frac{(0{,}8 + 0{,}6) \cdot 10^6}{2 \cdot 287 \cdot 293} = 8{,}32 \text{ кг/м}^3$$

Скорость (м/с) движения воздуха в трубах

$$v = \frac{4\rho_0 V}{60\pi d^2 \rho_{\text{ср}}} \qquad (2.52)$$

где ρ_0=1.293 кг/м^3- плотность воздуха при нормальных условиях; *V*- расход воздуха на участке сети, м^3/мин; *d* – внутренний диаметр труб участка сети, м, тогда для участка 1-2:

$$v_{1-2} = \frac{4 \cdot 1{,}293 \cdot 385}{60 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}384^2 8{,}32} = 8{,}61 \text{ м/с.}$$

Рассчитанные для всех участков скорости приведены в таблице 2,3

Падение давления (Па) на участке сети

$$\Delta p = \lambda \frac{L_{\text{р}} V^2}{d2} \rho_{\text{ср}}, \qquad (2.53)$$

Где $\lambda = 0{,}0334$ - коэффициент гидравлического трения, тогда для участка 1-2:

$$\Delta p_{1-2} = 0{,}0334 \frac{550 \cdot 8{,}61^2}{0{,}384 \cdot 2} 8{,}32 \cdot 10^6 = 0{,}01475 \text{ Мпа}$$

Вычисленные для всех участков падения давления приведены в табл. 2.3.

По данным табл. 2.3 потери давления от компрессора до самого удаленного участка по наиболее напряженной линии магистрального воздухопровода *1—2 — 3 — 4 — b:*

$$\sum \Delta p_{\text{м}} = 0{,}01475 + 0{,}00498 + 0{,}01053 + 0{,}08625 = 0{,}117 \text{ Мпа}$$

Потери давления (МПа) с учетом потерь в гибких воздухопроводах (шлангах)

$$\sum \Delta p = \sum \Delta p_{\text{м}} + \Delta p_{\text{ш}} \qquad (2.54)$$

где $\Delta p_{\text{ш}}$ — допустимые потери давления в гибких воздухопроводах, МПа; в воздухопроводах приемников, расположенных на штреке длиной 5 —15 м, Δp = 0,03….0,05 МПа; в воздухопроводах молотковой лавы длиной 100 - 150

м $\Delta p_{ш}$ = 0,05…0,08 МПа; в воздухопроводах комбайнов, щитовых агрегатов длиной 120- 180 м$\Delta p_{ш}$ = 0,08….0,12 МПа.

В конце линии *1 -2 - 3-4-b* расположен комбайновый участок. Принимая $\Delta p_{ш}$ = 0,08 МПа, получим

p = 0,117 +0,08 = 0,197 МПа,

что меньше допустимого $2\Delta p$ = 0,2 МПа.

При $\sum\Delta p$ > 0,2 МПа необходимо увеличить диаметр труб, особенно на протяженных участках сети.

С учетом избыточного давления у потребителя p_n = 0,5 МПа необходимое избыточное давление у компрессорной станции

$$p_{к.с} = p_{п} + \sum\Delta p = 0{,}5 + 0{,}197 = 0{,}697 \text{ МПа}. \quad (2.55)$$

Принимаем $P_{к.с}$= 0,7 МПа.

5. Технико-экономические показатели. Принимаем 20 ч работы компрессоров в сутки и 300 рабочих дней в году.

Средняя производительность компрессорной станции в период работы на горизонте

$V_{ср}$= (385+ 312)/2 = 348,5 м^3/мин.

Среднегодовая выработка (м^3) сжатого воздуха

$$V_r = 60V_{ср}\eta_{ч}\eta_{д} \quad (2.56)$$

т.е. $V_r = 60 \cdot 348{,}5 \cdot 20 \cdot 30 = 125{,}46 \cdot 10^6$м.

Работа, затраченная на сжатие 1 м^3 воздуха, по формуле (2.22)

$$L_{к.ад} = z\frac{k}{k-1}p_1V_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{zk}} - 1\right] =$$

$$= 2\frac{1{,}4}{1{,}4-1}0{,}1 \cdot 10^6 \cdot 1\left[\left(\frac{0{,}8}{0{,}1}\right)^{\frac{1{,}4-1}{2\cdot 1{,}4}} - 1\right] = 242130 \text{ Дж}.$$

Потребляемая мощность по формуле (2.33)

$$N_{к} = \frac{L_{к.ад}V_{мин}}{1000 \cdot 60\eta_{i\ ад}\eta_{м}} = \frac{242130 \cdot 100}{1000 \cdot 60 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9} = 498 \text{ кВт}.$$

Компрессор 4М10-100/8 поставляется комплектно с электродвигателем

СДК 2-17-26-12К мощностью 630 кВт, n = 500 об/мин, напряжением 6000 В.

Годовой расход (кВт ч) электроэнергии

$$W_r = k_{\text{в.н}} \frac{\sum \text{N}_\text{к}}{\eta_\text{д}\eta_\text{с}} \eta_\text{ч}\eta_\text{д}, \qquad (2.57)$$

где κ = 1,02….1,04 — коэффициент расхода электроэнергии на подачу охлаждающей воды и вспомогательные нужды (освещение, питание генераторов возбуждения, вентиляция и т.д.); $\sum N_\text{к}$ — суммарная расчетная мощность двигателей компрессоров, работающих одновременно, кВт; $\eta_\text{д}$ — к.п.д. двигателя; $\eta_\text{с}$ = 0,95 — к.п.д. электрической сети.

В числовом выражении

$$W_r = 1{,}04 \frac{4 \cdot 498}{0{,}9 \cdot 0{,}95} 20 \cdot 300 = 14{,}54 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Расход сжатого воздуха на 1 т угля

$$V_\text{т} = \frac{V_r}{V_r}, \qquad (2.58)$$

$$V_\text{т} = \frac{125{,}46 \cdot 10^6}{1{,}2 \cdot 10^6} = 104{,}6 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Расход электроэнергии на 1 т угля

$$W_\text{т} = \frac{W_r}{A_r}, \qquad (2.59)$$

т. е. $W_\text{т} = \frac{14{,}54 \cdot 10^6}{1{,}2 \cdot 10^6} = 12{,}12 \text{кВт} \cdot \text{ч/т}.$

Расход электроэнергии на 1 м^3 воздуха

$$W_{\text{м}^3} = \frac{W_r}{V_r}, \qquad (2.60)$$

т. е. $W_{\text{м}^3} = \frac{14{,}54 \cdot 10^6}{125{,}46 \cdot 10^6} = 0{,}116 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$

Задачи

2.80 Определить производительность компрессорной станции в начале и конце работы на горизонте, а также средний расход воздуха на утечки за период работы на горизонте, если в шахте работает следующее оборудование:

три щитовых агрегата АЩМ, три насосные станции СНУ-5П, 16 отбойных молотков МО-6П, буровая установка "Стрела-77", восемь бурильных молотков ПР-27, четыре породопогрузочные машины 1ППН-5П, четыре вентилятора ВМП-5, четыре маневровые лебедки ЛВП-34, четыре лебедки ШВП для доставки материалов в лаву. Общая длина воздухопровода на поверхности, в стволе и квершлагах 1300 м, на штреках в начале работы на горизонте 800 м, в конце — 11000 м.

2.81 По результатам задачи 2.80 определить технико-экономические показатели компрессорной станции. В работе постоянно находится пять компрессоров 4М10-100/8 с параметрами: N_K= 500 кВт, n =20, n = 300, $\eta_Д$ = 0,93, $\eta_с$ = 0,95, $к_{в\,н}$ = 1,03, $A_г$ = 1,5 млн. т.

2.82 Определить производительность компрессорной станции в момент окончания работ на горизонте, а также расход воздуха на утечки. В шахте работает оборудование: четыре щитовых агрегата АЩМ, два комбайна "Поиск-2", шесть насосных станций СНУ-5П, две комбайновые лебедки 1ЛГКН, 12 бурильных молотков ПР-27, шесть породопогрузочных машин 1ППН-5П, шесть вентиляторов ВМП-5, шесть маневровых лебедок ЛВП-13, шесть лебедок ШВП для доставки материалов в лаву. Общая длина воздухопровода на поверхности, в стволе и квершлагах 1500 м, на штреках — 15000 м.

2.83 Рассчитать оптимальный диаметр для участка сети длиной $L_ф$= 2,5км, при расходе воздуха V — 150 м^3/мин.

Принять стандартный диаметр труб при толщине стенки δ=7 мм. Найти скорость воздуха и потери давления, если $p_{ср}$ = 8,5 кг/м^3.

2.84 Определить стандартные диаметры труб и потери давления на участках сети, проложенной на поверхности и по стволу — участок *1—2*

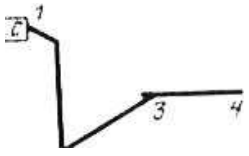


Рис. 2.6. Схема трубопровода к задаче 2.84

(рис. 2.6), в квершлаге *2 - 3 ,* штреке *3 - 4 ,* если расходы воздуха V= 450 м^3/мин; $V_{3\text{-}4}$ = 210 м^3/мин, $V_{3\,-\,4}$ = 125 м^3/мин. Длины участков $L_{ф1\text{-}2}$— 850 м,

$L_{ф2\text{-}3}$= *400м,* $L_{ф3\text{-}4}$ = 2800 м. Средняя плотность воздуха $p_{ср}$ = 8,3 кг/м^3.

2.85 Для условий задачи 2.84 рассчитать необходимое избыточное давление у компрессорной станции, приняв давление у потребителя $p_п$ = 0,5 МПа и потери давления в гибком воздухопроводе комбайновой лавы $\Delta p_ш$ =0,1 МПа.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ШАХТНЫЕ ПОДЪЕМНЫЕ УСТАНОВКИ

1. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

§1. ПОДЪЕМНЫЕ КАНАТЫ

Примеры расчета

Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для грузолюдской подъемной установки с равновесным уравновешивающим канатом (рис. 3.1).

Расстояние от нижней приемной площадки до оси верхнего направляющего шкива H =450 м (нижняя приемная площадка для клетей — уровень околоствольного двора, для скипов — уровень их загрузки в зумпфе). Клеть двухэтажная 2УКНЗ.З-3 на одну вагонетку АГ-1,0 в этаже. Вместимость вагонетки — 1 м^3, собственная масса — 509 кг. Собственная масса клети 5700 кг. Так как установка грузолюдская, то она может транспортировать и породу, плотностью 2200 кг/м^3 (плотность угля 1200 — 1300 кг/м^3). Следовательно, полезная масса $Q_п$ = 2 • 2200 = 4400 кг, а общая масса, которую воспринимает канат $Q_р$+ $Q_с$= = 4400 +5700 +2*509 = 11118 кг.

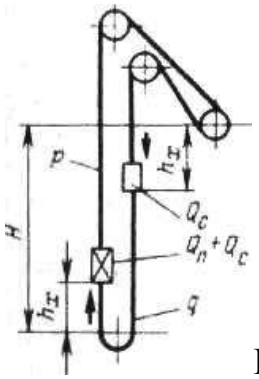


Рис.3.1. К расчету подъемных кранов

Решение. Принимаем канат с временным сопротивлением разрыву $\sigma_в$ = 1568 Н/мм^2.

Так как установка грузолюдская, то запас прочности нового каната по Правилам безопасности (ПБ) $z \geq 7.5$ (для одноканатных грузовых установок $z \geq 6{,}5$, для людских $z \geq 9$, для установок со шкивом трения $z \geq 8$; для многоканатных грузовых $z \geq 7$, людских, грузолюдских установок $z \geq 8$).

Условная плотность каната круглопрядной конструкции $p_о$ =9400 кг/м^3.

Линейная масса каната (кг/м) для установок с равновесным уравновешивающим канатом *(q=p)* и без него *(q*= 0):

$$p = \frac{Q_п + Q_с}{\frac{\sigma}{g z \rho_0} - H_к} \qquad (3.1)$$

Подставив числовые данные в формулу (3.1), получим:

$$p = \frac{4400 + 6718}{\frac{1568 \cdot 10^6}{9{,}81 \cdot 7{,}5 \cdot 9400} - 450} = 6{,}12 \text{ кг/м}.$$

Расчетная масса 1000 м каната *m* =6,12 • 1000 = 6120 кг. Принимаем m_o — 6349 (см. прил. 6), тогда *p* = 6,349 кг/м. Суммарное разрывное усилие всех проволок каната $Q_р$= 1 010 000 Н.

Запас прочности каната

$$z = \frac{Q_р}{g(Q_п + Q_с + pH_к)} \qquad (3.2)$$

т. е. $z = \frac{1010000}{9{,}81(4400 + 6718 + 6{,}349 \cdot 450)} = 7{,}37,$

что недопустимо ПБ. Поэтому по прил. 6 принимаем канат с *p* = 7,397 кг/м и $Q_р$= 1 175 000 Н. Запас прочности этого каната

$$z = \frac{1175000}{9{,}81(4400 + 6718 + 7{,}397 \cdot 450)} = 8{,}29,$$

что по ПБ допустимо.

Окончательно выбираем стандартный подъемный канат с *p* = 7,397 кг/м и Q_p= 1 175 000 Н, диаметр каната d_k=45 мм.

3.2 Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для скиповой

установки с тяжелым уравновешивающим канатом при отношении линейной массы q уравновешивающего каната к массе p подъемного каната $p_к = q/p$= 1,15 /1,25, $H_к$ = 520 м. Используется скип 2СН9,5-1 с $Q_с$= 8460 кг и $Q_п$= 8500 кг; z> 6,5; $\sigma_в$ = 1568 Н/мм^2.

Решение. Линейная масса подъемного каната для установок с тяжелым уравновешивающим канатом

$$p = \frac{Q_п + Q_с}{\frac{\sigma_в}{qz\rho_о} - \mu_к H_к}, \qquad (3.3)$$

т. е. $p = \dfrac{8500 + 8460}{\dfrac{1568 \cdot 10_6}{9{,}81 \cdot 6{,}5 \cdot 9400} - 1{,}25 \cdot 520} = 8{,}63$ кг/м.

Принимаем канат с p — 9,94 кг/м и Q_p= 1 575 000 Н (см. прил. 6) и уравновешивающий канат с q= 11,5 кг/м (см. прил. 7), тогда $\mu_к$ = 11,5/9,94 = =1,16.

Запас прочности каната

$$z = \frac{Q_р}{gQ_п + Q_с + qH_к}, \qquad (3.4)$$

т. е. $z = \dfrac{1575000}{9{,}81(8500 + 8460 + 11{,}5 \cdot 520)} = 6{,}99,$

что допустимо ПБ.

Окончательно принимаем стандартный подъемный канат с p ' = 9,94 кг/м и Q_p= 1 575 000Н; d= 50,5 мм и уравновешивающий плоский канат с q= 11,5 кг/м шириной b —170 мм и толщиной δ = 27,5 мм.

3.3 Рассчитать и выбрать для скиповой установки без уравновешивающего каната стандартный подъемный канат с двойным запасом прочности, разрешенным ПБ для установок с H>600 м, скип 1СН 11-1 с $Q_с$= 8900 кг, $Q_п$= 9300 кг (при загрузке углем); $H_к$ = 675 м; $\sigma_д$ = 1568 Н/мм^2.

Решение. Разрывное усилие на канат без учета его массы

$$Q_р = zg(Q_п + Q_с) \qquad (3.5)$$

По ПБ для людских установок z> 13, для грузолюдских z≥ 10, для грузовых z≥8,5, для одноканатных со шкивами трения z≥11,5, для много-

канатных грузовых подъемов z>9,5,

$$Q_{\text{р}} = 8{,}5 \cdot 9{,}81(9300 + 8900) = 1517610 \text{ Н}.$$

Ориентировочно принимаем канат с p = 9,94 кг/м, Q= 1 575000 Н (см. прил. 6).

Запас прочности каната с учетом собственной и полезной массы скипа и массы каната длиной 675 м по формуле (3.2)

$$z = \frac{1575000}{9{,}81(9300 + 8900 + 9{,}94 \cdot 675)} = 6{,}45,$$

что допустимо ПБ (так как z должно быть: не ниже 4,5 для грузовых установок и не ниже 5 — для грузолюдских). Проверка по формуле (3.2) без учета массы подъемного каната: z = 8,82.

Окончательно принимаем стандартный канат со следующими параметрами: p = 9,94 кг/м; d_K= 50,5 мм; $Q_{\text{р}}$ = 1575 000 Н..

3.4 Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для многоканатной скиповой подъемной установки, если H_k = 720 м, скип 2СН 15-2 с собственной массой 16700 кг, полезная масса угля 13000 кг, подъемная машина МК 3,25 х 4 (3,25 м — диаметр шкива, 4 — число подъемных канатов), $z \geq 7$; $\sigma_{\text{В}}$= 1764 Н/мм^2.

Решение. Суммарная линейная масса всех подъемных канатов по формуле (3.1)

$$\sum p = \frac{13000 + 16700}{\frac{1764 \cdot 10^6}{9{,}81 \cdot 7 \cdot 9400} - 720} = 14{,}76 \text{ кг/м}.$$

Масса одного подъемного каната

$$p = \sum p / n_{\text{к}} \qquad (3.6)$$

где $n_{\text{к}}$ — число подъемных канатов.

В числовом выражении

p = 14,76/4 = 3,69 кг/м.

Принимаем подъемный канат с p = 4,155 кг/м; $Q_{\text{р}}$= 742500 Н; d_K= 33 мм (см. прил. 6) и два уравновешивающих плоских каната с линейной массой

каждого q= 8,56 кг/м (см. прил. 7).

Запас прочности выбранных канатов с учетом

$$n_{к.у}q > n_к p(2 \times 8{,}56 > 4 \times 4{,}155) \quad (3.7)$$

$$z = \frac{n_к Q_з}{g(Q_п + Q_с + n_{к.у} q H_к)}. \quad (3.8)$$

Если $n_{к.у}q < n_к p$, то

$$z = \frac{n_к Q_р}{g(Q_п + Q_с + n_к p H_к)} =$$

$$= \frac{4 \cdot 742500}{9{,}81(13000 + 16700 + 2 \cdot 8{,}56 \cdot 720)} = 7{,}2,$$

что допустимо ПБ.

3.5 Рассчитать и выбрать для многоканатной скиповой подъемной установки стандартный канат с двойным значением запаса прочности, если H —1100 м. Скип ЗСН 20-2 с собственной массой 17800 кг, полезная масса угля 17500 кг; $\sigma_в$ = 1764 мм^2; подъемная машина МК 4х4 (МК — многоканатная, 4 — диаметр шкива, 4 — число подъемных канатов) ; $n_{к\,у}q < n_к p$*.

Решение. Суммарное разрывное усилие .на четыре ($n_к$ =4) подъемных каната

$$Q_{р.п} = qz(Q_п + Q_с). \quad (3.9)$$

Для многоканатных установок согласно ПБ z = 9,5.

После подстановки данных в формулу (3.9)

$Q_{рп}$= 9,81 - 9,5 (17500 + 17800) = 3 290000 Н.

Разрывное усилие на один подъемный канат

$$Q_п = Q_{пп} / n_К \quad (3.10)$$

т.е. $Q_р$= 3290 000/4 = 822500 Н.

Ориентировочно принимаем канат с p = 4,965 кг/м; $Q_р$= 887000 Н (см. прил. 6).

Запас прочности каната с учетом собственной полезной массы скипа и массы каната длиной $H_к$ =1100 м по формуле (3.8)

$$z = \frac{4 \cdot 887000}{9{,}81(17500 + 17800 + 4 \cdot 4{,}965 \cdot 1100)} = 6{,}33,$$

что допустимо, так как минимальное значение z= 4,5. Проверка по формуле (3.7) без учета массы каната: z= 10,25.

Окончательно принимаем стандартный канат со следующими данными: p = 4,965 кг/м; $d_к$=36,5мм; Q_p=887000 Н.

3.6 Определить допустимую ПБ общую массу, воспринимаемую канатом ($Q_п$+ $Q_с$) на подъемный канат системы с равновесным подвесным канатом грузолюдской установки. Дано: диаметр каната $d_к$ = 42 мм, временное сопротивление разрыву каната $а_в$ = 1568 Н/мм^2, запас прочности каната по ПБ$_z$> 7,5, расстояние от нижней приемной площадки до оси верхнего направляющего шкива $H_к$ = 500 м.

Решение. На основании формулы (3.2) общая масса, воспринимаемая канатом,

$$Q_п + Q_с = \frac{Q_р}{qz} - pH_к. \qquad (3.11)$$

По значениям d_K и $о_в$ находим, что линейная масса каната p = 6,349 кг/м, разрывное усилие на канат $Q_р$= 1 010000 Н (см. прил. 6).

$$Q_п + Q_с = \frac{1010000}{9{,}81 \cdot 7{,}5} - 6{,}349 \cdot 500 = 10553 \text{ кг}.$$

3.7 Определить допустимое значение $Q_п$+ $C_с$ для каната рассчитанного с двойным запасом прочности. Установка грузолюдская с уравновешивающим канатом. Замером на действующей установке на шахте установлено, что диаметр подъемного каната $d_к$= 45 мм, уравновешивающий канат — плоский шириной b= 145 мм и толщиной δ = 23,5 мм. Временное сопротивление разрыву проволок подъемного и уравновешивающего канатов $\sigma_в$ = 1568 Н/мм^2; расстояние от нижней приемной площадки до оси верхнего направляющего шкива $H_к$ = 700 м.

Решение. По прил. 6, 7 и нашим данным выбираем подъемный канат с

d_K= 45 мм, p = 7,397 кг/м, разрывным усилием $Q_р$= 1 175 000 Н и уравновешивающий канат, ширина и толщина которого соответственно 145 мм и 23,5 мм, q= 8,56 кг/м.

Установка должна быть с тяжелым уравновешивающим канатом, так как $q>p$,$\mu_к = q/p$=8,56/7,397 = 1,15.

По запасу прочности каната z = 10 и на основании формулы (3.5)

$Q_n + Q_c$= 1 175 000/(9,81-10) = 11980кг.

По второму значению z= 5 и на основании формулы (3.4)

$$Q_п + Q_с = Q_р/gz - pH_к = 1175000/9{,}81 \cdot 5 -$$

$$-8{,}56 \cdot 700 = 17963 \text{ кг.}$$

По данным п. 2 и 3 принимаем значение $Q_п$+ Q_c= 11980 кг.

3.8 Определить предельную длину каната $H_к$ от нижней приемной площадки до верхнего направляющего шкива, если $Q_п$+ Q_C = 11118 кг, установка грузолюдская без уравновешивающего каната, диаметр подъемного каната d_k= 45 мм, временное сопротивление разрыву проволок каната σ_B = 1568 Н/мм^2.

Решение. По таблицам стандартных канатов (см. прил. 6) устанавливаем, что при d_K= 45 мм и $q_в$ = 1568 Н/мм^2 линейная масса 1 м каната p = 7,397 кг/м, разрывное усилие всех проволок каната Q = 1 175000 Н.

На основании формулы (3.2)

$$H_к = \frac{Q_з}{gzp} - \frac{Q_п + Q_с}{p}, \qquad (3.12)$$

т. е. $H_к = \dfrac{1175000}{9{,}81 \cdot 7{,}5 \cdot 7{,}397} - \dfrac{11118}{7{,}397} = 656$ м.

§2. ОРГАНЫ НАВИВКИ ПОДЪЕМНЫХ КАНАТОВ

Цилиндрические барабаны (рис. 3.2)

Примеры расчета

3.9 Определить размеры одного цилиндрического барабана и выбрать двухбарабанную подъемную машину из числа изготавливаемых на заводах (см. прил. 8) по следующим данным: система без уравновешивающего каната (*q*= 0), расстояние между нижней и верхней приемными площадками, т.е. высота подъема *H* =430 м (при клетевом подъеме нижняя приемная площадка — место загрузки клети на уровне почвы околоствольного двора, при скиповом — место загрузки скипа в зумпфе ствола; верхняя приемная площадка — место разгрузки подъемных сосудов на поверхности шахты), расстояние от нижней приемной площадки до верхнего направляющего шкива $H_к$ = 450 м, диаметр подъемного каната $d_К$= 45 мм, линейная масса каната *p* — 7,397 кг/м, собственная масса клети и вагонеток $Q_С$=6718 кг, полезная масса породы в двух вагонетках $Q_п$= 4400 кг.

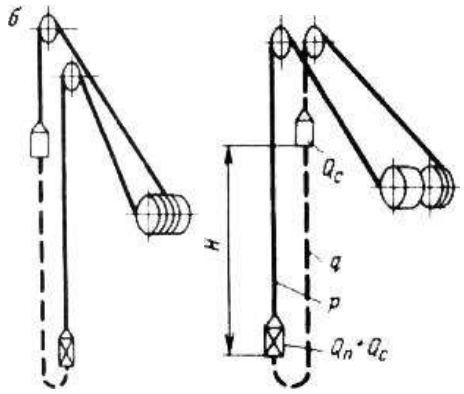


Рис. 3.2. Установки с двумя (*а*)и одним *(б)* цилиндрическими барабанами

Решение. Диаметр (мм) барабана

$$D_б \geq 79d_к, \qquad (3.13)$$

т. е. $D_б = 79 \cdot 45 = 3559$ мм.

Принимаем, что из числа изготавливаемых Ново-Краматорским машиностроительным заводом (НКМЗ) им. В.И.Ленина барабанов (см. прил. 8) $D_б$= 4 м. Таким же принимается и диаметр направляющего шкива Dн.ш.

Ширина одного цилиндрического барабана двухбарабанной подъемной машины, занятая подъемным канатом,

$$B_к = \left(\frac{H + l_и}{\pi D_б} + n_{в.т}\right)(d_к + b_з). \qquad (3.14)$$

Длину каната для испытания принимаем $l_и$= 30 м, число витков трения

(для ослабления натяжения каната в месте его закрепления к барабану) при футерованных барабанах по ПБ $n_{вт}$=3, при нефутерованных $n_{в\ т}$ = 5, зазор между витками каната b_3 = *2- 3* мм.

По нашим данным ширина барабана

$$B_к = \left(\frac{430 + 30}{3{,}14 \cdot 4} + 5\right)(45 + 3) = 2016 \text{ мм.}$$

Принимаем ширину барабана *B* = 2,3 м (см. прил. 8).

Проверяем барабан на статические нагрузки. Максимальное статическое натяжение каната

$$T_{ст\,max} = (Q_п + Q_с + pH_к)g, \qquad (3.15)$$

т. е. $T_{ст\,max} = (4400 + 6718 + 7{,}397 \cdot 450)9.81 = 141720$ Н.

Максимальная разность статических натяжений канатов

$$F_{ст\,max} = [Q_п + (p - q)]g, \qquad (3.16)$$

т. е. $F_{ст\,max} = (4400 + 7{,}397 \cdot 430)9{,}81 = 74370$ Н.

Полученные значения $T_{ст\ max}$ и $F_{ст\ max}$ не превышают значений, приведенных в прил. 8.

Выбираем подъемную машину НКМЗ 2Ц-4х2,3 (2Ц — два цилиндрических барабана, 4 и 2,3 — соответственно диаметр и ширина барабана, м).

3.10 Определить размеры цилиндрического разрезного барабана (рис. 3.3) и выбрать однобарабанную подъемную машину из числа изготавливаемых на заводах (см. прил. 9) по следующим данным: *H* =475 м; $d_к$ = 50,5 мм; *p* — 9,94 кг/м; *q* = 0; H_k = 500 м; $Q_с$=9300 кг; Q_n= 8900 кг.

Решение. Диаметр барабана по формуле (3.13)

$D_б$ = 79 * 50,5 = 3990 мм.

Рис. 3.3. К расчету цилиндрического разрезного барабана (к примеру 3.10)

Принимаем диаметр из числа изготавливаемых заводами барабанов (см. прил. 9) *D*= 5 м (диаметр направляющего шкива *D*нш = 4м).

Ширина (мм) одного разрезного цилиндрического барабана, занятая канатом однобарабанной подъемной машины

$$B_{\text{к}} = \left(\frac{H + 2l_{\text{и}}}{\pi D_{\text{б}}} + 2n_{\text{в.т}} + n_{\text{в.з}}\right)(d_{\text{к}} + b_{\text{з}}). \qquad (3.17)$$

Зазор между свивающейся и навивающейся ветвями каната принимаем $n_{вз} = 2$, тогда

$$B_{\text{к}} = \left(\frac{475 - 2 \cdot 30}{3{,}14 \cdot 5} + 2 \cdot 5 + 2\right)(50{,}5 + 3) = 2515 \text{ мм}.$$

На заклиненной левой части барабана канат займет ее ширину, определяемую по формуле (3.14),

$$B_{\text{к}} = \left(\frac{475 - 30}{3{,}14 \cdot 5} + 5\right)(50{,}5 + 3) = 1988 \text{ мм}$$

Принимаем ширину барабана $B = 3$ м (см. прил. 9). Ширина заклиненной части барабана от реборды до разреза барабана $B_З = 2{,}4$ м, т.е. $B_{\text{з}} > B_{\text{к з}}$, что и необходимо.

Проверяем барабан на статические нагрузки. Максимальное статическое натяжение каната по формуле (3.15)

$$T_{\text{ст } max} = (8900 + 9300 + 9{,}94 \cdot 500)9{,}81 = 227300 \text{ Н}.$$

Максимальная разность статических натяжений канатов по формуле (3.16)

$$F_{\text{ст } max} = (8900 + 9{,}94 \cdot 475)9{,}81 = 133630 \text{ Н}.$$

Полученные значения $T_{\text{стmgx}}$ и $F_{\text{стmgx}}$ не превышают значений, приведенных в прил. 9.

Выбираем подъемную машину НКМЗ ЦР-5х3/0,6 (ЦР - цилиндрический разрезной барабан, 5 и 3 диаметр и ширина барабана, м, 0,6 — ширина $B_п$ переставной части барабана).

3.11 Определить, какую рабочую часть H подъемного каната можно расположить на двух цилиндрических барабанах машины 2Ц-5х2,4, если: $D_{\text{б}} = 5$ м, $B = 2{,}4$ м; $d_к = 50{,}5$ мм, $b_з = 3$ мм.

Решение. На основании формулы (3.14)

$$H = \frac{B}{d_{\text{к}} - b_{\text{з}}}\pi D_{\text{б}} - l_{\text{и}} - \pi D_{\text{б}} n_{\text{в.т}},$$

или

$$H = \pi D_б(n_в - n_{в.т}) - l_и.$$

Число витков каната на поверхности барабана

Подставляя значения, получим:

H = 3,14 *5(44,86-5) - 30 = 595 м.

3.12 Рассчитать, какую рабочую часть *H* подъемного каната можно расположить на одном разрезном цилиндрическом барабане машины ЦР-6х3/0,6, если:$D_б$ = 6 м; ширина заклиненной части барабана $b_З$ = 3 — 0,6 = 2,4 м; $d_К$= 50,5 мм; $b_з$ = 3 мм.

Решение. Для вычисления длины каната (м), располагаемого от реборды заклиненной части барабана до его разреза, т.е. на ширине этой части барабана, ($B_З$ = 3 — 0,6 = 2,4 м) используем формулу для одной ветви каната

$$B_з = \left(\frac{H + l}{\pi D_б} + n_{в.т} + n_{в.з}\right)(d_к + b_з), \qquad (3.18)$$

откуда

$$H = \frac{B_з}{d_к + b_з}\pi D_б - l_и - \pi D_б(n_{в.т}+n_{в.з}). \qquad (3.19)$$

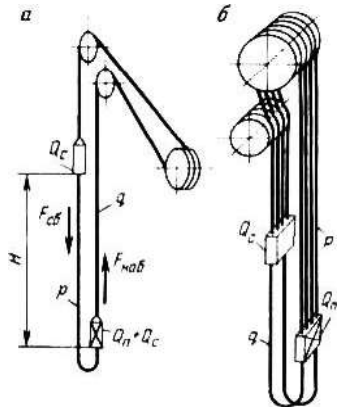
Так как *nв=B3/(dk+b3)* – число витков каната на барабане, то $H = \pi D_б(n_В - n_{ВТ} - n_{ВЗ}) - l_и$

$$H = \pi D_б(n_в - n_{в.т} - n_{в.з}) - l_и.$$

Вычислить

$$n_в = \frac{2400}{50,5 + 3} = 44,86,$$

Получим *H* = 3,14 -6 (44,86 - 5 - 2) - 30 = 683 м.



Ведущие шкивы трения для одноканатных и многоканатных установок (рис. 3.4)

Рис. 3.4. Установки со шкивом трения:

а — одноканатная; *б* — многоканатнан

Примеры расчета

3.13 Определить удельное давление на футеровку ведущего шкива трения одноканатной подъемной установки машины ШТ-7,2, если H = 750 м, Q_c= 6718 кг, $Q_п$= 4400 кг, d_K =-45 мм, p = 7,397 кг/м, q = 7,69 кг/м.

Решение. Отношение диаметра шкива трения к диаметру каната $О_{шт}/д_к$ =7200/45 = 160.

Обычно принимают Dшт/d_K ≥120.

Удельное давление на футеровку шкива

$$p_{ш.т} = \frac{F_{наб} + F_{сб}}{D_{ш.т} d_к}, \qquad (3.20)$$

Где $F_{наб}$ и $F_{сб}$ ¯ натяжение соответственно набегающей на шкив и сбегающей со шкива ветви каната.

При наших данных

$$p_{ш.т} = \frac{Q_п + 2Q_с + pH + qH}{D_{ш.т} d_к} g, \qquad (3.21)$$

т. е. $p_{ш.т} = \frac{4400 + 2 \cdot 6718 + 7{,}397 \cdot 750 + 7{,}69 \cdot 750}{4{,}5 \cdot 720} 9{,}81 =$

=88,26 Н/см^2.

При футеровке шкива из прорезиненных шашек допускается $p_{шт}$,= 140-160 Н/см^2 при пластмассовой футеровке – 160-200 Н/см^2

3.14. Рассчитать диаметр ведущего шкива трения многоканальной установки с четырьмя подъемными канатами и двумя уравновешивающими плоскими канатами и выбрать подъемную машину, если р = 3,768 кг/м; H =870 м; $Н_к$ = 900 м; $Q_с$ = 14400 кг; $Q_п$= 13600 кг; d_k=32 мм; q= 7,69 кг/м.

Решение. Диаметр четырех желобчатого шкива трения

$D_{мш}$ = 95$d_к$ = 95 • 32 = 3040 мм.

Ориентируемся на подъемную машину МК 3,25 х 4 с $О_{мш}$ = 3,25 м.

Отношение $О_{мш}$ /$d_к$ при угле охвата канатом шкива 180°С должно быть не менее 79, при большем угле — 95, при канатах закрытой конструкции — 100.

Удельное давление на футеровку шкива

$$p_{ш.т} = \frac{Q_п + 2Q_с + n_к p H_к + n_{к.у} q H_к}{n_ж D_{ш.т} d_к} g,$$

где $n_ж$ — число желобков на шкиве трения.

Подставив данные из условия в формулу, получим

$$p_{ш.т} = \frac{13600 + 2 \cdot 14400 + 4 \cdot 3{,}768 \cdot 900 + 2 \cdot 7{,}69 \cdot}{4 \cdot 325 \cdot 3{,}2} 9{,}81 =$$

$$= 164{,}6 \text{ Н/см}^2,$$

что допустимо.

Максимальное статическое натяжение каната по формуле (3.15)

$$T_{ст\,max} = (13600 + 14400 + 4 \cdot 3{,}768 \cdot 900)9{,}81 = 407751 \text{ Н}.$$

Максимальная разность статических натяжений по формуле (3.16)

$$F_{стmax} = 13600 + (4 \cdot 3{,}768 - 2 \cdot 7{,}69)870 \cdot 9{,}81 = 130800 \text{ Н}.$$

что допустимо для машины МК 3,25 х 4, так как по ее данным (см. прил. 10) $Т_{стmax}$= 500000 Н, $F_{СТmax}$=150000 Н

Окончательно выбираем многоканатную машину МК 3,25 х 4. Бицилиндроконические барабаны.

Примеры расчета

3.15 Выбрать подъемную машину с бицилиндроконическим барабаном (рис. 3.5), если: H = 900 м; $H_к$ = 920 м; $Q_с$ = 8460 кг; $Q_п$= 8500 кг; р = 8,496 кг/м; d_K=48,5 мм.

Решение. Диаметр малого цилиндра

Dмц = 79d_k = 79 • 48,5 = 3832 мм.

м. ц к

Предварительно ориентируемся на подъемную машину типа БЦК-8/5 х

2,7 (БЦК — бицилиндроконический; 8 и 5 — диаметр большого и малого большого цилиндра, м). Ширина малого цилиндра 0,87 м; ширина конической части 1,0 м; горизонтальная проекция между центрами витков каната на конусе b_k = 120 - 140 мм; зазор $b_з$ между витками каната на малом цилиндре 3-5 мм; то же, на большом цилиндре — 2-3 мм; $l_и$ = 30 м.

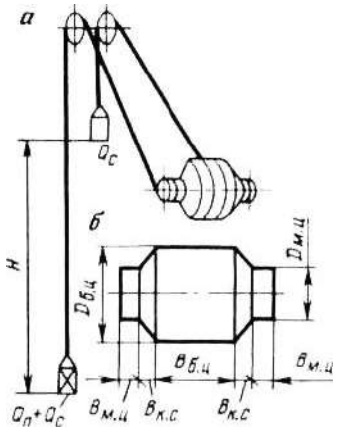


Рис. 3.5. Установка с бицилиндроконическим барабаном (а) и бицилиндроконический барабан (6)

Число витков каната на малом цилиндре

$$n_{м.ц} = B_{м.ц}/(d_к - b_з) = 870/(48{,}5 + 5) = 16{,}26,$$

из них: трения $n_{вт}$ = 5, рабочей части каната $n_{мц}$ = 5, на испытание каната $n_и = I_и/\pi D_{МЦ}$ = 30/3,14 *5 ≈ 2. Крепление каната к малому цилиндру производится на расстоянии четырех витков от реборды.

Длина рабочей части каната на малом цилиндре

$$h_{м.ц} = \pi D_{м.ц} n_{м.ц} = 3{,}14 \cdot 5 \cdot 5 = 78{,}5 \text{ м}.$$

Длина каната на конической части барабана

$$h_к = \frac{B_к}{b_к}\pi\frac{D_{м.ц} + D_{б.ц}}{2} = \frac{1000}{140}\cdot 3{,}14\frac{5+8}{2} = 145{,}8 \text{ м}.$$

Длина каната на большом цилиндре и число витков каната на нем:

$$h_{б.ц} = H - h_{м.ц} - h_к = 900 - 78{,}5 - 145{,}8 = 675{,}7 \text{ м};$$

$$n_{б.ц} = \frac{h_{б.ц}}{\pi D_{б.ц}} = \frac{675{,}7}{3{,}14 \cdot 8} = 26{,}9$$

Ширина большого цилиндра, занятая канатом,

$$B_{б.ц} = n_{б.ц}(d_к + b_з) = 26{,}9(48{,}5 + 3) = 1385 \text{ мм}.$$

Сопоставляя данные барабана и данные расчета, видим, что подъемная машина БЦК-8/5 х 2,7 по геометрическим показателям для заданных условий подходит.

Затем по формулам (3.15) и (3.16) находим максимальное статическое натяжение и разность статических натяжений канатов:

T_{cmmax} = (8500 + 8460 + 8,496 * 920)9,81 = 243056 Н;

$F_{\text{ст max}}$ = (8500 + 8,496 *900)9,81 = 158400 Н.

По данным машины Тст $_{max}$ = 630000 Н, F_{cmmax} = 480000 Н, т.е. больше полученных в расчете, что и необходимо.

По результатам расчета выбираем машину БЦК-8/5 х 2,7.

3.16 Определить, какой длины канат можно расположить на бицилиндроконическом барабане машины БЦК-9/5 х 2,5, если $d_к$ = 63 мм. *Решение.* Число витков и длина каната на малом цилиндре

$$n_{\text{м.ц}} = B_{\text{м.ц}}/(d_{\text{к}} + b_{\text{з}}) = 840/(63 + 3) = 12{,}73.$$

Принимаем $n_{\text{вт}}$ = 5; $n_{мц}$ = 7,73.

Длина каната на малом цилиндре

$$h_{\text{м.ц}} = \pi D_{\text{м.ц}} n_{\text{м.ц}} - l_{\text{и}} = 3{,}14 \cdot 5 \cdot 7{,}73 - 30 = 91{,}4 \text{ м}.$$

Длина каната на конической части барабана

$$h_{\text{к}} = \frac{B_{\text{к}}}{b_{\text{к}}} \pi \frac{D_{\text{м.ц}} + D_{\text{б.ц}}}{2} = \frac{1000}{140} 3{,}14 \frac{5 + 9}{2} = 157 \text{ м}.$$

Длина каната на большом цилиндре

$$h_{\text{б.ц}} = \frac{B_{\text{б.ц}}}{d_{\text{к}} + b_{\text{з}}} \pi D_{\text{б.ц}} = \frac{2500}{63 + 3} 3{,}14 \cdot 9 = 1070{,}5 \text{ м}.$$

Длина каната на бицилиндроконическом барабане

$$H = h_{\text{м.ц}} + h_{\text{к}} + h_{\text{б.ц}} = 91{,}4 + 157 + 1070{,}5 = 1319 \text{ м}.$$

§3. РАСПОЛОЖЕНИЕ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ОТНОСИТЕЛЬНО СТВОЛА ШАХТЫ

Примеры расчета

3.17 Расположить подъемную установку относительно ствола шахты при размещении направляющих шкивов на одной геометрической горизонтальной оси[3], если известно, что машина 2Ц-5 х 2,4; ширина барабана, занятая канатом, $B_к$ =2200 м; расстояние между внутренними ребордами барабана B = 50 мм, а между направляющими шкивами B_0 = 2050 мм; диаметр направляющего шкива $D_{нш}$ = 4 м, диаметр каната $d_к$ = 48,5 мм; расстояние от уровня земли до верхней приемной площадки $h_в$ = 25 м, от кромки бункера до верхнего зажима каната, когда скип находится в положении разгрузки, h_c=9,2 м; высота переподъема $h_п$>3м (при клетях h≥6м).

Решение. Высота (м) копра

$$h_к = h_в + h_с + h_п + 0{,}75R_{н.ш}, \quad (3.22)$$

т. е. $h_к = 25 + 9{,}2 + 3 + 0{,}75 \cdot 2 = 38{,}7$ м.

Принимаем $h_к$ = 40 м, тогда $h_п$= 4,3 м.

Расстояние (м) между осями ствола и барабана при принятом угле наклона струны к ее проекции на горизонтальную плоскость β = 48° (допускается 30≤β≤50°) и расстоянии от уровня земли до центра вала подъемной машины c = 1 м

$$I = (h_к - c)\cot\beta + R_{н.ш}, \quad (3.23)$$

т.е. I = (40 — 1) 0,905 + 2 = 37,3 м. Принимаем l = 38 м.

Длина (м) струны каната

$$L_с + \sqrt{(h_к - c)^2 + (I - R_{н.ш})^2}, \quad (3.24)$$

т. е. $L_с = \sqrt{(40-1)^2 + (38-2)^2} = 53$ м.

Углы отклонения каната:

внешний_

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{2B + B_р - B_о - 2n_{в.т}(d_к + b_з)}{2L_с}, \quad (3.25)$$

Внутренний

[3] Такое размещение принимается обычно при двух барабанах, при одном барабане шкивы располагаются в одной вертикальной плоскости.

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{B_{\text{о}} - B_{\text{р}} - 2(B + B_{\text{к}})}{2L_{\text{с}}}. \qquad (3.26)$$

Подставляя значения, получим

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{2 \cdot 2400 + 50 - 2050 - 2 \cdot 5(48{,}5 + 3)}{2 \cdot 53000} = 0{,}0252,$$

$\alpha_1 = 1^0 18'$ ПБ допускается $\alpha \leq 1^0 30'$ ($\operatorname{tg} 1^0 30' = 0.262$)

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{2050 - 50 - 2(2400 - 2200)}{2 \cdot 53000} = 0{,}0151,$$

Т.е. как α_1, так и α_2 меньше $1^0 30'$

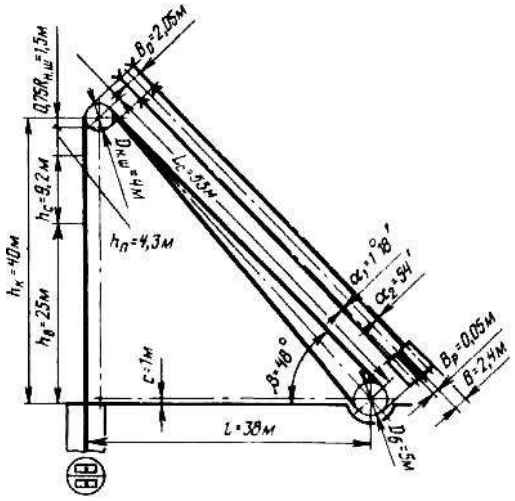


Рис. 3.6. Схема расположения подъемной установки относительно ствола шахты (к примеру 3.17)

На рис. 3.6 показана схема расположения подъемной установки относительно ствола шахты, построенная по данным этого расчета.

3.18 Расположить подъемную установку относительно ствола шахты при размещении направляющих шкивов в одной вертикальной плоскости, если машина ЦР-5 х 3/0,6; $B_к$ =2 м; $D_{нш}$ = 4 м; d_K= 48,5 мм;

$h_в$=25м; $h_с$ = 9,2 м; $h_п$= 3 м. в

Решение. Высота копра

$$h_{\text{к}} = h_{\text{в}} + h_{\text{с}} + h_{\text{п}} + 0{,}75R_{\text{н.ш}} + D_{\text{н.ш}} + 1, \qquad (3.27)$$

т. е. $h_{\text{к}} = 25 + 9{,}2 + 3 + 0{,}75 \cdot 2 + 4 + 1 = 43{,}7$ м.

Принимаем высоту копра $h_к$=45м и $h_п$ = 4,3 м.

Расстояние между осями ствола и барабана при принятом угле β = 50°; с = 1 по формуле (3.23)

$I = (45 - 1)\operatorname{ctg}50 + 2 = 41$ м.

Длина длинной струны по формуле (3.24)

$$L_{\text{с}}^{'} = \sqrt{(45-1)^2 + (41-2)^2} = 59 \text{ м}.$$

Длина (м) короткой струны

$$L_{\text{с}}^{''} = \sqrt{(h_{\text{к}} - D_{\text{н.ш}} - 1)^2 + (I - R_{\text{н.ш}})^2}, \qquad (3.28)$$

т. е. $L_{\text{с}}^{''} = \sqrt{(45-4-1)^2 + (41+2)^2} = 56$ м.

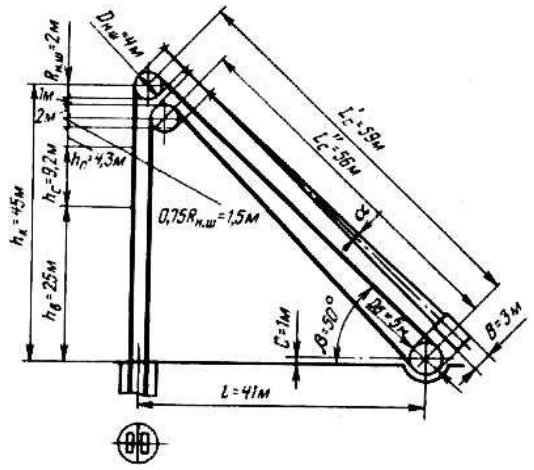


Рис. 3.7. Схема расположения подъемной установки относительно ствола шахты (к примеру 3.18)

Рис. 3.8. Схема к определению высоты копра (к примеру 3.19)

Рассчитаем угол отклонения короткой струны каната при подходе его в направлении реборды барабана.

Так как B =3 м, а ширина барабана, занятая одной ветвью каната на заклиненной части барабана, $B_{зб}$= 2 м, то для оптимального значения α закрепление каната производят, отступив от реборд на расстояние $b_p = B - B_n - B_{зб}$ = 3 - 0,6 - 2 = 0,4 м.

Угол отклонения короткой струны каната при подходе его к реборде

$$\text{tg}\alpha = \frac{B - 2n_{\text{в.т}}(d_{\text{к}} + b_{\text{з}}) - 2b_{\text{р}}}{2L_{\text{с}}^{''}}, \qquad (3.29)$$

т. е. $\text{tg}\alpha = \frac{3000 - 2\cdot5(48{,}5+3) - 2\cdot400}{2\cdot56000} = 0{,}015.$

Получаем $\alpha = 0°54'$ что допустимо.

Аналогично угол отклонения каната по длинной струне со струны переставной части барабана α = 0°49'.

На переставную часть барабана будет навиваться канат длиной

$$I_{\text{п.ч}} = \frac{B_{\text{р}} - b_{\text{р}}}{d_{\text{к}} + b_{\text{з}}} \pi D_{\text{б}} = \frac{600 - 400}{48{,}5 + 3} 3{,}14 \cdot 5 = 61 \text{ м}.$$

На рис. 3.7 показана схема расположения подъемной установки относительно ствола шахты, построенная по данным этого расчета.

3.19 Определить высоту копра для многоканатной подъемной установки с машиной МК 5 х 4 . Известно, что при скипах высота от уровня земли до кромки бункера и при клетях — до уровня верхней приемной площадки $h_{\text{В}}$= 25 - 30 м; высота переподъема $h_{п}$=3 м; длина рабочего и резервного хода амортизаторов (устройств для остановки сосудов после отключения подъемной машины при переподъеме) $h_{а}$= 6 - 10 м; высота, необходимая для размещения креплений амортизационных канатов и амортизационных устройств после их остановки при переподъеме, $h_{р}$ = 6-10 м; высота противометанного канала $h_{\text{пк}}$ = 1 - 2 м, машинного зала $h_{м}$= 5 - 10 м; расстояние от пола машинного зада до оси шкива трения 0,75 $R_{мт}$

Решение. Высота копра (рис. 3.8)

$$h_{\text{к}} = h_{\text{в}} + h_{\text{с}} + h_{\text{п}} + h_{\text{а}} + h_{\text{р}} + h_{\text{п.к}} + h_{\text{м}} + 0{,}75R_{\text{ш.т}}, \qquad (3.30)$$

т. е. $h_{\text{к}} = 30 + 10{,}2 + 3 + 10 + 18 + 2 + 8 + 0{,}75 \cdot 5 = 74{,}95$ м.

Принимаем $h_{к}$= 75 м, тогда $h_{\text{п}}$= 3,05 м.

На рис. 3.8 показана схема расположения подъемной установки относительно ствола шахты, построенная по данным этого расчета.

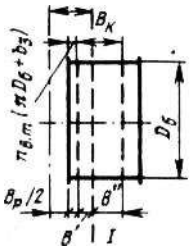
3.20. Вычислить длину струны $L_{с}$ каната исходя из условия допустимого угла ее отклонения α = 1°30' (tgα = 0,0262) на барабане машины 2Ц-5 х 2,4, если направляющие шкивы расположены на одной горизонтальной геометрической оси, а витки трения — у внутренней реборды барабана. Кроме того дано: $B_{к}$ =1800 мм; $B_{\text{р}}$= 60 мм; B_0 = 2050 мм; $d_{К}$= 43 мм.

Решение. Ширина (мм) барабана, занимаемая канатом без витков трения $n_{вт}$, от внутренней реборды дс вертикальной плоскости *l—l,* проходящей через направляющий шкив (рис. 3.9),

$$B' = \frac{B_0}{2} - \frac{B_{\text{р}}}{2} - n_{\text{в.т}}(d_{\text{к}} + b_{\text{з}}) = \frac{2050}{2} - \frac{60}{2} - 5(43 + 3) = 765 \text{ мм}.$$

Ширина барабана, занимаемая канатом от плоскости l— l к внешней реборде барабана.

$$B^{"} = B_{к} - B^{'} = 1800 - 765 = 1035 \text{ мм}.$$



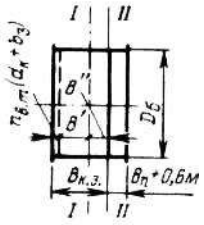


Рис. 3.9. К расчету длины струны каната Рис. 3.10. К расчету длины струны каната (к примеру 3.20) (к примеру 3.21)

Длина струны

$$L_{с} = B^{"}/\text{tg}\alpha = 1035/0{,}0262 = 39503 \text{ мм}, \text{ или } 39{,}5 \text{ м}.$$

3.21. Определить длину короткой струны $L''_{с}$ каната для машины ЦР-6 х 3/0,6, если α = 1°30'; $d_К$ = 45 мм. Ширина барабана, занятая на ее заклиненной части канатом, $B_{к\,з}$ = 2,3 м. Направляющие шкивы расположены в одной вертикальной плоскости.

Решение. Ширина (мм) части барабана, занимаемая рабочей частью каната на левой заклиненной части барабана от витков трения до плоскости l — l, проходящей через направляющий шкив (рис. 3.10)

$$B^{"} = B - B^{'} = 2300 - 910 = 1390 \text{ м}.$$

То же, на правой части барабана от плоскости I— I к разрезу барабана *II — II*

$B'' = B\text{-}B'$ = 2300-910 = 1390 мм.

Длина короткой струны

$$L^{"} = B^{"}/\text{tg}\alpha = 1390/0{,}0262 = 53053 \text{ мм}, 53{,}05 \text{ м}.$$

Задачи

3.1. Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для грузолюдской подъемной установки без уравновешивающего каната, если H_{k}= 580 м. Клеть 2УКН 3,3-3 двухэтажная на две вагонетки ВГ-1,4 в этаже. Собст-

венная масса клети 5700 кг, одной вагонетки — 674 кг; полезная масса одной вагонетки по углю 1820 кг (порода этим подъемом не транспортируется); *z* ≥*7.5;* $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2.

3.2. Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для грузолюдской подъемной установки с равновесным уравновешивающим канатом, если $H_к$ = 600 м. Клеть 1УКН 3,6-3 одноэтажная на одну вагонетку ВГ-2,5, собственная масса клети 3480 кг, одной вагонетки 1140 кг, полезная масса при транспорте породы 5500 кг; *z*≥7,5; $\sigma_в$ =1568 Н/мм^2.

3.3. Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для скиповой установки без уравновешивающего каната, если H_k — 520 м; скип 1СН 20-1 с собственной массой 11900 кг, полезной массой угля 17500 кг; *z*= 6,5; $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2.

3.4. Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для скиповой установки без уравновешивающего каната, если $H_к$ = 580 м; скип 2СН 9,5-1 с собственной 8460 кг и полезной (по породе) 13600 кг массой; *z*= 6,5; $\sigma_в$ =1568 Н/мм^2.

3.5. Рассчитать и выбрать стандартный подъемный канат для скиповой установки без уравновешивающего каната, если $H_к$ = 550 м; скип 2СН 15-2 с собственной массой 13000 кг, полезная масса угля 16700 кг; *z*≥6,5; $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2.

3.6. Рассчитать и выбрать стандартныйподъемный канат для скиповой установки без уравновешивающего каната, если $H_к$ = 530 м; скип 2СН 7-1 с собственной массой 7540 кг, полезная масса по породе 9000 кг; z ≥6,5; $\sigma_В$ = 1568 Н/мм^2.

3.7. Рассчитать и выбрать стандартныйподъемный канат для скиповой установки без уравновешивающего каната, если $H_к$ = 560 м; скип 5СН 11-1 с собственной массой 8620 кг, полезная масса угля 9300 кг; z ≥6,5; $\sigma_в$ = 1568 Н/мм^2.

3.8. Рассчитать и выбрать для грузолюдской установки без уравновешивающего каната стандартный подъемный канат с двойным запасом проч-

ности, если $H_к$ = 680 м; клеть 2УКН 3,6-2 с собственной массой 6930 кг, две вагонетки ВГ-2,5 с собственной массой 1140 кг, полезная масса породы в двух вагонетках 11000 кг; $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2.

3.9. Рассчитать и выбрать для скиповой установки с равновесным уравновешивающим канатом стандартный подъемный канат с двойным запасом прочности, если $H_к$ = 780 м. Скип 2СН 9,5-1 с собственной массой 8460 кг и полезной массой угля 8500 кг; $\sigma_в$= 1764 Н/мм^2.

3.10. Рассчитать и выбрать для скиповой установки без уравновешивающего каната стандартный подъемный канат с двойным запасом прочности, если $H_к$ = 675 м. Скип 1СН 11-1 с собственной массой 8900 кг и полезной массой угля 9300 кг; $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2.

3.11. Рассчитать и выбрать для скиповой установки без уравновешивающего каната стандартный подъемный канат с двойным запасом прочности, если $H_к$ = 730 м. Скип 2СН 7-1 с собственной массой 7540 кг и полезной массой по породе 9000 кг; $\sigma_в$=1764 Н/мм^2.

3.12. Рассчитать и выбрать для многоканатной скиповой подъемной установки стандартный подъемный канат с двойным запасом прочности, если $H_к$ = 980 м. Скип 1СН 20-2 с собственной массой 16600 кг, полезная масса угля 17500 кг, $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2. Подъемная машина МК 3,25 х 4.

3.13. Рассчитать и выбрать для многоканатной скиповой подъемной установки стандартный подъемный канат с двойным запасом прочности, если $H_к$ = 1000 м. Скип 2СН 35-2 с собственной массой 25700 кг, полезная масса угля 30000 кг, $\sigma_д$ = 1666 Н/мм^2. Подъемная машина МК5х4.

3.14. Рассчитать и выбрать для многоканатной скиповой установки стандартный подъемный канат с двойным запасом прочности, если $H_к$ = 920 м. Скип 1СН 11-2 с собственной массой 13900 кг, полезная масса по породе 15000 кг; $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2; подъемная машина МК 4х4.

3.15. Рассчитать и выбрать для многоканатной скиповой установки стандартный подъемный канат с двойным значением запаса прочности, если $H_к$ = 890 м. Скип ЗСН 9,5-2 с собственной массой 14400 кг, полезная масса по

породе 13600 кг; $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2; подъемная машина МК 3,25х4.

3.16. Определить допустимую ПБ общую массу, воспринимаемую канатом ($Q_п$ + Q_c)для системы с равновесным подвесным канатом грузовой установки, если: $d_К$= 45 мм; $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2; запас прочности z= 6,5; H_k = 550 м.

3.17. Определить допустимое ПБ значение $Q_п$ + Q_c для системы без подвесного каната грузолюдской установки, если $d_к$ = 38,5 мм; $\sigma_в$= 1568 Н/мм^2; $H_к$ = 575 м.

3.18. Определить допустимое ПБ значение $Q_п$ + Q_c для системы с равновесным подвесным канатом людской установки, если: $d_к$=32 мм; $\sigma_в$ = 1568 Н/мм^2 ; $H_к$ = 485 м.

3.19. Определить допустимое ПБ значение $Q_п$+ Q_c для каната с двойным запасом прочности. Установка грузовая с уравновешивающим канатом. Замером на действующей установке на шахте установлено, что диаметр подъемного каната d_k= 42 мм, уравновешивающий канат плоский шириной 124 мм и толщиной 20 мм. Временное сопротивление разрыву проволок как подъемного, так и уравновешивающего каната $\sigma_в$ = 1764 Н/мм^2 ; $H_к$ = 750 м.

3.20. Определить $Q_п$ + $Q_{с'}$, допустимую ПБ, на подъемный канат, рассчитанный с двойным запасом прочности. Установка людская с уравновешивающим канатом. Замером на действующей установке на шахте установлено, что диаметр подъемного каната $d_к$= 38,5 мм, уравновешивающий канат плоский шириной 95 мм и толщиной 15,5 мм. Временное сопротивление разрыву проволок как подъемного, так и уравновешивающего каната $\sigma_в$ = 1568 Н/мм^2; $H_к$ =685 м.

3.21. Определить предельную длину каната, если $Q_п$ + $Q_С$ = 29400 кг. Установка грузовая без уравновешивающего каната, d_k= 58,5 мм, $\sigma_в$ = 2764 Н/мм^2.

3.22. Определить предельную длину каната, если $Q_п$+ $Q_с$ = 10688 кг. Установка грузолюдская без уравновешивающего каната, d_k= 43 мм, $\sigma_в$= 1568 Н/мм^2.

3.23. Определить предельную длину каната, если $Q_п$+ $Q_С$ = 10120 кг.

Установка грузолюдская с равновесным уравновешивающим канатом, d_K= 45 мм. $\sigma_в$ = 1568 Н/мм^2.

3.24. Определить размеры цилиндрического барабана и выбрать двухбарабанную подъемную машину, если: H = 575 м; $H_к$ — 600 м; р = 7,12 кг/м; d_K=43 мм; q= 0; $Q_с$ = 4260 кг; $Q_п$= 5500 кг.

3.25. Определить размеры цилиндрического барабана и выбрать двухбарабанную подъемную машину, если: H = 530 м; $H_к$ = 560 м; p = 12,19 кг/м; $d_к$ = 56 мм; q=0; $Q_с$= 8460 кг; $Q_с$= 12600 кг.

3.26. Определить размеры цилиндрического барабана и выбрать двухбарабанную подъемную машину, если: H = 555 м; H_k = 580 м; p = 14,25 кг/м; d_K= 60,5 мм; q= 0; $Q_п$= 13000 кг; $Q_с$= 11000 кг.

3.27. Определить размеры разрезного цилиндрического барабана и выбрать однобарабанную подъемную машину, если: H = 520 м; $H_к$ = 540 м; p = 8,496 кг/м; d_K= 48,5 мм; q= 0; $Q_п$ = 9300 кг; $Q_с$ = 8260 кг.

3.28. Определить размеры разрезного цилиндрического барабана и выбрать однобарабанную подъемную машину, если: H = 600 м; $H_к$ = 620 м; р = 11,15 кг/м; d_K= 53,5 мм; q= 0; $Q_п$= 9300 кг; $Q_с$ = 8620 кг.

3.29. Определить размеры разрезного цилиндрического барабана и выбрать однобарабанную подъемную машину, если: H =750 м; $H_к$ = 770 м; р = 8,496 кг/м; d_K= 48,5 мм; q= 0; $Q_п$= 8500 кг; $Q_С$ = 8460 кг.

3.30. Определить длину каната на цилиндрическом барабане двухбарабанной машины 2Ц-6 х 2,4, если: d_K= 53,5 мм, $b_З$=*3* мм.

3.31. Определить длину каната на цилиндрическом барабане двухбарабанной машины 2Ц-4 х 2,3, если: d= 36,5 мм, $b_З$=3 мм.

3.32. Определить длину каната на цилиндрическом барабане двухбарабанной машины 2Ц-5 х 2,8, если: d_K= 45 мм, $b_З$ = 3 мм.

3.33. Определить длину каната на цилиндрическом барабане двухбарабанной машины 2Ц-6 х 2,8, если: d_K= 58,5 мм;$b_З$= 3 мм.

3.34. Определить длину каната на разрезном цилиндрическом барабане однобарабанной машины ЦР-5 х 3/0,6, если: $B_з$ = 3,0 — 0,6 = 2,4 м; d_k= 46,5 мм;

$n_{вз}$ = 2; $b_з$ = 3 мм.

3.35. Определить длину каната на разрезном цилиндрическом барабане однобарабанной машины ЦР-4 х 3/0,7, если: $d_К$= 36,5 мм; $n_{в\,з}$ = 2; $b_{вз}$ =3мм.

3.36. Определить длину каната на разрезном цилиндрическом барабане однобарабанной машины ЦР-6 х 3,4/0,6, если: $d_к$= 50,5 мм $d_к$= 2; $b_з$ = 3 мм.

3.37. Определить диаметр шкива трения одноканатной установки, если: H = 600 м; $Q_с$= 4260 кг; $Q_п$ = 5500 кг; $d_к$= 43 мм; p = 7,12 кг/м; q = 7,05 кг/м.

3.38. Определить диаметр шкива трения одноканатной установки, если: H = 780 м; $Q_с$= 8420 кг; $Q_п$= 8500 кг; $d_К$— 48,5’мм; p = 8,496 кг/м; q= 7,69 кг/м.

3.39. Определить диаметр шкива трения многоканатной установки с четырьмя подъемными и двумя уравновешивающими плоскими канатами и выбрать подъемную машину, если: H = 900 м; $H_к$ = 925 м; $Q_с$ = 13900 кг; $Q_п$ =15000 кг; p = 3,768 кг/м; $d_К$ = 32 мм; q =

= 7,69 кг/м.

3.40. Определить диаметр шкива трения многоканатной установки с четырьмя подъемными и двумя уравновешивающими плоскими канатами и выбрать подъемную машину, если: H =730 м; $H_к$ = 760 м; $Q_с$= 16700 кг; $Q_п$ = 13000 кг; p = 4,155 кг/м; $d_к$ = 33 мм; q= 8,1656 кг/м.

3.41. Определить, какой длины канат можно расположить на бицилиндроконическом барабане машины БЦК-8/5 х 2,7, если $d_К$= 60,5 мм.

3.42. Расположить подъемную клетевую установку с машиной 2Ц-4 х 2,3 относительно ствола шахты, если: $h_с$=6,1 м; $B_к$ = 1,9 м; $D_{нш}$= 4 м; $d_к$= 33 мм. Направляющие шкивы размещены на одной горизонтальной геометрической оси, $h_в$= 10 м; $B_р$ =60 мм; B_0 =1860 мм.

3.43. Расположить подъемную скиповую установку с машиной ЦР-5 х 3/0,6 относительно ствола шахты, если: $h_с$= 8 м; $B_к$ = 2 м; $D_{н.ш}$ = 4м; dK=36,5 мм, $h_в$ =20м. Направляющие шкивы размещены в одной вертикальной плоскости.

3.44. Определить длину струны каната на барабан машины 2Ц-4 х 2,3, если: α= 1°30, $B_к$ = 2,3 м; $B_р$ =60 мм; направляющие шкивы расположены на одной горизонтальной геометрической оси, B_0 = 2050 мм; витки трения рас-

полагаются у внутренних реборд барабанов, d_K= 32 мм.

3.45. Определить длину короткой струны каната на барабане машины ЦР-5 х 3/0,6, если α = 1°30’; d_K = 48,5 мм; ширина барабана, занятая канатом на заклиненной его части, $B_к$ = 2,4 м; направляющие шкивы расположены в одной вертикальной плоскости.

2. ТЕОРИЯ ПОДЪЕМНЫХ СИСТЕМ

§ 1. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПОДЪЕМНОЙ ОПЕРАЦИИ Примеры расчета

3.22. Определить продолжительность подъемной операции $T_{рп}$ и движения $T_{р'}$, среднюю $v_{ср}$ и ориентировочную максимальную скорости подъемных сосудов при условии, что установка обеспечит годовую производительность $A_г$ = 900000 т угля. Скип 2СН7-1, $Q_п$ — 5600 кг; H = 500 м., Пауза между движениями сосудов (время на загрузку и выгрузку подъемных сосудов, подачу сигналов) $t_п$= 10 с*, число рабочих дней в году $n_д$ = 300; время работы установки в сутки $n_ч$= 18ч.

* Пауза $t_п$численно равна объему скипа: при 10 м^3 — 10 с, 20 м^3 — 20 с и т.д.; при одноэтажных клетях $t_п$ =25 с, при двухэтажных — 50 с.

Решение. Определяем часовую производительность (т/ч) установки при ее коэффициенте резерва производительности C = 1,5:

$$A_ч = \frac{cA_г}{n_д n_ч}, \qquad (3.31)$$

т. е. $A_ч = \frac{1{,}5 \cdot 900000}{300 \cdot 18} = 250$ т/ч.

Число подъемных операций в час

$$n_{п.ч} = 1000\, A_ч / Q_п, \qquad (3.32)$$

т. е. $n_{п.ч} = 1000 \cdot 250/5600 = 44{,}6$ п/ч.

Продолжительность (с) подъемной операции

$$T_{р.п} = 3600/n_{п.ч}, \qquad (3.33)$$

т. е. $T_{р.п} = 3600/46{,}5 = 77{,}25$ с.

Продолжительность (с) движения подъемных сосудов

$$T_{\text{р}} = T_{\text{р.п}} - T_{\text{п}}, \qquad (3.34)$$

т. е. $T_{\text{р}} = 77{,}25 - 10 = 67{,}25$ с.

Средняя скорость (м/с) подъема

$$V_{\text{ср}} = H/T_{\text{р}}, \qquad (3.35)$$

т. е. $V_{\text{ср}} = 500/67{,}25 = 7{,}44$ м/с

Ориентировочная максимальная скорость при скорости $a_{\text{с}}$ = 1,25 - 1,35

$$V_{max} = a_{\text{с}} \cdot V_{\text{ср}} \qquad (3.36)$$

т. е. $V_{max} = 1{,}3 \cdot 7{,}44 = 9{,}67$ м/с.

3.23. Определить коэффициент резерва производительности подъемной скиповой установки, если: $Q_{\text{п}}$= 8500 кг; $n_{п\,\text{ч}}$ = 30 п/ч; $л_{\text{д}}$ = 300 д; $n_{\text{ч}}$ = 18 ч; $A_г$= 900000 т угля.

Решение. На основании формул (3.31) и (3.32)

$$C = \frac{n_{\text{п.ч}} Q_{\text{п}} n_{\text{д}} n_{\text{ч}}}{1000 A_{\text{г}}} = \frac{30 \cdot 8500 \cdot 300 \cdot 18}{1000 \cdot 900000} = 1{,}53.$$

3.24. Определить, каким должен быть полезный груз, поднимаемый за один раз скиповой установкой, обеспечивающей $A_г$ = 800000 т; $n_д$ = 300 д; $n_{\text{ч}}$ = 18 ч; $n_{\text{п ч}}$ = 40 п/ч; С=1.5

Решение. По формулам (3.31) и (3.32)

$$Q_{\text{п}} = \frac{1000 C A_{\text{г}}}{n_{\text{п.ч}} n_{\text{д}} n_{\text{ч}}} = \frac{1000 \cdot 1{,}5 \cdot 800000}{40 \cdot 300 \cdot 18} = 5550 \text{ кг}.$$

§ 2. КИНЕМАТИКА ПОДЪЕМНЫХ СИСТЕМ С ПОСТОЯННЫМ РАДИУСОМ НАВИВКИ КАНАТА

Примеры расчета

3.25. Рассчитать элементы трехпериодной трапецеидальной диаграммы скорости и построить в масштабе эту и соответствующую ей диаграммы ускорений, если путь подъема H =250 м; расчетная продолжительность одной подъемной операции T_p = 45 с; пауза между подъемными операциями $t_п$= 50 с;

диаметр барабана $D_б$ = 5м; коэффициент резерва производительности подъемной установки С = 1,5.

Решение. Модуль ускорений (м/с^2) рассчитывается по формуле

$$a_м = \frac{a_1 a_3}{a_1 + a_3}. \quad (3.37)$$

По Правилам технической эксплуатации (ПТЭ) при транспортировании людей ускорение $a_1 \leq 1$ м/с^2, замедление $a_3 \leq 0{,}75$ м/с^2. При транспортировании груза a_1 может быть больше 1 м/с^2, если это допустимо расчетом на перегруз двигателя, $a_3 \leq 0{,}75$ м/с^2. При принятом $a_1 = a_3 = 0{,}75$ м/с^2

Максимальная расчетная скорость

$$a_м = \frac{0{,}75 \cdot 0{,}75}{0{,}75 + 0{,}75} = 0{,}375 \text{ м/с}^2.$$

Максимальная расчетная скорость

$$V_{р\,max} = a_м T_р - \sqrt{(a_м T_р)^2 - 2 a_м H}, \quad (3.38)$$

т. е. $V_{р\,max} = 0{,}375 \cdot 45 - \sqrt{(0{,}375 \cdot 45)^2 - 2 \cdot 0{,}375 \cdot 250} = 6{,}95$ м/с

При диаметре барабана $D_б$= 5 м, передаточном числе одинарной передачи I = 10,5 и синхронной частоте вращения асинхронного двигателя $n_{син}$ = 300 об/мин *(n* = 295 об/мин) максимальная скорость

$$V_{max} = \frac{\pi D_б n}{60 i} = \frac{3{,}14 \cdot 5 \cdot 295}{60 \cdot 10{,}5} = 7{,}35 \text{ м/с}.$$

Максимальная скорость V_{max} = 7,35 м/с может быть допущена П Б при подъеме — спуске людей.

Продолжительности ускоренного и замедленного движений:

$$t_1 = V_{max}/a_1; \quad t_1 = V_{max}/a_3 \quad (3.39; 3.40)$$

Так как $a_1 = a_3$, то $t_1 = t_3 = 7{,}35/0{,}75 = 9{,}8$ с. Длины путей ускоренного и замедленного движений:

$$h_1 = V_{max}\, t_1/2; \quad h_3 = V_{max}\, t_3/2 \quad (3.41; 3.42)$$

Длина пути и продолжительность равномерного движения:

$$h_2 = H - h_1 - h_3, \quad (3.43)$$

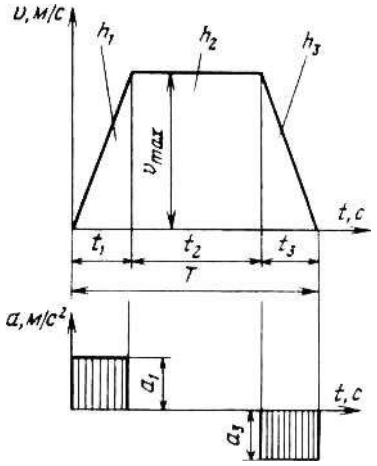
т.е. $h_2 = 250 - 36 - 36 = 178$ м

$$t_2 = h_2/V_{max}\ , \qquad (3.44)$$

Т.е. t_2=178/7.35=24.22с

Полная продолжительность движения подъемных сосудов

$$T = t_1 + t_2 + t_3. \qquad (3.45)$$



Подставив полученные значения, получим

T = 9,8 + 24,22 + 9,8 = 43,82 с.

Проверка правильности расчета:

$$T = \frac{H}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{2}\left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}\right), \qquad (3.46)$$

т. е. $T = \frac{250}{7,35} + \frac{7,35}{2}\left(\frac{1}{0,75} + \frac{1}{0,75}\right) = 43,82\ c.$

Расчет произведен правильно, так как результаты вычислений по формулам (3.45) и (3.46) одинаковы.

Фактический коэффициент резерва производительности подъемной установки

$$C_ф = C\frac{T_р + T_п}{T + t_п} \qquad (3.47)$$

т. е. $C_ф = 1,5\frac{45 + 10}{43,82 + 10} = 1,52.$

Диаграммы скорости и ускорений показаны на рис. 3.11.

3.26. Рассчитать элементы трехпериодных диаграмм скорости и построить в масштабе их и соответствующие им диаграммы ускорений при условии работы установки с одинаковой максимальной скоростью с двух горизонтов. Высота подъема при работе с первого (верхнего) горизонта H = 420 м, со второго — H = 520 м. Расчетная продолжительность движения подъемного сосуда со второго горизонта $T_р$ = 84 с; $t_п$= 45 с; $D_б$=5м; i=10,5; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с; С=1,5*.

Решение. Для второго горизонта модуль ускорений по формуле (3.37)

$$a_м = \frac{0,75 \cdot 0,75}{0,75 + 0,75} = 0,375\ м/с^2$$

Максимальная расчетная скорость по формуле (3,38)

$$V_{\text{р}\,max} = 0{,}375 \cdot 84 - \sqrt{(0{,}375 \cdot 84)^2 - 2 \cdot 0{,}375 \cdot 520} = 7 \text{ м/с}.$$

При $D_б$ = 5 м, I = 10,5 и $n_{син}$ = 300 об/мин *(n* = 290 об/мин) максимальная скорость v_{max}= 7,23 м/с.

Максимальная скорость, допустимая ПБ с верхнего горизонта при подъеме—спуске людей,$V_{пб}$ = 12 м/с.

Таким образом, как со второго, так и с первого горизонта можно работать с одной и той же максимальной скоростью v_{max}= 7,23 м/с.

Определим элементы диаграммы скорости со второго горизонта по формулам (3.39) - (3.45).

Так как $a_1 = a_3$, то $t_1 = t_3$ = 7,23/0,75 = 9,64с.

Поскольку $t_1 = t_3$, то

$$h_1 = h_3 = V_{max}\, t_1/2 = 7{,}23 \cdot 9{,}64/2 = 34{,}85 \text{ м};$$

$$h_2 = H - h_1 - h_3 = 520 - 34{,}85 - 34{,}85 = 450{,}3 \text{ м};$$

*При обслуживании подъемной установкой с одним асинхронным двигателем двух горизонтов шахты во избежание работы во время равномерного движения с верхнего горизонта с включенным реостатом транспортирование с двух горизонтов должно производиться с одинаковой, максимальной скоростью.

$$t_2 = h_2/V_{max} = 450{,}3/7{,}23 = 62{,}28 \text{ с};$$

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = 9{,}64 + 62{,}28 + 9{,}64 = 81{,}56 \text{ с}.$$

Проверка правильности расчета производится по формуле (3.46) :

$$T = \frac{520}{7{,}23} + \frac{7{,}23}{2}\left(\frac{1}{0{,}75} + \frac{1}{0{,}75}\right) = 81{,}56 \text{ с}.$$

Расчет произведен правильно, так как результаты вычислений по формулам (3.45) и (3.46) одинаковы.

Фактический коэффициент резерва производительности подъемной установки по формуле (3.47) со второго горизонта

$$C_ф = 1{,}5\frac{84 + 45}{81{,}56 + 45} = 1{,}53.$$

Определим элементы диаграммы скорости с первого горизонта. Так как

$t_1=t_3=9.64$с

$h_1=h_3=$ 34,85 м.

Следовательно,

$h_2=$ 420 - 34,85 - 34,85 = 350,3 м;

$t_2=$ 350,3/7,23 = 48,45 с;

T = 9,64 + 48,45 + 9,64 = 67,73 с.

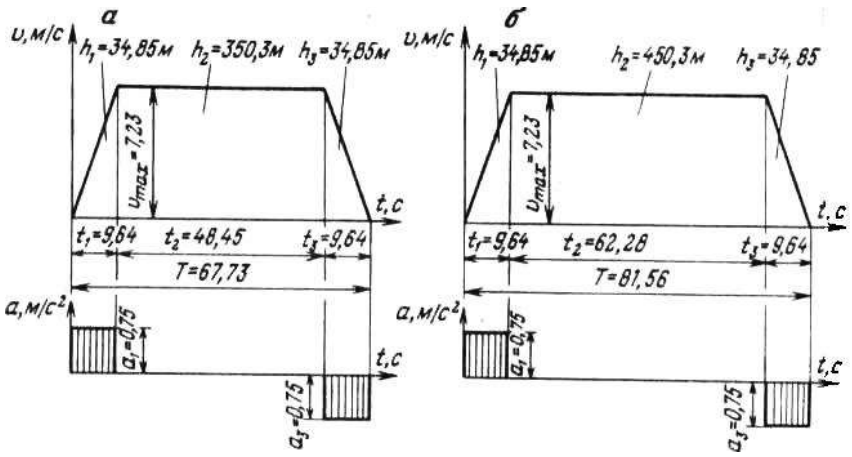
Проверка правильности расчета

$$T = \frac{420}{7,23} + \frac{7,23}{2}\left(\frac{1}{0,75} + \frac{1}{0,75}\right) = 67,73 \text{ с.}$$

Расчет произведен правильно, так как результаты вычислений по формулам (3.45) и (3.46) одинаковы.

Фактический коэффициент резерва производительности с первого горизонта

$$C_{\text{ф}} = 1,5\frac{84 + 45}{67,73 + 45} = 1,72.$$



Диаграммы скорости и соответствующие им диаграммы ускорений для первого *(а)* и второго (б) горизонта показаны на рис. 3.12.

Рис. 3.12. Диаграммы скорости и ускорений (к примеру 3.26)

3.27. Определить пути движения подъемных сосудов при трехпериодной диаграмме скорости, если: H =420 м; V_{max} =8,05 м/с; a_1 = 0,7 м/с^2; a_3 = 0,75 м/с^2.

Решение. Пути ускоренного движения на основании формул (3.39) и

(3.41) и замедленного на основании формул (3.40) и (3.42):

$h_1 = V_{max}^2 / 2a_1 = 8{,}05^2/(2 \cdot 0{,}7) = 46{,}28$ м;

$h_3 = V_{max}^2 / 2a_3 = 8{,}05^2/(2 \cdot 0{,}75) = 43{,}2$м.

То же, равномерного по формуле (3.43)

$h_2 = 420 - 46{,}28 - 43{,}2 = 330{,}52$ м.

3.28. Определить продолжительность t_2 равномерного движения подъемных сосудов при трехпериодной диаграмме скорости, если: $H = 440$ м; $V_{max} = 9{,}1$ м/с; $a_1 = 0{,}75$ м/с^2; $a_3 = 0{,}7$ м/с^2.

Решение. На основании формул (3.39) — (3.44) имеем:

$$t_2 = \frac{H}{V_{max}} - \frac{V_{max}}{2}\left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}\right) = \frac{440}{9{,}1} - \frac{9{,}1}{2}\left(\frac{1}{0{,}75} + \frac{1}{0{,}75}\right) = 35{,}78 \text{ с.}$$

3.29. Определить полную продолжительность подъемной операции при трехпериодной диаграмме скорости, если: $H = 435$ м; $v_{max} = 9{,}7$ м/с; $a_1 = 0{,}65$ м/с^2; $a_3 = 0{,}72$ м/с^2; $t_п = 30$с.

Решение. Продолжительность движения подъемных сосудов по формуле (3.46)

$$T = \frac{435}{9{,}7} + \frac{9{,}7}{2}\left(\frac{1}{0{,}65} + \frac{1}{0{,}72}\right) = 59 \text{ с.}$$

Полная продолжительность одной подъемной операции по формуле (3.34)

$T_п = T + t_п = 59 + 30 = 89$ с.

3.30. Определить высоту подъема H при трехпериодной диаграмме скорости, если продолжительность движения подъемных сосудов $T = 75$ с; максимальная скорость $v = 7{,}2$ м/с; ускорение $a_1 = 0{,}75$ м/с ; замедление $a_3 = 0{,}65$ м/с^2 .

Решение. По формуле (3.37) определяем модуль ускорений:

$$a_м = \frac{0{,}75 \cdot 0{,}65}{0{,}75 + 0{,}65} = 0{,}348 \text{ м/с}^2$$

Высота подъема на основании формул (3.46) и (3.37)

$$H = tV_{max} - \frac{V_{max}^2}{2a_м} = 75 \cdot 7{,}2 - \frac{7{,}2^2}{2 \cdot 048} = 465{,}5 \text{ м.}$$

3.31. Определить замедление a_3 подъемной установки при трехпериодной диаграмме скорости если H = 400 м, продолжительность движения подъемных сосудов T = 55 с; максимальная скорость v_{max} = 9,7 м/с; ускорение a_1 = 0,75 м/с^2.

Решение. На основании формул (3.46) и (3.37) модуль ускорений

$$a_м = \frac{V_{max}^2}{2(TV_{max} - H)} = \frac{9{,}7^2}{2(55 \cdot 9{,}7 - 400)} = 0{,}353 \text{ м/с}^2.$$

По формуле (3.37)

$$a_3 = \frac{a_м a_1}{a_1 - a_м} = \frac{0{,}353 \cdot 0{,}75}{0{,}75 - 0{,}353} = 0{,}667 \text{ м/с}^2$$

Определить элементы пятипериодной диаграммы скорости и построить в масштабе ее и соответствующую ей диаграмму ускорений, если: путь подъема H = 480 м; расчетная продолжительность одной подъемной операции T_p = 70 с; пауза между двумя подъемными операциями $t_п$ = 10 с; путь разгрузки скипов $h_р$ = 2,2 м; диаметр барабана D_6 = 4 м; коэффициент резерва производительности установки C = 1,5.

Решение. Модуль ускорений по формуле (3.37) при принятых a_1 = 1 м/с^2 и a_3 = 0,75 м/с^2:

$$a_м = \frac{1 \cdot 0{,}75}{1 + 0{,}75} = 0{,}429 \text{ м/с}^2.$$

Максимальная расчетная скорость, м/с

$$V_{р\,max} = a_м T_0 - \sqrt{(a_м T_0)^2 - 2a_м H_0}. \qquad (3.48)$$

Предварительно при принятом значении скорости входа ролика скипа в разгрузочные кривые и выхода его из них ($v' = v''$ = 1,1 м/с) находим:

$$T_0 = T_р - \frac{2h_р}{V''} - \frac{2h_р}{V''} + \frac{V'}{a_1} + \frac{V''}{a_3} \qquad (3.49)$$

т. е. $T_0 = 7 - \frac{2 \cdot 2{,}2}{1{,}1} - \frac{2 \cdot 2{,}2}{1{,}1} + \frac{1{,}1}{1} + \frac{1{,}1}{0{,}75} = 59{,}43$ с;

$$H_0 = H - 2h \quad + \frac{V'^2}{2a_1} + \frac{V''^2}{2a_3}, \qquad (3.50)$$

т. е. $H_0 = 480 - 2 \cdot 2{,}2 + \frac{1{,}1^2}{2 \cdot 1} + \frac{1{,}1^2}{2 \cdot 0{,}75} = 477$ м;

$$V_{pmax} = 0{,}429 \cdot 59{,}43 - \sqrt{(0{,}429 \cdot 59{,}43)^2 - 2 \cdot 0{,}429 \cdot 477} = 9{,}98 \text{ м/с}.$$

Максимальная скорость, обеспечиваемая машиной при $D_б$=4м, i=11.5 и $n_{син}$=600об/мин (n=590об/мин)

$$V_{max} = \frac{\pi D_б n}{60 i} = \frac{3{,}14 \cdot 4 \cdot 590}{60 \cdot 11{,}5} = 10{,}74 \text{ м/с}.$$

Определим элементы диаграммы скорости при движении скипов по разгрузочным кривым. Ускорение и замедление

$$a' = \frac{V'^2}{2h_р}; \; a' = \frac{V''^2}{2h_р}. \qquad (3.51;\ 3.52)$$

Подставляя значения, получим

$$a' = a'' = \frac{1{,}1^2}{2 \cdot 2{,}2} = 0{,}275 \text{ м/с}^2$$

Продолжительность ускоренного и замедленного движений по разгрузочным кривым

$$t' = v'/a'; \; t'' = v''/a'', \qquad (3.53;\ 3.54)$$

t'= t = 1,1/0,275 = 4 с.

Длина пути скипа по разгрузочным кривым

$$h_р = V' t'/2 = V'' t''/2, \qquad (3.55)$$

или $h_р = 1{,}1 \cdot 4/2 = 2{,}2$ м.

Время ускоренного движения при a_1 — 1 м/с^2 и замедленного при a_3=0.75м/с^2

$$t_1 = \frac{V_{max} - V'}{a_1}; \; t_3 = \frac{V_{max} - V''}{a_3}. \qquad (3{,}56;\ 3{,}57)$$

Подставляя значения, получим:

$$t_1 = \frac{10{,}74 - 1{,}1}{1} = 9{,}64 \text{ с}; \; t_3 = \frac{10{,}74 - 1{,}1}{0{,}75} = 12{,}85 \text{ с}.$$

Длины путей за время ускоренного и замедленного движений

$$h_1 = \frac{V' + V_{max}}{2} t_1; \; h_3 = \frac{V' + V_{max}}{2} t_3 \qquad (3.58; 3{,}59)$$

Подставляя значения, получим:

$$h_1 = \frac{1{,}1 + 10{,}74}{2} 9{,}64 = 57{,}1 \text{ м};\ h_3 = \frac{1{,}1 + 10{,}74}{2} 12{,}85 = 76{,}07 \text{ м}.$$

Длина пути равномерного движения

$$h_2 = H - 2h_\text{р} - h_1 - h_3, \qquad (3.60)$$

т. е. $h_2 = 480 - 2 \cdot 2{,}2 - 57{,}1 - 76{,}07 = 342{,}43$ м.

Продолжительность равномерного движения

$$t_2 = h_2 / V_{max}\,, \qquad (3.61)$$

т. е. $t_2 = 342{,}43/10{,}74 = 31{,}88$ с.

Продолжительность движения подъемных сосудов

$$T = t^{'} + t_1 + t_2 + t_3 + t^{''}, \qquad (3.62)$$

т.е. T = 4 + 9,64 + 31,88 + 12,85 + 4 = 62,37 с.

Проверка правильности расчета:

$$T = \frac{H_0}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{2}\left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}\right) + V^{'}\left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_3}\right) + V^2\left(\frac{1}{a^{''}} - \frac{1}{a_3}\right), \qquad (3.63)$$

т. е $.T = \frac{477}{10{,}74} + \frac{10{,}74}{2}\left(\frac{1}{1} + \frac{1}{0{,}75}\right) + 1{,}1\left(\frac{1}{0{,}275} - \frac{1}{1}\right) +$

$$+1{,}1\left(\frac{1}{0{,}275} - \frac{1}{0{,}75}\right) = 62{,}37 \text{ с}.$$

Фактический коэффициент резерва производительности подъемной установки

$$C_\text{ф} = C\frac{T_\text{р} + T_\text{п}}{T + t_\text{п}} = 1{,}5\frac{70 + 10}{62{,}37 + 10} = 1{,}66.$$

Диаграмма скорости и соответствующая ей диаграмма ускорений показаны на рис. 3.13.

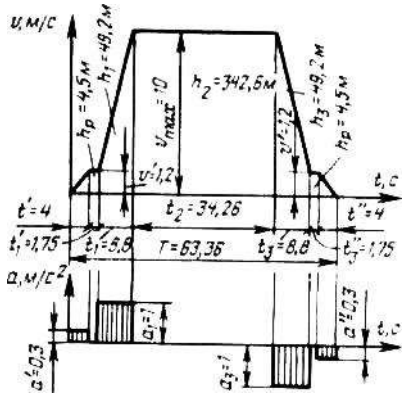


Рис. 3.13. Диаграммы скорости и ускорений (к примеру 3.32)

Определить пути движения подъемных сосудов во второй, третий и четвертый периоды пятипериодной диаграммы скорости, если H = 520 м; v_{max} = 5,5 м/с; a_1= a_3=1 м/с^2; v' =v''=1,5 м/с; h_p= 2,15 м.

Решение. Длина пути ускоренного движения с ускорением a = = 1 м/с^2 на основании формул (3.56) и (3.58)

$$L_1 = \frac{V_{max}^2 - V'^2}{2a_1} = \frac{5{,}5^2 - 1{,}5^2}{2 \cdot 1} = 14 \text{ м}.$$

То же, замедленного движения с замедлением a_3 = 1 м/с^2 на основании формул (3.57) и (3.59)

$$L_3 = \frac{V_{max}^2 - V''^2}{2a_3} = \frac{5{,}5^2 - 1{,}5^2}{2 \cdot 1} = 14 \text{ м}.$$

То же, равномерного движения по формуле (3.60)

$$h_2 = 520 - 2 \cdot 2{,}15 - 14 - 14 = 487{,}7 \text{ м}.$$

3.33. Определить продолжительность равномерного движения с максимальной скоростью подъемных сосудов при пятипериодной диаграмме скорости, если H = 370 м; v_{mgx}= 9,7 м/с; a_1 = 0,75 м/с^2; a_3 = 0,8 м/с^2; v'= 1,2 м/с; v''= 1,5 м/с; h_p = 4 м.

Решение. Продолжительность равномерного движения на основании формул (3.56) — (3.61)

$$t_2 = \frac{H - 2h_p}{V_{max}} - \frac{V_{max}}{2}\left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}\right) + \frac{1}{2V_{max}}\left(\frac{V'^2}{a_1} + \frac{V''^2}{a_3}\right) =$$

$$= \frac{370 - 2 \cdot 4}{9{,}7} - \frac{9{,}7}{2}\left(\frac{1}{0{,}75} + \frac{1}{0{,}8}\right) + \frac{1}{2 \cdot 9{,}7}\left(\frac{1{,}5^2}{0{,}75} + \frac{1{,}2^2}{0{,}8}\right) = 25{,}05 \text{ с}.$$

3.34. Определить полную продолжительность одной подъемной операции при пятипериодной диаграмме скорости, если: H =485 м; v_{max}= 8,3 м/с; a_1=1 м/с^2; a_3 = 0,8 м/с^2; h_p= 2,45 м; v' = 1,2 м/с; v''= 1,1 м/с; t_p= 10 с. *Решение.* Продолжительность движения подъемных сосудов по формуле (3.3)

$$T = \frac{H_0}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{2}\left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}\right) + V'\left(\frac{1}{a'} - \frac{1}{a_1}\right) + V''\left(\frac{1}{a''} - \frac{1}{a_3}\right).$$

Предварительно находим a' и a'' по формулам (3.51) и (3.52) H_0 по формуле (3.50):

$$a^{'} = \frac{1{,}2^2}{2 \cdot 2{,}45} = 0{,}294 \text{ м/с}^2 \qquad a^{"} = \frac{1{,}1^2}{2 \cdot 2{,}45} = 0{,}247 \text{ м/с}^2$$

$$H_0 = 485 - 2 \cdot 2{,}45 + \frac{1{,}1^2}{2 \cdot 1} + \frac{1{,}2^2}{2 \cdot 0{,}8}$$

Подставляя полученные значения, имеем

$$T = \frac{481{,}57}{8{,}3} + \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{0{,}8}\right) + 1{,}2\left(\frac{1}{0{,}294} - \frac{1}{1}\right) + 1{,}1\left(\frac{1}{0{,}247} - \frac{1}{0{,}8}\right) = 73{,}3\ c$$

Полная продолжительность одной подъемной

Операции

$T_{\text{п}} = T + t_n = 73{,}3 + 10 = 83{,}3$ с.

3.35. Определить высоту подъема H при работе по пятипериодной диаграмме скорости, если: T = 85 с; v_{max}= 7,2 м/с; a_1 =1 м/с^2 ; $a_з$ = 0,9 м/с^2; h_p = 2,5 м; v' = 1,2 м/с; v'' = 1,1м/с.

Решение. На основании формулы (3 63)

$$H_0 = Tv_{max} - \frac{v_{max}^2}{2}\left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}\right) - v^{'}v_{max}\left(\frac{1}{a^{'}} - \frac{1}{a_1}\right) - v^{"}v_{max}\left(\frac{1}{a^{"}} - \frac{1}{a_3}\right)$$

Предварительно находим ускорение и замедление скипа на разгрузочных кривых по формулам (3.51) и (3.52)

$$a^{'} = \frac{1{,}2^{\ 2}}{2 \cdot 2{,}5} = 0{,}288 \text{ м/с}^2 \qquad a^{"} = \frac{1{,}1^{\ 2}}{2 \cdot 2{,}5} = 0{,}242 \text{ м/с}^2$$

Используя полученные данные, находим,

$$H_0 = 85 * 7{,}2 - \frac{7{,}2^2}{2}\left(\frac{1}{1} + \frac{1}{0{,}9}\right) - 1{,}2 * 7{,}2\left(\frac{1}{0{,}288} - \frac{1}{1}\right) - 1{,}1 \times$$

$$\times\ 7{,}2\left(\frac{1}{0{,}242} - \frac{1}{0{,}9}\right) = 512 \text{ м}$$

Далее из формулы (3.50)

$$H = H_0 + 2hp - \frac{v^{'2}}{2a_1} - \frac{v^{'2}}{2a_3} = 512 + 2 * 2{,}5 - \frac{1{,}2^2}{2 * 1} - \frac{1{,}1^2}{2 * 0{,}9} = 512 \text{ м}$$

3.36. Определить элементы семипериодной диаграммы скорости и по-

строить в масштабе эту диаграмму и соответствующую ей диаграмму ускорений. Путь подъема H = 450 м, продолжительность движения подъемных сосудов $T_р$= 65 с, пауза между подъемными операциями $t_п$= 8с, путь разгрузки опрокидных клетей $h_р$ = 4,5 м, диаметр барабана $D_б$ = 5 м, коэффициент резерва производительности установки C = 1,5.

Решение. Модуль ускорений по формуле (3.37) при принятом a_1= a_3 = 1 м/с^2

$$a^м = 1 * 1 = 0{,}5 \text{ м}/c^2$$

При принятом значении скорости входа ролика клети в разгрузочные кривые и выхода его из них $v' = v'' = 1{,}2$ *м/с,* ускорении и замедлении $a' — a''$ = 0,3 м/с^2 по формулам (3.53), (3.54) продолжительность ускоренного и замедленного движения по разгрузочным кривым

$t'= t''= 1{,}2/0{,}3 = 4$ с.

То же, равномерного движения

$$t'_1 = \frac{h_p - v' t'/2}{v'} \qquad t''_1 = \frac{h_p - v'' t''/2}{v''} \qquad (3.64; 3.65)$$

Исходя из вышеизложенного, получаем

$$t'_1 = t''_1 = \frac{4{,}5 - 1{,}2 * 4/2}{1{,}2} = 1{,}75c$$

Далее определяем

$$T_0 = T_p - t'_1 - t''_1 - t'' + \frac{v'}{a_1} + \frac{v''}{a_3} \qquad (3.66)$$

т.е. T_0 = 65 – 4 – 1,75 –1,75 – 4 + 1,2/1 + 1,2/1 = 55,9с с;

По формуле (3.50)

$$H_0 = 450 - 2 * 45 + \frac{1{,}2^2}{2 * 1} + \frac{1{,}2^2}{2 * 1} = 442{,}44 \text{ м}$$

по формуле (3.48)

$$v_{pmax} = 0{,}5 * 55{,}9 - \sqrt{(0{,}5 * 55{,}9)^2 - 2 * 0{,}5 * 442{,}44} = 9{,}6 \text{м}/c$$

При диаметре барабана Dб = 5 м, передаточном числе зубчатого редуктора i = 10,5 и синхронной частоте вращения асинхронного двигателя $n_{син}$ =

425 об/мин (n = 400об/мин) максимальная скорость

$$v_{max} = \frac{\pi D_б n}{i} = \frac{3{,}14 * 5 * 6.67}{10{,}5} = 10 \text{ м}/c$$

Определим продолжительности ускоренного и замедленного движений при $a_1 = a_3 = 1$ м/с^2 и длины путей за это время по формулам (3.56) — (3.59), учитывая, что $v' = v''$

$$t_1 = \frac{10 - 1{,}2}{1} = 8{,}8\ c \qquad t_3 = \frac{10 - 1{,}2}{1} 8{,}8\ c$$

Проверка пути разгрузки:

$$h_1 = \frac{1{,}2 + 10}{2} 8{,}8 = 49{,}2 \text{ м} \qquad h_3 = \frac{1{,}2 + 10}{2} 8{,}8 = 49{,}2 \text{ м}$$

Длина пути и продолжительность равномерного движения согласно формулам (3.60) и (3.61)

$H_2 = 450 - 2 * 4{,}5 - 49{,}2 - 49{,}2 = 342{,}6$ м;

$t_2 = 342{,}6/10 = 34{,}26$ с.

Продолжительность движения подъемных сосудов

$$T = t' + t'_1 + t_1 + t_2 + t_3 + t"_1 + t" \qquad (3.67)$$

т.е. T = 4 + 1,75 + 8,8 + 34,26 + 8,8 + 1,75 + 4 = 63,36 с.

Проверка правильности расчета:

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{H_o}}{\mathrm{V_{max}}} + \frac{\mathrm{V_{max}}}{2}\left(\frac{1}{\mathrm{a_1}} + \frac{1}{\mathrm{a_3}}\right) + \mathrm{V`}\left(\frac{1}{2\mathrm{a}} - \frac{1}{\mathrm{a_1}}\right) + \mathrm{V``}\left(\frac{1}{2\mathrm{a``}} - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\mathrm{a_3}}\right) + \mathrm{h_p}\left(\frac{1}{\mathrm{V`}} + \frac{1}{\mathrm{V``}}\right), \qquad (3.68)$$

Фактический коэффициент резерва производительности подъемной установки по формуле (3.47)

$$C_ф = 1{,}5 \frac{65 + 8}{63{,}36 + 8} = 1{,}53$$

Диаграмма скорости и соответствующая ей диаграмма ускорений показаны на рис. 3.14.

§ 3. ДИНАМИКА ПОДЪЕМНЫХ СИСТЕМ С ПОСТОЯННЫМ РАДИУСОМ НАВИВКИ КАНАТА

Движущие усилия на окружности барабана и мощности на валу подъемного двигателя

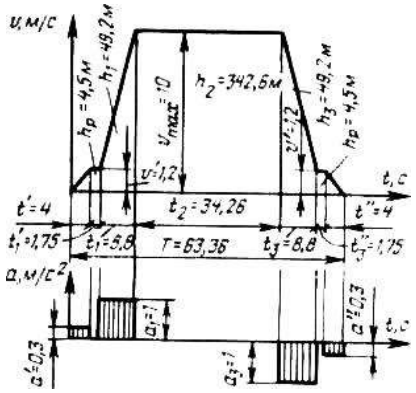


Рис. 3.14. Диаграммы скорости и ускорений (к примеру 3.37)

Примеры расчета

3.37. Определить движущие усилия на окружности барабана, мощности на валу подъемного двигателя в характерных точках трехпериодной диаграммы скорости. Построить диаграммы усилий (нагрузочные диаграммы на двигатель) и мощностей для подъемных систем без уравновешивающего каната, с равновесным уравновешивающим канатом и с тяжелым уравновешивающим канатом. Высота подъема H = 730 м, полезная масса $Q_п$ = 5000 кг, время ускоренного, равномерного и замедленного движений t_1 = 13,33 с; t_2 = 59,66 с; t_3 = 13,33 с.

Длины путей, пройденных в эти периоды, $h_1 = h_3$ = 66,7 *м,* h_2 = = 596,6 м. Продолжительность движения T = 86,32 с; линейная масса подъемного каната p = 8,37 кг/м; линейная масса уравновешивающего каната q = 9,43 кг/м; приведенная масса движущихся частей подъемной установки к окружности барабана $m_п$ = 80000 кг; ускорение и замедление $a_1 = a_2$ = 0,73м/с^2; максимальная скорость движения подъемных сосудов V_{max} = 10 м/с; к.п.д. передачи редуктора $\eta_п$ = = 0,94.

Решение. Движущие усилия (Н), создаваемые двигателем на окруж-

ности барабана двухклетевой (двухскиповой) установки (рис. 3.15),

$$F = [kQ_{\text{п}} - (H - 2h_x)(q - p)]g + m_{\text{п}}a \qquad (3.69)$$

Для одноклетевой (односкиповой) установки с противовесом

$$F = \left[kQ_{\text{п}} + Q_c - Q_{\text{пр}} - (H - 2h_x)(q - p)\right]g + m_{\text{п}}a \qquad (3.70)$$

где $к$ — коэффициент вредных сопротивлений (для клетей $к$ = 1,2: для скипов $к$ = 1,15); h_x — мгновенное значение пути, м; $m_{\text{п}}$ — масса всех движущихся частей установки, приведенная к окружности навивки, кг; $Q_{\text{пр}}$ - масса противовеса, кг.

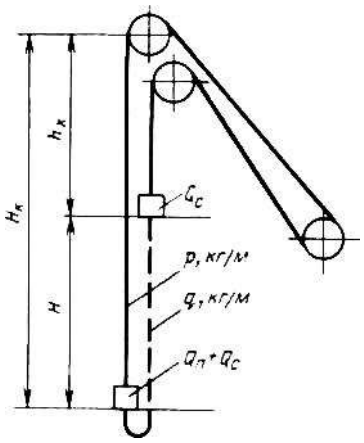


Рис. 3.15. Схема к динамическому уравнению подъемной системы с постоянным радиусом навивки каната

1. Система без уравновешивающего каната (q = 0). На основании выражения (3.69) движущие усилия в начале подъема и конце ускоренного движения:

$$F_1 = \left(kQ_{\text{п}} + \text{Н}_{\text{р}}\right)g + m_{\text{п}}a_1 = (1{,}2 \cdot 5000 + 730 \cdot 8{,}37)9{,}81 +$$

$$+80000 * 0{,}75 = 17{,}88 * 10^4 H$$

$$F_2 = (kQ_{\text{п}} + (H - 2h_1)p)g + m_{\text{п}}a_1 = (1{,}2 \cdot 5000 + (730 -$$

$$-2 \cdot 66{,}7)8{,}37)9{,}81 + 80000 \cdot 0{,}75 = 16{,}78 \cdot 10^4\text{Н};$$

То же, в начале и конце равномерного движения:

$$F_3 = (kQ_{\text{п}} + (H - 2h_1)p)g = (1{,}2 \cdot 5000 + (730 -$$

$$-2 \cdot 66{,}7)8{,}37)9{,}81 = 10{,}78 \cdot 10^4\text{Н};$$

$$F_4 = (kQ_{\text{п}} + (H - 2(h_1 + h_2))p)g = (1{,}2 \cdot 5000 +$$

$$+((730 - 2)66{,}7 + 596{,}6))8{,}37)9{,}81 = 0{,}987 \cdot 10^4\text{Н};$$

То же, в начале замедленного движения и конце подъема:

$$F_5 = (kQ_{\text{п}} + (H - 2(h_1 + h_2))p)g + m_{\text{п}}a_3 =$$

$$= \{1{,}2 * 5000 + [730 - 2(66{,}7 + 596{,}6)]8{,}37\}9{,}81 -$$

$-80000 * 0{,}75 = -5{,}01 * 10^4 H$

$F_6 = (kQ_п - H_h)g - m_п a_3 = (1{,}2 \cdot 5000 - 730 \cdot 8{,}37)9{,}81 -$

$-80000 \cdot 0{,}75 = -6{,}01 \cdot 10^4$Н.

Мощности (кВт) на валу подъемного двигателя в тех же характерных точках диаграммы скорости

$$N_x = \frac{F_x V_x}{1000\eta_п}, \qquad (3.71)$$

При наших данных

$N_1 = 0;$

$$N_2 = \frac{F_2 V_{max}}{1000\eta_п} = \frac{16{,}78 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 1985 \text{ кВт};$$

$$N_3 = \frac{F_3 V_{max}}{1000\eta_п} = \frac{10{,}78 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 1147 \text{ кВт};$$

$$N_4 = \frac{F_4 V_{max}}{1000\eta_п} = \frac{0{,}987 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 105 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{F_5 V_{max}\,\eta_п}{1000} = \frac{-5{,}01 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot}{1000} = -470 \text{ кВт};$$

$N_6 = 0;$

2. Система с равновесным уравновешивающим канатом $(q = p)$. Движущие усилия на основании выражения (3.69):

при ускоренном движении

$F_1 = F_2 = kQ_п g + m_п a_1 = 1{,}2 \cdot 5000 \cdot 9{,}81 + 80000 \cdot 0{,}75 =$

$= 11{,}88 \cdot 10^4$Н;

при равномерном движении

$F_3 = F_4 = kQ_п g = 1{,}2 \cdot 5000 \cdot 9{,}81 = 5{,}88 \cdot 10^4$Н;

при замедленном движении

$F_5 = F_6 = kQ_п g - m_п a_3 = 1{,}2 \cdot 5000 \cdot 9{,}81 - 80000 \cdot 0{,}75 =$

$= -0{,}1 \cdot 10^4$Н;

Мощности на валу подъемного двигателя по формуле (3.71) :

$N_1 = 0;$

$$N_2 = \frac{11{,}88 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 1260 \text{ кВт};$$

$$N_3 = N_4 = \frac{5{,}88 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 1985 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{-0{,}1 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = -10{,}3 \text{ кВт};$$

$$N_6 = 0.$$

3. Система с тяжелым уравновешивающим канатом ($q - p$ = 9,43 — 8,37 = =1,06 кг/м). Движущие усилия по формуле (3.69) в точках, указанных в расчете без уравновешивающего каната:

$$F_1 = (kQ_\text{п} - \text{Н}(q-p))g + m_\text{п}a_1 = (1{,}2 \cdot 5000 - 730 \cdot 1{,}06) \cdot$$

$$\cdot 9{,}81 + 80000 \cdot 0{,}75 = 11{,}12 \cdot 10^4 H$$

$$F_2 = (kQ_\text{п} - (\text{Н} - 2h_1)(q-p))g + m_\text{п}a_1 =$$

$$= [1{,}2 \cdot 5000 - (730 - 2 \cdot 66{,}7)1{,}06]9{,}81 + 80000 \cdot 0{,}75 =$$

$$= 11{,}26 \cdot 10^4 H;$$

$$F_3 = (kQ_\text{п} - (\text{Н} - 2h_1)(q-p))g =$$

$$= [1{,}2 \cdot 5000 - (730 - 2 \cdot 66{,}7)1{,}06]9{,}81 = 5{,}26 \cdot 10^4 H$$

$$F_4 = (kQ_\text{п} - (\text{Н} - 2(h_1 + h_2)(q-p))g =$$

$$= \{1{,}2 \cdot 5000 - [730 - 2(66{,}7 + 596{,}6)]1{,}06\}9{,}81 = 6{,}5 \cdot 10^4$$

$$F_5 = \{kQ_\text{п} - [H - 2(h_1 + h_2)](q-p)\}g - m_\text{п}a_3 =$$

$$= (1{,}2 \cdot 5000 - (730 - 2 \cdot 66{,}7), 06)9{,}81 - 80000 \cdot 0{,}75 = 0{,}5 \cdot 10^4 H;$$

$$F_6 = (kQ_\text{п} + \text{Н}(q-p))g - m_\text{п}a_3 = (1{,}2 \cdot 5000 + 730 \cdot 1{,}06) \cdot$$

$$* 9{,}81 - 80000 * 0{,}75 = 0{,}64 * 10^4 H$$

Мощности на валу подъемного двигателя по формуле (3.71):

$$N_1 = 0;$$

$$N_2 = \frac{11{,}26 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 1198 \text{ кВт};$$

$$N_3 = \frac{5{,}26 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 560 \text{ кВт};$$

$$N_4 = \frac{6{,}5 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 691 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{0{,}5 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 53{,}2 \text{ кВт};$$

$$N_6 = 0.$$

Диаграммы для этого примера показаны на рис. 3.16.

3.39. Определить движущие усилия на окружности навивки барабана, мощности на валу подъемного двигателя в характерных точках пятипериодной диаграммы скорости и построить диаграммы усилий (нагрузочные диаграммы на двигатель) и мощностей для скиповой установки без уравновешивающего каната. Высота подъема H = 550 м, полезная масса скипа $Q_{\text{п}}$ = 8500 кг. Продолжительность движения по разгрузочным кривым t = 3,94 с с ускорением a' = 0,279 м/с^2, t =6,13 с с ускорением a_1 = 1 м/с^2; равномерного движения t_2 = 67,23 с с ускорением a_1 = 1 м/с^2, t_3 = 8,17 с с замедлением a_3 = 0,75 м/с^2;

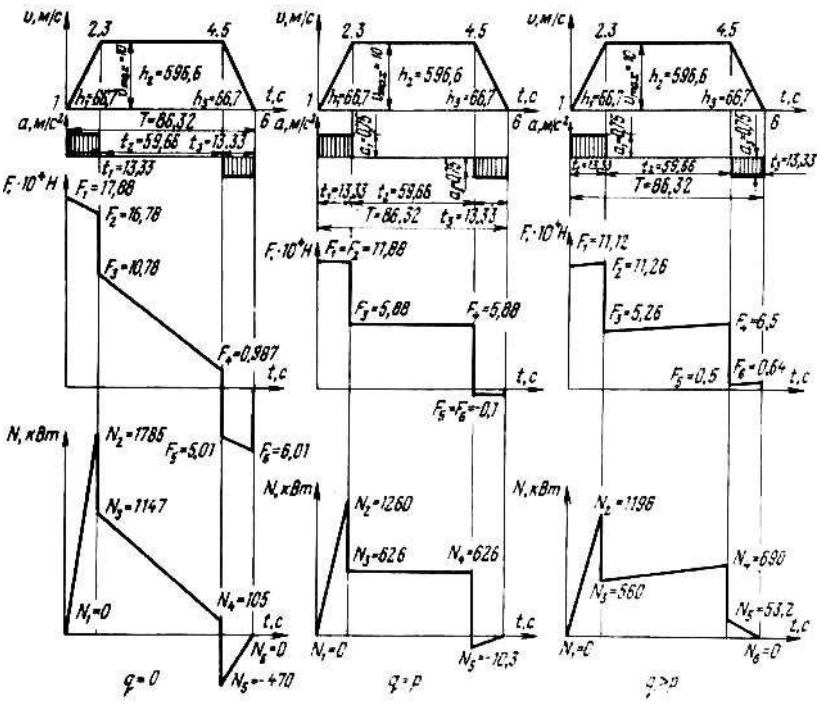


Рис. 3.16. Диаграммы к расчету подъемной системы (к примеру 3.38)

по разгрузочным кривым t'' = 3,94 с с замедлением a'' = 0,279 м/с^2 соответственно указанным периодам пути $h_{\text{р}}$ = 2,17 м (путь разгрузки скипа); h_1 =

25,53 м; h_2 = 486,1 м; h_3 = 34,03 м; скорость выхода ролика скипа из разгрузочных кривых v' = 1,1 м/с, входа v'' = 1,1 м/с; максимальная скорость V_{max} = 7,23 м/с; T = 89,41 с; приведенная к окружности барабана масса движущихся частей установки m_n = = 103590 кг; к.п.д. редуктора $\eta_п$ =0,93.

Решение. На основании выражения (3.69) движущие усилия в начале подъема и конце движения с ускорением a':

$$F_1 = \left(kQ_п + H_p\right)g + m_п a' = (1{,}15 \cdot 8500 + 550 \cdot 8{,}47)9{,}81$$
$$= 103590 \cdot 0{,}279 = 17{,}05 * 10^4 H$$
$$F_2 = [kQ_п + \left(H - 2h_p\right)p]g + m_п a' = [1{,}15 \cdot 8500 +$$
$$= (550 - 2 \cdot 2{,}17)8{,}47]9{,}81 + 103590 \cdot 0{,}279 = 17{,}01 \cdot 10^4 H.$$

То же, в начале и конце движения с ускорением a_1:

$$F_3 = \left(kQ_п + (H - 2h_p)p\right)g + m_п a_1 = [1{,}15 \cdot 8500 + (550 -$$
$$-2 \cdot 2{,}17)8{,}47]9{,}81 + 103590 \cdot 1 = 17{,}01 \cdot 10^4 \text{Н};$$
$$F_4 = \left\{kQ_п + \left[H - 2\left(h_p + h_1\right)\right]p\right\}g + m_п a_1 = \{1{,}15 \cdot 8500 +$$
$$+[550 = 2(2{,}17 + 25{,}53)]8{,}47\}9{,}81 + 103590 \cdot 1 =$$
$$= 24{,}06 \cdot 10^4 H.$$

То же, в начале и конце равномерного движения:

$$F_5 = \{kQ_п + [H - 2\left(h_p + h_1\right)]g = \{1{,}15 \cdot 8500 +$$
$$+[550 - 2(2{,}17 + 25{,}530]8{,}47\}9{,}81 = 13{,}7 \cdot 10^4 H;$$
$$F_6 = \{kQ_п + H - 2\left(h_p + h_1 + h_2\right)]p)g = \{1{,}15 \cdot 8500 +$$
$$[550 - 2(2{,}17 + 25{,}53 + 486{,}1)]8{,}47\}9{,}81 = 5{,}61 \cdot 10^4 H.$$

То же, в начале и конце движения с замедлением a_3:

$$F_7 = \{kQ_п + [H - 2\left(h_p + h_1 + h_2\right)]p)g - m_п a_3 =$$
$$= \{1{,}15 \cdot 8500 + [550 - 2(2{,}17 + 25{,}53 + 486{,}1)]8{,}47\}9{,}81 -$$
$$-103590 \cdot 0{,}75 = -2{,}15 \cdot 10^4 \text{Н};$$
$$F_8 = \{kQ_п + [H - 2(h_p + h_1 + h_2 + h_3)]p\}g - m_п a_3 =$$
$$= \{1{,}15 * 8500 + [500 - 2(2{,}17 + 486{,}1 + 34{,}03]8{,}47\} \cdot$$
$$\cdot 9{,}81 - 103590 \cdot 0{,}75 = -2{,}72 \cdot 10^4 \text{Н}.$$

То же, в начале движения с замедлением a'' и конце подъема:

$$F_9 = \{kQ_{\text{п}} + \left[H - 2\left(h_p + h_1 + h_2 + h_3\right)\right]p\}g - m_{\text{п}}a'' =$$

$$= \{1{,}15 * 8500 + [550 - 2(2{,}17 + 25{,}53 + 486{,}1 + 34{,}03)]8{,}47\} \cdot$$

$$\cdot 9{,}81 - 103590 \cdot 0{,}279 = 2{,}16 \cdot 10^4 \text{Н};$$

$$F_{10} = \left(kQ_{\text{п}} - H_p\right)g - m_{\text{п}}a'' = (1{,}15 \cdot 8500 - 550 \cdot 8{,}47)9{,}81 -$$

$$-103590 \cdot 0{,}279 = 2{,}13 \cdot 10^4 \text{Н}.$$

Мощности в тех же характерных точках диаграммы скорости:

$N_1 = 0$;

$$N_2 = \frac{17{,}01 \cdot 10^4 \cdot 1{,}1}{1000 \cdot 0{,}93} = 201{,}2 \text{ кВт};$$

$$N_3 = \frac{24{,}55 \cdot 10^4 \cdot 1{,}1}{1000 \cdot 0{,}93} = 290{,}4 \text{ кВт};$$

$$N_4 = \frac{24{,}06 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23}{1000 \cdot 0{,}93} = 1870 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{13{,}7 \cdot 10^4 \cdot 0{,}23}{1000 \cdot 0{,}93} = 1065 \text{ кВт};$$

$$N_6 = \frac{5{,}62 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23}{1000 \cdot 0{,}93} = 437 \text{ кВт};$$

$$N_7 = \frac{-2{,}15 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23 \cdot 0{,}93}{1000} = -145 \text{ кВт};$$

$$N_8 = \frac{-2{,}72 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23 \cdot 0{,}93}{1000} = -27{,}8 \text{ кВт};$$

$$N_9 = \frac{2{,}16 \cdot 10^4 \cdot 1{,}1}{1000 \cdot 0{,}93} = 25{,}5 \text{ кВт};$$

$N_1 = 0$;

Диаграммы к этому примеру показаны на рис. 3.17.

3.38. Определить движущие усилия на окружности барабана и мощности на валу подъемного двигателя в характерных точках семипериодным t''_1 = 2,83 с; то же, замедленного t'' = 4 с. Длина пути клети по разгрузочным кривым h_p = 5,8 м, а путей ускоренного, равно- мерного и замедленного движений соответственно h_1 =6,5 м, h_2 = 232,4 м. и h_3 = 6,5 м. Ускорение и за-

медление на разгрузочных кривых a' =0,3 м/с^2, a'' = 0,3 м/с^2; ускорение и замедление клети a_1 = 0,75 м^3/с^2 и a_2 = 0,75 м/с^2, коэффициент, учитывающий нарушение уравновешивания собственных масс сосудов в момент разгрузки, k_y = 0,35, скорость входа ролика в разгрузочные кривые v' = 1,2 м/с; то же, выхода v'' = 1,2 м/с; максимальная скорость клети v_{max} = 3,35 м/с; к.п.д. передачи η_n = 0,9.

Решение. Усилия (Н) в начале подъемной операции и в конце движения с ускорением a' = 0,3 м/с^2:

$$F_1 = \left(kQ_п + k_y Q_y + H(p-q)\right)g + m_п a', \qquad (3.72)$$

т. е. $F_1 = (1{,}2 \cdot 2000 + 0{,}35 \cdot 8110 + 257 \cdot 4{,}74)9{,}81 + 42380 \cdot 0{,}3 =$

$= 7{,}6 \cdot 10^4$Н;

$$F_2 = \left(kQ_п + (H - 2\frac{v't'}{2})p\right)g + m_п a' = (1{,}2 \cdot 2000 +$$

$$+\left(257 - 2\frac{1{,}2 \cdot 4}{2}\right)4{,}74)9{,}81 + 42380 \cdot 0{,}3 = 4{,}8 \cdot 10^4\text{Н}.$$

То же, в начале и конце равномерного движения по разгрузочным кривым:

$$F_3 = \left[kQ_п + \left(H - 2\frac{v't'}{2}\right)p\right]g = [1{,}2 \cdot 2000 +$$

$$+\left(257 - 2\frac{1{,}2 \cdot 4}{2}\right)4{,}74]9{,}81 = 3{,}35 \cdot 10^4\text{Н};$$

$$F_4 = [kQ_п + (H - 2h_p)p])g = [1{,}2 \cdot 2000 + (257 - 2 \cdot 5{,}8) \times$$

$$\times 4{,}74]9{,}81 = 3{,}5 \cdot 10^4\text{Н}.$$

То же, в начале и конце движения с ускорением a_t = 0,75 м/с^2:

$$F_5 = \left[kQ_п + \left(H - 2h_p\right)p\right]g + m_п a_1 = [1{,}2 \cdot 2000 +$$

$$+(257 - 2 \cdot 5{,}8)4{,}74]9{,}81 + 42380 \cdot 0{,}75 = 6{,}67 \cdot 10^4\text{Н};$$

$$F_6 = \{kQ_п + \left[H - 2(h_p + h_1\right)]p\}g + m_п a_1 = \{1{,}2 \cdot 2000 +$$

$$+[257 - 2(5{,}8 + 6{,}5)]4{,}74\}9{,}81 + 42380 \cdot 0{,}75 = 6{,}61 \cdot 10^4\text{Н}.$$

То же, в начале и конце равномерного движения с максимальной скоростью:

$$F_7 = \{kQ_п + \left[H - 2(h_p + h_1\right)]p\}g = \{1{,}2 \cdot 2000 +$$

$+[257-2(5{,}8+6{,}5)]4{,}74\}9{,}81=3{,}44\cdot10^4$Н;

$F_8=\{kQ_{\text{п}}+\left[H-2(h_p+h_1+h_2\right)]p\}g=\{1{,}2\cdot2000+$

$+[257-2(5{,}8+6{,}5+232{,}5)]4{,}74\}9{,}81=1{,}27\cdot10^4$Н.

Усилия в начале и конце движения с замедлением a_3 = 0,75 м/с^2:

$F_9=\{kQ_{\text{п}}+\left[H-2(h_p+h_1+h_2\right)]p\}g-m_{\text{п}}a_3=\{1{,}2\cdot2000+$

$+[257-2(5{,}8+6{,}5+232{,}4)]4{,}74\}9{,}81-42380\cdot0{,}75=-1{,}9\cdot10^4$Н;

$F_{10}=\{kQ_{\text{п}}+\left[H-2(h_p+h_1+h_2+h_3\right)]p\}g-m_{\text{п}}a_3=\{1{,}2\cdot2000+$

$+[257-2(5{,}8+6{,}5+232{,}4+6{,}5)]4{,}74\}9{,}81-$

$-42380\cdot0{,}75=-1{,}97\cdot10^4$Н.

То же, в начале и конце равномерного движения по разгрузочным кривым:

$F_{11}=\{kQ_{\text{п}}+\left[H-2(h_p+h_1+h_2+h_3\right)]p\}g=\{1{,}2\cdot2000+$

$+[257-2(5{,}8+6{,}5+232{,}4+6{,}5)]4{,}74\}9{,}81=1{,}21\cdot10^4$Н;

$F_{12}=\{kQ_{\text{п}}+\left[H-2(h_p+h_1+h_2+h_3+v''t''\right)]p\}g=\{1{,}2\cdot2000+$

$+[257-2(5{,}8+6{,}5+232{,}4+6{,}5+1{,}2\cdot2{,}83)]\times$

$\times4{,}74\}9{,}81=1{,}18\cdot10^4$Н.

То же, в начале движения с замедлением a'' = 0,3 м/с^2 и конце подъемной операции:

$F_{13}=\{kQ_{\text{п}}+\left[H-2(h_p+h_1+h_2+h_3+v''t''\right)]p\}g-m_{\text{п}}a''=$

$\{1{,}2\cdot2000+[257-2(5{,}8+6{,}5+232{,}4+6{,}5+1{,}2\cdot2{,}83)]\times$

$\times4{,}74\}9{,}81-42380\cdot0{,}3=1{,}21\cdot10^4$Н;

$F_{14}=\left[(k-1)Q_{\text{п}}-k_yQ_c-H(p-q)\right]g-m_{\text{п}}a'',$ (3.73)

т. е. $F_{14}+[(1{,}2-1)\times2000-0{,}35\cdot8110-257\cdot4{,}74]9{,}81-$

$-42380\cdot0{,}3=-4{,}86\cdot10^4$Н;

Мощности на валу подъемного двигателя в характерных точках диаграммы скорости:

$N_1=0;$

$N_2=\dfrac{F_2\cdot v'}{1000\eta_{\text{п}}}=\dfrac{4{,}8\cdot10^4\cdot1{,}2}{1000\cdot0{,}9}=64$ кВт;

$$N_3 = \frac{F_3 \cdot v'}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{3{,}53 \cdot 10^4 \cdot 1{,}2}{1000 \cdot 0{,}9} = 47 \text{ кВт};$$

$$N_4 = \frac{F_4 \cdot v'}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{3{,}5 \cdot 10^4 \cdot 1{,}2}{1000 \cdot 0{,}9} = 46{,}6 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{F_5 \cdot v'}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{6{,}67 \cdot 10^4 \cdot 1{,}2}{1000 \cdot 0{,}9} = 89 \text{ кВт};$$

$$N_6 = \frac{F_6 \cdot v_{max}}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{6{,}61 \cdot 10^4 \cdot 3{,}35}{1000 \cdot 0{,}9} = 246 \text{ кВт};$$

$$N_7 = \frac{F_7 \cdot v_{max}}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{3{,}44 \cdot 10^4 \cdot 3{,}35}{1000 \cdot 0{,}9} = 127{,}8 \text{ кВт};$$

$$N_8 = \frac{F_8 \cdot v_{max}}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{1{,}27 \cdot 10^4 \cdot 3{,}35}{1000 \cdot 0{,}9} = 47{,}7 \text{ кВт};$$

$$N_9 = \frac{F_9 \cdot v_{max}\,\eta_{\text{п}}}{1000} = \frac{-1{,}9 \cdot 10^4 \cdot 3{,}35 \cdot 0{,}9}{1000} = -57{,}1 \text{ кВт};$$

$$N_{10} = \frac{F_{10} \cdot v''\eta_{\text{п}}}{1000} = \frac{-1{,}97 \cdot 10^4 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}9}{1000} = -21{,}2 \text{ кВт};$$

$$N_{11} = \frac{F_{11} \cdot v''}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{1{,}21 \cdot 10^4 \cdot 1{,}2}{1000 \cdot 0{,}9} = 16{,}2 \text{ кВт};$$

$$N_{12} = \frac{F_{12} \cdot v''}{1000\eta_{\text{п}}} = \frac{11{,}8 \cdot 10^4 \cdot 1{,}2}{1000 \cdot 0{,}9} = 15{,}8 \text{ кВт};$$

$$N_{13} = \frac{F_{13} \cdot v''\eta_{\text{п}}}{1000} = \frac{-0{,}9 \cdot 10^4 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}9}{1000} = -0{,}97 \text{ кВт};$$

$$N_{14} = 0.$$

Диаграммы для данного примера показаны на рис. 3.18.

Приведенная к окружности барабана масса движущихся частей подъемной установки

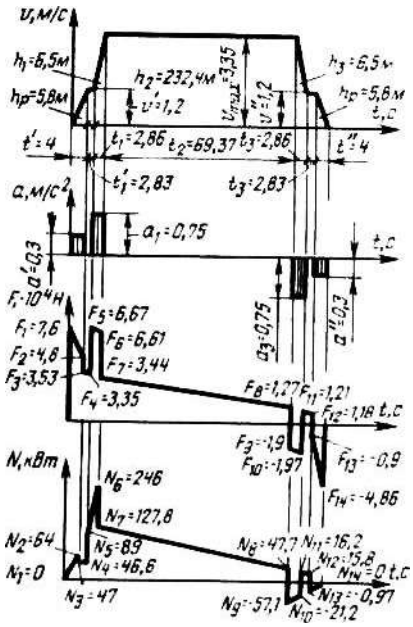


Рис. 3.18. Диаграммы к расчету установки с опрокидными клетями (к примеру 3.40)

3.41.Определить приведенную к окружности барабана массу дви-жущихся частей скиповой подъемной установки, если расстояние от нижней приемной площадки до оси напрвляющего шкива $H_к$ = 570 м. Полезная масса угля $Q_п$ = 8500 кг, собственная масса скипа $Q_с$ = 8460 кг, линейная масса подъемного каната p = = 8,47 кг/м. Установка с уравновешивающим канатом (q = 8,56 кг/м). Барабан и направляющий шкив диаметрами $D_б$ = $D_{н.ш}$ = 5 м. Передаточное число редуктора i = 10,5.

Решение. Приведенная масса (кг) всех движущихся частей подъемной установки

$$m_п = Q_п + 2Q_с + 2L_{п.к}p + L_{у.к}q + 2m'_{н.ш} + m''_б + m'_п + m'_р \qquad (3.74)$$

Массы движущихся частей установки приводятся к окружности барабана — пункту, где наблюдается линейное ускорение подъема. Истинные массы поступательно движущихся частей (сосуды, канаты) тождественны приведенным. Приведению подлежат массы вращающихся частей (направляющие шкивы, барабаны, зубчатые колеса передачи, ротор).

Приведенная масса (кг) подъемных канатов

$$2L_{п.к}p = 2\left[H_к + \frac{\pi D_{н.ш}}{2} + L_с + n_{в.т}\pi D_б + l_п\right]p. \qquad (3.75)$$

Принимая длину струны $L_с$ = 59,5 м, число витков трения $n_{в.т}$ = 5 и длину

каната для испытания $/_{и}$ = 30 м, получим

$$2L_{\text{п.к}}p = 2\left(570 + 3{,}14 * \frac{5}{2} + 59{,}5 + 5 * 3{,}14 * 5 + 30\right)8{,}4 = 12530 \text{ кг}.$$

Приведенная масса уравновешивающего каната с учетом 30 м на петлю каната в зумпфе

$$L_{y.k}q = (550 + 30)8{,}56 = 4970 \text{ кг}.$$

Приведенная масса (кг) каждой из вращающихся частей

$$m' = I/D_{\text{б}}^2, \qquad (3.76)$$

здесь значения динамических моментов инерции / направляющих шкивов, барабанов, редуктора, ротора находятся по их характеристикам. Предварительно определяем ориентировочную мощность подъемного двигателя:

$$N = \frac{kQ_{\text{п}}Hg}{1000T\eta_{\text{п}}}p, \qquad (3.77)$$

где р — коэффициент динамического режима, равный для неопрокидных клетей 1,5 ÷1,6 и опрокидных 2,2 ÷ 2,6; для неопрокидных скипов 1,3 ÷1,4 и опрокидных 1,4 ÷ 1,8; для многоканатных установок со скипами 1,2 ÷ 1,3.

По нашим данным

$$m_{\text{п}} = 8500 + 2 \cdot 8460 + 12635 + 4970 + 2\frac{34500}{5^2} + \frac{680000}{5^2} +$$

$$+\frac{250000}{5^2} + \frac{5800}{5^2}10{,}5^2 = 107080 \text{ кг}.$$

3.42/ Определить приведенную массу $m_{\text{п}}$ движущихся частей установки, если движущее усилие в начале подъема F_1=11·10^4 Н; $Q_{\text{п}}$ = = 4000 кг; коэффициент вредных сопротивлений $к$ = 1,2; H = 290 м; р = 7,397 кг/м; q = 0; a_1 = 0,75 м/с^2.

Решение. На основании динамического уравнения приведенная масса

$$m_{\text{п}} = \frac{F - (kQ_{\text{п}} - (H - 2h_x)(q - p))g}{a_1}.$$

Так как q = 0, то усилие задано для начала подъемной операции. Следовательно, h_x = 0 и

$$m_{\text{п}} = \frac{F_1 - \left(kQ_{\text{п}} + H_p\right)g}{a_1} =$$

$$= \frac{110000 - (1{,}2 \cdot 40000 + 290 \cdot 7{,}397)9{,}81}{0{,}75} = 55820 \text{ кг}.$$

3.43. Определить ускорения a_1 и a_3 при ускоренном и замедленном движении клетевой установки, если движущие усилия в начале подъемной операции F_1 = =1,18 · 10^4 Н, в конце — F_6 = -1,65 · 10^4 Н, $Q_{\text{п}}$ = 4000 кг; $к$ = 1,2; H = 350 м; p = =6,349 кг/м; q = 0; m_n = 56000 кг.

Решение. На основании динамического уравнения при q = 0

$$a = \frac{F - (kQ_{\text{п}} + (H - 2h_x)p)g}{m_{\text{п}}}.$$

При наших данных

$$a_1 = \frac{111800 - (1{,}2 \cdot 4000 + 350 \cdot 6{,}349)9{,}81}{56000} = 0{,}766 \text{м/с}^2;$$

$$a_3 = \frac{(1{,}2 \cdot 4000 - 350 \cdot 6{,}349)9{,}81 + 16500}{56000} = 0{,}746 \text{м/с}^2;$$

3.44. Определить коэффициент $к$ сопротивления движению подъемной системы без уравновешивающего каната (q = 0), если диаграмма скорости трехпериодная. Движущее усилие в конце равномерного движения F_4 = 31,6 • 10^4Н. H = 285 м. Длина пути за время ускоренного движения h_1 = 35 м, равномерного — h_2 =215м; p = 7,397 кг/м; Q_n = 4000 кг.

Решение. На основании динамического уравнения

$$k = \frac{F + ((H - 2h_x)(q - p))g}{gQ_{\text{п}}} - m_{\text{п}}a.$$

Для заданных условий (q=0; $h_x = h_1 + h_2$; a = 0)

$$k = \frac{31600 + \left(\left(285 - 2(35 - 215)\right)7{,}397\right)9{,}81}{9{,}81 \cdot 4000} = 1{,}2.$$

§ 4. ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ ПОДЪЕМНЫХ СИСТЕМ С ВЕДУЩИМИ ШКИВАМИ ТРЕНИЯ

Примеры расчета

3.45. Определить ускорение, замедление и статический коэффициент безопасности против скольжения одноканатной подъемной установки с ведущим шкивом трения и равновесным уравновешивающим канатом *(q = p)* исходя из условия нескольжения шкива и каната, если высота подъема H = 600 м; расстояние от нижней приемной площадки до оси верхнего направляющего шкива H_k = 620 м; полезная масса $Q_п$ = = 7000 кг и собственная масса $Q_с$ = 9210 кг клети; диаметр направляющего шкива $D_{н.ш}$ = 4 м и его приведенная масса $m'_{н.ш}$ = 1100 кг; длина подъемного каната от верхней приемной площадки до соприкосновения его с ведущим шкивом трения $L_{в.ш}$ =61 м; его линейная масса p = 11,15 кг/м; коэффициент трения каната о футеровку шкива f = 0,2; угол охвата шкива канатом a =π рад.

Решение. 1. Допустимое ускорение (м/с^2) из условия нескольжения шкива трения по канату

$$a_{1max} = \frac{e^{f(\alpha)}(m_1 - c) - m_2 - c}{e^{f\alpha}(m_1 + m'_{н.ш} + A) + m_2 + A} g,$$

где $e^{f\alpha} = 2{,}72^{0{,}2 \cdot 3{,}14} = 1{,}87,$

$m_1 = Q_c + qH = 9210 + 11{,}15 \cdot 600 = 16570$ кг.

Вредные сопротивления в одной половине ствола

$$C = \frac{k-1}{2} Q_п = \frac{1{,}2-1}{2} 7000 = 700 \text{ кг}.$$

$m_2 = Q_п + Q_c + pH = 7000 + 9210 + 11{,}15 \cdot 600 = 23570$ кг.

$A = pL = 11{,}15 \cdot 61 = 70$ кг.

Подставляя значения, получим

$$a_{1max} = \frac{1{,}87(165570 - 700) - 23570 - 700}{1{,}87(16570 + 1100 + 700) + 23570 + 700} 9{,}81 = 0{,}905 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение не должно превышать a_1 = 0,8 $a_{1\,max}$ = 0,8•0,905= = 0,72 м/с^2.

2. Допустимое замедление (м/с^2), которое будет наименьшим при спуске груза из условия нескольжения каната по шкиву трения.

$$a_{3max} = \frac{e^{t\alpha}(m_1 + c) - m_2 - c}{e^{f\alpha}(m_1 \div m'_{н.ш} + A) + m_2 + A} g, \qquad (3.79)$$

т. е. $a_{3max} = \dfrac{1{,}87(165570 + 700) - 23570 - 700}{1{,}87(16570 + 1100 + 700) + 23570 + 700} 9{,}81 = 1{,}34$ м/с^2.

Замедление не должно превышать $a_З = 0{,}8\ a_{Зmax} = 0{,}8 \cdot 1{,}34 = = 1{,}07$ м/с^2.

3. Статический коэффициент безопасности против скольжения

$$k_{\text{с.б}} = \frac{F_{\text{ст.}max}\,(e^{f\alpha} - 1)}{F_{\text{ст}max} - F_{стmin}}. \qquad (3.80)$$

Максимальное натяжение каната при расположении груженого сосуда на нижней приемной площадке (*q* = *p,* см. рис. 3.4, а)

$$F_{\text{ст}max} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{с}} + pH_{\text{к}} = 7000 + 9210 + 11{,}15 * 620 = 23150 \text{ кг}.$$

Минимальное натяжение каната при том же положении груженого сосуда

$$F_{\text{ст}\,min} = Q_{\text{с}} + pH_k = 9210 + 11{,}15 \cdot 620 = 16150 \text{ кг}.$$

Подставляя значения, получим

$$k = \frac{23150(1{,}87 - 1)}{23150 - 16150} = 2{,}86,$$

что допустимо по условию $\kappa_{с.б} > 2$.

3.46. Определить ускорение, замедление и статический коэффициент безопасности против скольжения многоканатной подъемной установки с подъемной машиной МК 3,5 х 4. Расстояние от нижней приемной площадки до оси ведущего шкива $H_К$ = 900 м; $Q_п$ = = 13600 кг; $Q_с$ = 14400 кг. Масса линейная подъемного каната p = 3,768 кг/м, уравновешивающего каната q = 7,69 кг/м, приведенная четырех отклоняющих шкивов $m'_{о\,ш}$ = 3600 кг. Коэффициент трения каната f = 0,2, угол охвата шкива канатом α = 1,1 π рад.

Решение. Так как 4 • 3,768 < 2 · 7,69, то при расчете ориентируемся на положение груженого сосуда на верхней приемной площадке.

1. Допустимое ускорение (м/с^2) из условия нескольжения шкива трения по канату

$$a_{1max} = \frac{e^{f\alpha}(m_1 - c) - m_2 - c}{e^{f\alpha}(m_1 + m'_{\text{о.ш}}) + m_2}\, g,$$

где $e^{f\alpha} = 2{,}72^{0{,}2\cdot 1{,}1\cdot 3{,}14} = 1{,}92;\ c = \dfrac{1{,}15-1}{2} = 13600 = 1040$ кг;

$m_1 = Q_c + qH_k = 14400 + 2 \cdot 7{,}69 \cdot 900 = 28240$ кг;

$m_2 = Q_{\text{п}} + Q_c + pH = 13600 + 14400 + 4 \cdot 3{,}768 = 28015$ кг.

Подставляя значения, получим

$$a_{1max} = \frac{1{,}92(28240-1040) - 28015 - 1040}{1{,}92(28240+3600) + 28015} 9{,}81 = 2{,}55 \text{ м/с}^2$$

Ускорение не должно превышать $a_1 = 0{,}8 \cdot 2{,}55 = 2{,}04$ м/с^2.

2. Допустимое замедление (м/с^2) из условия нескольжения каната по шкиву трения

$$a_{3max} = \frac{e^{f\alpha}(m_1 + c) - m_2 - c}{e^{f\alpha}(m_1 + m'_{\text{о.ш}}) + m_2}$$

$$= \frac{1{,}92(28240+1040) - 28015 - 1040}{1{,}92(28240+3600) + 28015} 9{,}81 = 2{,}99 \text{ м/с}^2$$

Замедление не должно превышать $a_3 = 0{,}8\ a_{3\,max} = 0{,}8 \cdot 2{,}99 = 2{,}39$ м/с^2.

3. Статический коэффициент безопасности против скольжения

$$k_{\text{с.б}} = \frac{F_{\text{ст}max}(e^{f\alpha} - 1)}{F_{\text{ст}max} - F_{\text{ст}min}}.$$

Максимальное натяжение каната при расположении груженого подъемного сосуда на верхней приемной площадке

$$F_{\text{ст}max} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{с}} + qH_{\text{к}} = 13600 + 14400 + 2 * 7669 * 900 = 41840\text{кг}.$$

Минимальное натяжение каната при том же положении груженого сосуда

$$F_{\text{ст}max} = Q_{\text{с}} pH_{\text{к}} = 14400 + 4 * 3{,}768 * 900 + 27965 \text{ кг}.$$

$$k_{c.\text{б}} = \frac{41840(1{,}92-1)}{41820 - 27960} = 2{,}77,$$

что допустимо по условию $\kappa_{c\,\text{б}} > 2$.

§ 5. КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА ПОДЪЕМНЫХ СИСТЕМ С БИЦИЛИНДРОКОНИЧЕСКИМИ БАРАБАНАМИ

Примеры расчета

3.47. Рассчитать кинематику и динамику клетевой подъемной установки с бицилиндроконическим барабаном машины БЦК-8/5х2,7, если: H = 900 м; $T_р$= 110 с; $Q_с$ = 8460 кг; $Q_п$ = 8500 кг; p = 8,496 кг/м; d_K = 48,5 мм. Число витков рабочей части каната на малом цилиндре $\eta_{м.ц}$ = 5. На конусе $\eta_{кс}$ = 7 и на большом цилиндре $\eta_{б.ц}$ = = 27.

Решение. 1. Кинематика. Так как установка клетевая, принимаем трехпериодную диаграмму угловой скорости.

Угол поворота барабана за одну подъемную операцию

$$Ф = (n_{м.ц}+n_{кс}+n_{б.ц})2\pi \qquad (3.81)$$

или Ф = (5 + 7 + 27) 2 · 3,14 = 244,9 радиан.

При предельных линейных ускорениях и замедлениях подъемных сосудов a_{mgx} = 0,75 м/с^2 предельно допустимое угловое ускорение ε_1 и замедление ε_3 барабана при свивке или навивке каната на большой цилиндр

$$\epsilon_1 = \epsilon_3 = \frac{a_{max}}{R_{б.ц}} = \frac{0,75}{4} = 0,1875\ c^{-2}$$

Модуль угловых ускорений

$$\epsilon_м = \frac{\epsilon_1 \epsilon_3}{\epsilon_1 + \epsilon_3} \qquad (3.82)$$

т. е. $\epsilon_м = \frac{0,1786 * 0,1875}{0,1875 + 0,1875} = 0,0938\ c^{-2}$

Максимальная угловая скорость вращения барабана

$$\omega_{max} = \epsilon_м T_р - \sqrt{\left(\epsilon_м T_р\right)^2 - 2\epsilon_м Ф}, \qquad (3.83)$$

т. е. $\omega_{max} = 0,0938 * 110 - \sqrt{(0,0938 * 110)^2 - 2 * 0,0938 * 244,9} =$

$= 2,53c^{-2}$

Если двигатель постоянного тока с $\eta_д$ =25 об/мин, непосредственно соединен с барабаном, то максимальная угловая скорость барабана

$$\omega_{max} = \frac{\pi \eta_д}{30} = \frac{3,14 * 25}{30} = 2,62c^{-2}$$

Максимальная линейная скорость подъемных сосудов

$v_{max} = \omega_{max} R_{бц} = 2{,}62 * 4 = 10{,}48$ м/с,

что и необходимо, так как при спуске — подъеме людей по ПБ v_{rmax} <12 м/с.

Продолжительность движения и угол поворота за время движения ускоренного вращения барабана

$$t_1 = \frac{\omega_{max}}{\epsilon_1} = \frac{2{,}62}{0{,}1875} = 13{,}97\ c\ ;$$

$$\Phi_1 = \frac{\omega_{max}\, t_1}{2} = 2{,}62 * \frac{13{,}97}{2} = 18{,}3 \text{ рад.}$$

То же, замедленного вращения:

$$t_3 = \frac{\omega_{max}}{\epsilon_3} = \frac{2{,}62}{0{,}1875} = 13{,}97\ c\ ;$$

$$\Phi_3 = \frac{\omega_{max}\, t_3}{2} = 2{,}62 * \frac{13{,}97}{2} = 18{,}3 \text{ рад.}$$

Угол поворота и продолжительность движения за время равномерного вращения барабана:

$$\Phi_2 = \Phi - \Phi_1 - \Phi_3 = 244{,}9 - 18{,}3 - 18{,}3 = 208{,}3 \text{ рад;}$$

$$t_3 = \frac{\Phi_2}{\omega_{max}} = \frac{208{,}3}{3{,}62} = 79{,}5\ c.$$

Продолжительность вращения барабана за время одной подъемной операции

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = 13{,}97 + 79, + 13{,}97 = 107{,}44\ c.$$

Проверка правильности расчета диаграммы угловой скорости вращения барабана:

$$T = \frac{\omega}{\omega_{max}} + \frac{\omega_{max}}{2}\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_3}\right) =$$

$$= \frac{244{,}9}{2{,}62} + \frac{2{,}62}{2}\left(\frac{1}{0{,}1875} + \frac{1}{0{,}1875}\right) = 107{,}44\ c.$$

По этим данным на рис. 3.19 построена диаграмма угловых скоростей барабана. На ней нанесены углы поворота барабана, которым соответствуют определенные площадки диаграммы за различные периоды движения.

Так как для навивки каната на малый цилиндр необходимо, чтобы барабан повернулся на $\Phi_{м.ц} = \eta_{м.ц}\ 2\pi = 5 \bullet 2 \bullet 3{,}14 = 31{,}4$ рад, а за время ускоренного вращения барабан повернется только на $\Phi_1 = 18{,}3$ рад, то навивка поднимающейся ветви на малый цилиндр будет происходить и после начала вращения барабана с ω_{max} в течение

$$t_{м.ц.р} = \frac{\Phi_{м.ц} - \Phi_1}{\omega_{max}} = \frac{31{,}4 - 18{,}3}{2{,}62} = 5\ c.$$

Продолжительности навивки каната поднимающейся ветви:

на малый цилиндр

$$t_{м.ц} = t_1 + t_{м.ц.р} = 13{,}97 + 5 = 18{,}97\ c;$$

на конус

$$t_{кс} = \frac{\Phi_{кс}}{\omega_{max}} = \frac{43{,}96}{2{,}92} = 17{,}78\ c$$

(причем $\Phi_{кс} = \eta_{кс} * 2\pi = 7 * 2 * 3{,}14 = 43{,}96$ рад)

На большой цилиндр

$$t_{б.ц} = T - t_{м.ц} - t_{кс} = 107{,}44 - 18{,}97 - 16{,}78 = 71{,}69\ c.$$

По расчетным и заданным значениям строится диаграмма изменения радиуса навивки для поднимающейся ветви каната (см. рис. 3.19) и аналогично — диаграмма изменения радиуса навивки для опускающейся ветви каната.

Линейная скорость движения подъемного сосуда $v = \omega R$, поэтому ее диаграмма для поднимающейся и опускающейся ветви получается

*При желании этого можно избежать. Если $\Phi_1 = \Phi_{м.ц}$, то окончание навивки каната на малый цилиндр совпадает с моментом окончания ускоренного вращения барабана.

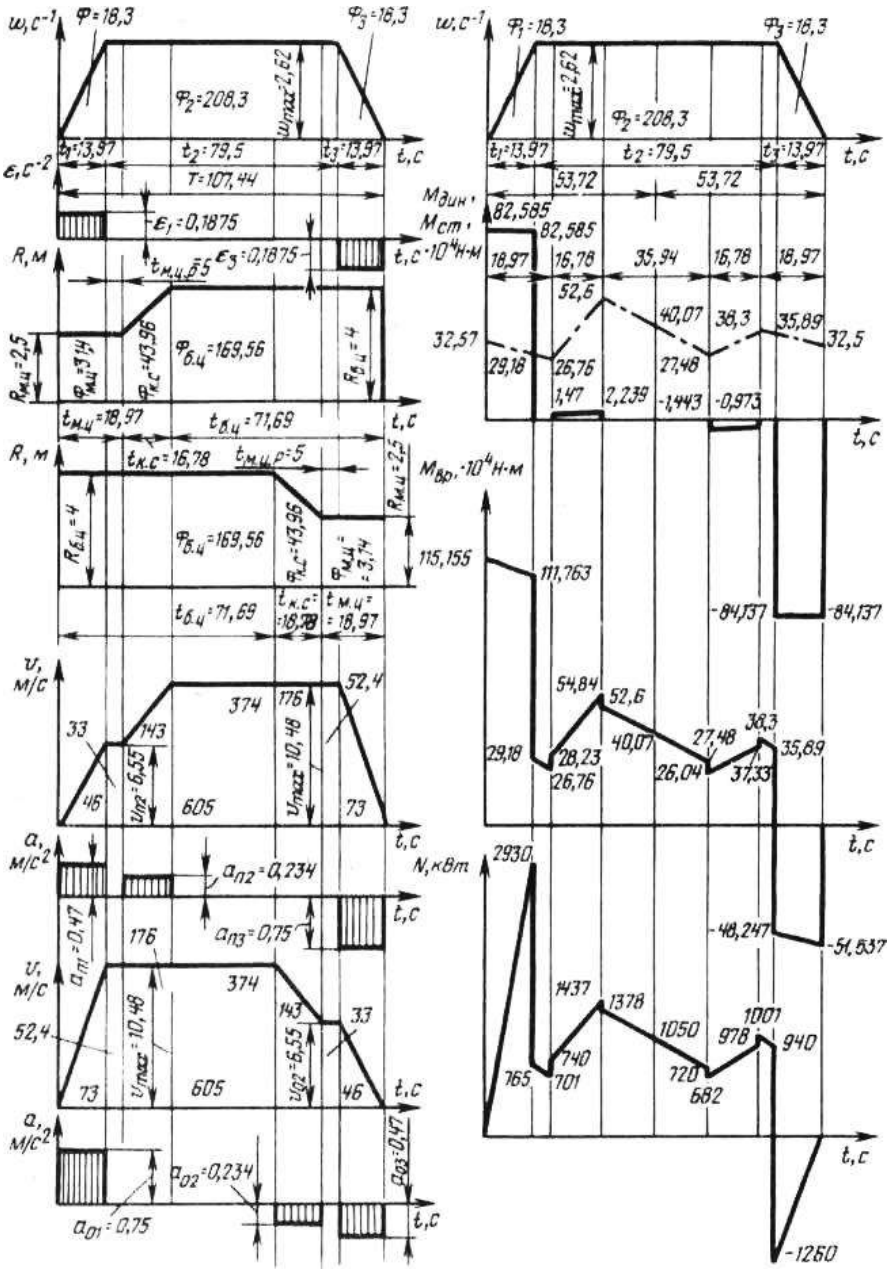


Рис. 3.19. Диаграммы к расчету подъемной системы с бицилиндроконическим барабаном (к примеру 3.47)

на основании диаграмм угловой скорости и изменения радиуса навивки путем перемножения ординат этих диаграмм.

Максимальная скорость клети

$$v_{max} = \omega_{max} R_{б.ц} = 2{,}62 * 4 = 10{,}48 \text{ м/с}.$$

Скорость в конце навивки каната на малый цилиндр (и в начале свивки каната с малого цилиндра)

$$v_{п2} = v_{о2} = \omega_{max} R_{м.ц} = 2{,}62 * 2{,}5 = 6{,}55 \text{ м/с}^2;$$

Линейные ускорения поднимающейся и опускающейся клетей при вращении барабана с $\varepsilon_1 = 0{,}1875$ с$^{-2}$:

$$a_{п2} = \epsilon_1 R_{м.ц} = 0{,}1875 * 2{,}5 = 0{,}47 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{о2} = \epsilon_1 R_{б.ц} = 0{,}1875 * 4 = 0{,}75 \text{ м/с}^2.$$

То же, поднимающейся при вращении барабана с $\omega_{max} = 2{,}62^{-1}$ и при навивке каната на конус

$$a_{п2} = \frac{\omega_{max}}{t_{кс}} \left(R_{б.ц} - R_{м.ц}\right) = \frac{2{,}62}{16{,}78} (4 - 2{,}5) = 0{,}234 \text{ м/с}^2$$

Линейные замедления поднимающейся и опускающейся клетей при вращении барабана с $\varepsilon_3 = -0{,}1875$ с$^{-2}$:

$$a_{п3} = \epsilon_3 R_{б.ц} = -0{,}1875 * 4 = -0{,}75 \text{ м/с}^2$$

$$a_{о3} = \epsilon_3 R_{м.ц} = -0{,}1875 * 2{,}5 = -0{,}47 \text{ м/с}^2$$

То же, опускающейся клети при вращении барабана с $\omega_{max} = = 2{,}62$ с$^{-1}$ и при свивке каната с конуса

$$a_{о2} = \frac{\omega_{max}}{t_{кс}} \left(R_{м.ц} - R_{б.ц}\right) = \frac{2{,}62}{16{,}78} (2{,}5 - 4) = -0{,}234 \text{ м/с}^2$$

Длина пути определяется как численное значение соответствующей площадки диаграммы линейных скоростей (см. рис. 3.19).

Длины путей поднимающейся клети за время вращения барабана с ε_1 и при вращении барабана с ω_{max} до окончания навивки каната на малый цилиндр:

$$h_{п1} = \frac{v_{п2} t_1}{2} = \frac{6{,}55 * 13{,}97}{2} = 46 \text{ м};$$

$h_{п2} = v_{п2} t_{м.ц.р} = 6{,}55 * 5 = 33$ м.

Следовательно, путь за время навивки каната на малый цилиндр

$h_{м.ц} = h_{п1} + h_{п2} = 46 + 33 = 79$ м.

Путь за время навивки каната на конус

$$h_{кс} = \frac{v_{п2} + v_{vax}}{2} t_{кс} = \frac{6{,}55 + 10{,}48}{2} 16{,}78 = 143 \text{ м}.$$

Путь за время вращения барабана с ω_{max} и $\varepsilon_з$:

$h_{п3} = v_{max} \left(T - t_{м.ц} - t_{кс} - t_з\right) = 10{,}48(107{,}44 - 18{,}97 -$

$-16{,}78 - 13{,}97) = 605$ м;

$$h_{п4} = \frac{v_{max}\, t_з}{2} = \frac{10{,}48 * 13{,}97}{2} = 73 \text{ м}.$$

Следовательно, путь за время навивки каната на большой цилиндр

$h_{б.ц} = h_{п3} + h_{п4} = 605 + 73 = 678$ м.

Полный путь подъема

$H = h_{м.ц} + h_{кс} + h_{б.ц} = 79 + 143 + 678 = 900$ м.

Опускающаяся клеть (аналогично поднимающейся) за время вращения барабана с ε_1 проходит путь $h_{о1}$ = 73 м со скоростью v_{max} $h_{о2}$ = 605 м. Следовательно, путь за время свивки каната с большого цилиндра $h_{б\,ц}$ = 678 м.

Путь за время свивки каната с конуса $h_{\ кс}$ = 143 м.

При свивке каната с малого цилиндра до начала вращения барабана с $\varepsilon_з$ путь $h_{о3}$ = 33 м, при вращении барабана с $\varepsilon_з$ $h_{о4}$ = 46 м. Следовательно, путь за время свивки каната с малого цилиндра $h_{м\,ц}$ = 79 м.

Полный путь подъема H = 900 м.

Подученные значения, совпадающие с заданными, нанесены на диаграммы линейных скоростей (см. рис. 3.19). Пути, пройденные поднимающейся и опускающейся клетями к моменту их встречи, определяют исходя из того, что встреча клетей произойдет в момент поворота барабана на половину полного угла, т.е. через Т/2 = 107,44/2 = 53,72 с после начала подъема.

На основании этого получаем (см. рис. 3.19) путь поднимающейся и опускающейся клетей к моменту встречи:

$$h_{\text{п.в}} = h_{\text{м.ц}} + h_{\text{кс}} + v_{vax}\left(\frac{T}{2} - t_{\text{м.ц}} - t_{\text{кс}}\right) =$$

$$= 79 + 143 + 10{,}48\left(\frac{107{,}55}{2} - 18{,}97 - 16{,}78\right) - 410{,}5 \text{ м};$$

Рис. 3.20. Схема к динамическому уравнению подъемной системы с органами навивки переменного радиуса

$$h_{\text{о.в}} = h_{o1} + v_{max}\left(\frac{T}{2} - t_1\right) = 73 + 10{,}48\left(\frac{107{,}44}{2} - 13{,}97\right) = 487{,}5 \text{ м}.$$

2. Динамика. Основное динамическое уравнение подъемной установки с бицилиндроконическим барабаном (рис. 3.20)

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{д.вр}} + M_{\text{д.п}} + M_{\text{д.о}} \qquad (3.84)$$

В этом выражении для удобства расчетов динамический момент представлен суммой динамического момента вращающихся частей $M_{вр}$, который зависит от углового ускорения ε_1 и замедления ε_3, и динамических моментов поступательно движущихся частей, поднимающейся $M_{\text{д.п}}$ и опускающейся $M_{\text{д.о}}$ ветвей, зависящих т линейных ускорении и замедления a каждой из ветвей каната.

Статический момент подъемной системы — разность статических моментов поднимающейся и опускающейся ветвей каната:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{ст.п}} - M_{\text{ст.о}} = [Q_{\text{п}} + Q_{\text{с}} + \frac{k-1}{2}Q_{\text{п}} + (H - 2h_{\text{хп}})p] \cdot$$

$$\cdot gR_{\text{п}} - \left(Q_{\text{с}} - \frac{k-1}{2}Q_{\text{п}} + h_{\text{хо}}p\right)gR_{\text{о}} =$$

$$= \left[8500 + 8460 + \frac{1{,}2-1}{2}8500 - (900 - h_{\text{хп}})8{,}496\right]9{,}81 \cdot$$

$$\cdot R_{\text{п}} - 8460 - \frac{1{,}2-1}{2}8500 + h_{\text{хо}}8{,}496)9{,}81R_{\text{о}},$$

Таблица 3.1

Характерные точки на диаграмме линейной скорости	Время от начала подъема, с	$h_{х.п}$, м	$R_п$, м	$H_{хо}$, м	$R_о$, м	$M_{ст}$, Н·м
Начало подъема	0	0	2,5	0	4	325700
Конец ускоренного вращения	13,97	46	2,5	73	4	291800
Начало навивки на конус	18,97	79	2,5	125	4	267600
Момент встречи клетей	35,75	222	4	301	4	526000
Начало свивки с конуса	53,72	410,5	4	489,5	4	400700
Конец свивки с конуса	71,69	599	4	678	4	274800
Начало замедленного вращения	88,47	775	4	821	2,5	383900
Конец подъема	93,47	827	4	854	2,5	325000

Примечания.1. Числовые значения длин путей $h_{хп}$ и $h_{хо}$, пройденных поднимающейся и опускающейся клетями, берутся как числовые значения соответствующих площадок из диаграммы линейных скоростей поднимающейся и опускающейся клетей.

2. Радиусы навивки $R_п$ и $R_о$ соответственно поднимающейся и опускающейся ветвей взяты из диаграммы изменения радиусов (рис. 3.19).

3. При встрече клетей барабан поворачивается на половину полного угла поворота, оба отвеса каната в стволе равны и навивка ветвей происходит на один и тот же радиус (в данном примере — на большой). Здесь $M_{ст}=kQ_пgR_{б.ц}$ = 1,2 • 8500 • 9,81 • 4 =400700 Н . м.

после упрощения имеем

$$M_{\text{ст}} = (249730 - 83{,}3h_{\text{х.п}})R_{\text{п}} - (74650 + 83{,}3h_{\text{хо}})R_{\text{о}}.$$

Подставляя в последнее выражение значения $h_{\text{хп}}, h_{\text{хо}}$, $R_{\text{п}}$ и $R_{\text{о}}$, соответствующие характерным точкам диаграммы линейных скоростей, находим $M_{\text{ст}}$ Результаты расчетов сведены в табл. 3.1.

Динамический момент (Н • м) вращающихся частей подъемной системы

$$M_{\text{д.вр}} = \left(I_{\text{п.к}} + I_{\text{о.к}} + I_{\text{н}} + I_{\text{п}} + I_{\text{р}}\right)\epsilon \qquad (3.86)$$

Здесь динамические моменты инерции, поднимающейся $I_{\text{п.к}}$ и опускающейся $I_{\text{о.к}}$ ветвей каната определяются в любой момент времени с учетом моментов инерции витков, уложившихся на цилиндре $I_{\text{ц}}$ и конусе $I_{\text{кс}}$:

$$I_{\text{ц}} = ph_{\text{ц}}R^2; \qquad (3.87)$$

$$I_{\text{кс}} = ph_{\text{кс}}\frac{R_{\text{н}}^2 - R_{\text{к}}^2}{2}. \qquad (3.88)$$

Динамический момент инерции машины принимаем

$I_{\text{н}} = 3700000\ \text{кг/м}^2$

Ориентировочная мощность двигателя по формуле (3.77)

$$N_{\text{ор}} = \frac{kQ_{\text{п}}H_g}{1000T\eta_{\text{п}}}p = \frac{1{,}2 * 8500 * 900 * 9{,}81}{1000 * 107{,}44 * 1}1{,}6 = 1340\ \text{кВт}.$$

Принимаем двигатель постоянного тока П26-65-4К мощностью N = 1480 кВт с n = 25 об/мин и динамическим моментом инерции $I_{\text{р}}$ = 270000 кг • м^2.

Подъёмная машина безредукторная, поэтому динамический момент инерции передачи $I_{\text{п}}$ = 0.

Таким образом, для данного примера по формуле (3.86)

$$M_{\text{д.вр}} = (I_{\text{п.к}} + I_{\text{о.к}} + 3700000 + 270000)0{,}1875 =$$

$$= I_{\text{п.к}} + I_{\text{о.к}} + 3970000)0{,}1875.$$

Динамический момент (Н • м) поднимающейся ветви каната

$$M_{\text{д.п}} = [Q_{\text{п}} + Q_{\text{с}} + p(H - h_{\text{хп}}) + m'_{\text{н.ш}}]a_{\text{п}}R_{\text{п}}, \qquad (3.89)$$

где m'$_{\text{н.ш}}$ — приведенная масса направляющего шкива, кг.

$$M_{\text{д.п}} = [8500 + 8460 + 8{,}497(900 - h_{\text{хп}}) + 1200]a_{\text{п}}R_{\text{п}} =$$

$= (25800 - 8{,}496h_{\text{х.п}})a_{\text{п}}R_{\text{п}}$

То же, опускающейся ветви каната

$$M_{\text{д.о}} = (Q_{\text{с}} + ph_{\text{хо}} + m'_{\text{н.ш}})a_{\text{о}}R_{\text{о}} \qquad (3.90)$$

т. е. $M_{\text{д.о}} = (8460 + 8{,}496h_{\text{хо}} + 1200)a_{\text{о}}R_{\text{о}} =$

$= (9660 + 8{,}496h_{\text{хо}})a_{\text{о}}R_{\text{о}}$.

С помощью этих выражений определены значения $M_{\text{д.вр}}$, а также $M_{д.п}$, $M_{\text{д .о}}$ в характерных точках диаграммы линейной скорости. Результаты расчетов сведены в табл. 3.2.

По данным последних граф табл. 3.2 (см. рис. 3.19) построена диаграмма динамического момента (сплошная линия).

Таблица 3.2

Характерные точки на диаграмме линеной скорости	Время от начала подъема, с	$I_{\text{п.к}}$, кг/м^2	$I_{\text{о.к}}$, кг/м^2	$M_{\text{д.вр}}$, Н·м	$H_{\text{х п}}$, м	$R_{\text{п}}$, м
Начало подъема	0	4195	114070	766550	0	2,5
Конец ускоренного вращения	13,97	6638	104147	765150	46	2,5
Начало навивки на конус	18,97	-	-	-	79	2,5
Конец навивки на конус	35,75	-	-	-	222	4
Момент встречи клетей	53,72	Динамические моменты равны нулю, так				
Начало свивки с конуса	71,69	-	-	-	599	4
Конец	88,47	-	-	-	77	4

свивки с конуса					5	
Начало замед-ленного враще-ния	93,47	104147	6638	-765150	821	4
Конец подъема	107,44	114070	4195	-766550	900	4

Примечания 1. $I_{п.к}$ и $I_{о.к}$ поднимающейся и опускающейся ветвей определены помимо рабочей ветви каната, дополнительно находилось 79 м каната.

2. Значения $b_{хп}$ и $h_{хо}$, $R_п$ и $R_о$ см. в табл. 3.1.

Суммируя ординаты диаграмм статического и динамического моментов, получаем диаграмму изменения вращающего момента $M_{вр}$ подъемного двигателя относительно оси вращения барабана. Значения $M_{вр} = M_{ст} + М_{дин}$ приведены в табл. 3.3.

На основании диаграмм угловой скорости и вращающего момента находят значения мощности (кВт) на валу двигателя в характерных точках диаграмм линейной скорости:

$$N_х = \frac{M_{врх}\omega_х}{1000\eta_п} \qquad (3.91)$$

Полученные значения даны в табл. 3.3, диаграмма мощности — на рис. 3.19.

3.48. Определить ускорение $a_п$ поднимающейся и замедление $a_о$ опускающейся клетей при навивке каната на конус бицилиндроконического барабана и свивке с конуса во время вращения барабана с максимальной угловой скоростью $\omega_{max} = 3{,}6$ с$^{-1}$, если продолжительность навивки $t_{кс} = 20$ с, а радиусы малого и большого цилиндров барабана соответственно $R_{м.ц} = 2{,}5$м и $R_{б.ц} = 4$м.

$a_п$, м/с^2	$M_{д.п}$, Н·м	$H_{хо}$, м	$R_о$, м	$A_о$, м/с^2	$M_{д.о}$, Н·м	$M_{дин}$, Н·м
0,47	30320	0	4	0,75	28980	825850
0,47	29860	73	4	0,75	30840	825850
0,234	14700	125	4	0	0	14700
0,234	22390	301	4	0	0	22390
Как ω = const и R = const						
0	0	678	4	-0,234	-14430	-14430
0	0	821	2,5	-0,234	-9730	-9730
-0,75	-56340	854	2,5	-0,47	-19880	-841370
-0,75	-56380	900	2,5	-0,47	-20340	-841370

по формулам (3.87) и (3.88) при предположении, что на каждом малом цилинд смотренного для образования витков трения.

3. $э_п$ и a_o ускорения поднимающейся и опускающейся клетей см. по.

Решение. Ускорение поднимающейся и замедление опускающейся клетей при навивке (свивке) каната на конус (с конуса) во время вращения барабана с ω_{max} барабана.

$$a_п = \frac{\omega_{max}}{t_{кс}}\left(R_{б.ц} - R_{м.ц}\right) = \frac{3{,}6}{20}(4 - 2{,}5) = 0{,}27 \text{ м/с}^2;$$

$$a_о = \frac{\omega_{max}}{t_{кс}}\left(R_{м.ц} - R_{б.ц}\right) = \frac{3{,}6}{20}(2{,}5 - 4) = -0{,}27 \text{ м/с}^2$$

3.49. Определить путь $h_{к.с}$, пройденный подъемным сосудом за время навивки каната на конус при вращении бицилиндроконического барабана с $\omega_{max} = 4$ с$^{-1}$ если радиусы малого цилиндра барабана и большого соответственно $R_{м\,ц} = 2{,}5$ м и $R_{б.ц} = 4{,}5$ м, а время навивки каната на конус $t_{кс} = 20$ с.

Решение. Путь (м), пройденный сосудом за время навивки каната,

$$h_{кс} = \frac{v_{п2} + v_m}{2} t_{кс}.$$

Таблица 3.3

Характерные точки на диаграмме линеной скорости	Время от начала подъема, с	$M_{ст}$, Н·м	$M_{дин}$, Н·м	$M_{вр}$, Н·м	ω, $с^{-1}$	N, кВт
Начало подъема	0	325700	825850	1151550	0	0
Конец ускоренного вращения	13,97	291800	825850	1117650	2,62	2930
Начало навивки на конус	18,97	267600	14700	282300	2,62	740
Конец навивки на конус	35,75	526000	22390	548400	2,62	1437
Момент встречи клетей	53,72	400700	0	400700	2,62	1050
Начало свивки с конуса	71,69	274800	-14430	260400	2,62	682
Конец свивки с конуса	88,47	383000	-8730	373300	2,62	978
Начало замедленного вращения	93,47	358900	-841370	-482270		-2,62
Конец подъема	107,44	325000	-841370	-510370	0	0

Учитывая, что $v_{п2} = \omega_{max} R_{м.ц}, v_{max} = \omega_{max} R_{б.ц}$,

Получим

$$h_{кс} = \frac{\omega_{max}\,(R_{м.ц} + R_{б.ц})}{2} t_{кс} = \frac{4(2{,}5 + 4{,}5)}{2} = 240 \text{ м.}$$

3.50. Определить максимальную скорость v_{max} клетей при системе с бицилиндроконическим барабаном, если на барабане при положении клети у верхней приемной площадки находится $n_в$ = 40 витков рабочего каната. Диаметр большого цилиндра барабана $R_{б\,ц}$ = 9 м, ускорение опускающейся клети a_1 = 0,75 м/с^2. замедление поднимающейся a_3 = 0,75 м/с^2. Продолжительность движения клетей T = 95 с.

Решение. Так как $a_1 = a_3 = 0{,}75$ м/с^2, то угловое ускорение и замедление барабана

$$\epsilon_1 = \epsilon_3 = a_1/R_{б.ц} = a_3/R_{м.ц} = 0{,}75/4{,}5 = 0{,}167\ c^{-2};$$

Модуль угловых ускорений по формуле (3.82)

$$\epsilon_м = \frac{0{,}167 * 0{,}167}{0{,}167 + 0{,}167} = 0{,}0835\ c^{-2}.$$

Угол поворота барабана за время одной подъемной операции

$$Ф = n_в 2\pi = 40 * 2 * 3 * 3{,}14 = 251{,}2 \text{ рад.}$$

Максимальная угловая скорость барабана

$$\omega_{max} = \epsilon_м T\sqrt{(\epsilon_м T)^2 - 2\epsilon_м Ф} =$$

$$= 0{,}0835 * 95 - \sqrt{(0{,}0835 * 95)^2 - 2 * 0{,}0835 * 251{,}2} = 3{,}35c^{-1}.$$

Максимальная скорость клети

$$v_{max} = \omega_{max} R_{б.ц} = 3{,}35 * 4{,}5 = 15{,}08 \text{ м/с}$$

3.51. Определить путь $h_{п1}$ поднимающейся и $h_{о1}$ опускающейся клетей за время вращения бицилиндроконического барабана с ускорением ε_1 = 0,208 с$^{-2}$ при навивке каната на малый цилиндр радиусом $R_{м.ц}$ = 2,5 м и свивке с большого цилиндра барабана радиусом $R_{б.\,ц}$ = = 4 м. Максимальная угловая скорость барабана ω_{max} = 2,43 с$^{-1}$.

Решение. Продолжительность ускоренного вращения барабана

$$t_1 = \omega_{max}/\epsilon_1 = 2{,}43/0{,}208 = 11{,}68 \text{ с.}$$

Путь поднимающейся и опускающейся клетей за время ускоренного вращения барабана:

$$h_{п1} = \frac{\omega_{max} R_{м.ц} t_1}{2} = \frac{2{,}43 * 2{,}5 * 11{,}68}{2} = 35{,}48 \text{ м;}$$

$$h_{o1} = \frac{\omega_{max} R_{б.ц} t_1}{2} = \frac{2{,}43 * 4 * 11{,}68}{2} = 66{,}77 \text{ м};$$

§ 6. МОЩНОСТЬ ПОДЪЕМНОГО ДВИГАТЕЛЯ,

РАСХОД ЭНЕРГИИ, К.П.Д УСТАНОВКИ И МАШИНЫ

Примеры расчета

3.52.По данным рис. 3.21 определить мощность подъемного двигателя, расход энергии и к.п.д. клетевой установки и подъемной машины. Известно также, что $v_{max} = 10$ м/с, $H = 730$ м, $t_п = 50$ с, $Q_п = 5000$ кг, собственная масса клети без массы вагонеток $Q_с = 4700$ кг, к.п.д. передачи $\eta_п$=0,94.

Решение. Эквивалентное движущее усилие (Н) — абстрактное усилие, постоянное по значению, действующее беспрерывно (включая и паузу между движениями) и вызывающее такой же нагрев двигателей,

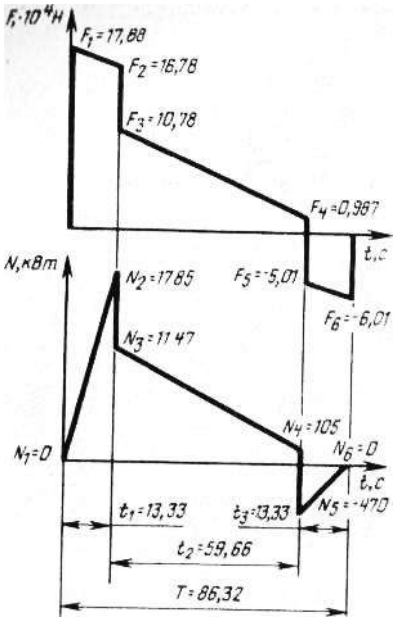


Рис. 3.21. Диаграммы к расчету клетевой установки и подъемной машины (к примеру 3.52)

как и фактические движущие усилия, определяется по формуле

$$F_{экв} = \sqrt{\frac{\sum F^2 t}{T_п'}}, \qquad (3.92)$$

где $T_п' < T_п$ знаменатель подкоренного выражения, учитывающий ухудшение охлаждения двигателя во время ускоренного $t_{у.д}$ и замедленного $t_{з.д}$ движений и паузы $t_п$ между движениями

$$T_п = k_{у.д}\left(t_{у.д} + t_{з.д}\right) + t_2 + k_п + t_п. \qquad (3.93)$$

По данным акад. М.М. Федорова, $k_{\text{у д}} = 1$; $\kappa_п = 0{,}33$; по данным Харьковского ордена Ленина электромеханического завода (ХЭМЗ), $k_{\text{у.д}} = 0.5$; $\kappa_п = 0{,}25$.

На основании формулы (3.92) применительно к рис. 3.21

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(F_1^2 + F_1F_2 + F_2^2)\frac{t_1}{3} + (F_3^2 + F_3F_4 + F_4^2)\frac{t_2}{3}(F_5^2 + F_5F_6 + F_6^2)\frac{t_3}{3}}{T_{\text{п}}'}}$$

Отрицательные движущие усилия при механическом торможении в подкоренную часть выражения (3.94) не вносятся, так как они не способствуют нагреванию двигателя. При динамическом торможении, которое по ПБ обязательно для людских и грузолюдских установок, отрицательные усилия должны быть вынесены в подкоренную часть выражения (3.94):

$$F_{\text{экв}} = 10^4\sqrt{\frac{(17{,}18^2 + 17{,}88 \cdot 16{,}78^2)\frac{13{,}33}{3} + (10{,}78^2 +}{86{,}32 + 0{,}33 \cdot 50}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+10{,}78 \cdot 0{,}987 + 0{,}987^2)\frac{59{,}66}{3} + (5{,}01^2 + 5{,}01 \cdot 6{,}01 +}{} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{6{,}01^2)\frac{13{,}33}{3}}{} = 8{,}22 \cdot 10^4\text{Н}.$$

При малой разнице между F_1 и F_2 и сравнительно малом значении t_1 вместо $(F^2{}_1 + F_1F_2 + F^2{}_2)\, t_1/3$ можно принимать $(F^2{}_1 + F^2{}_2)\, t_1/2$.

Коэффициент перегруза двигателя при подъеме

Поэтому

$$F_{\text{экв}} = F_{max}\,/F_{\text{под}} = 17{,}88 \cdot 10^4/1{,}8 = 9{,}93 \cdot 10^4\text{Н}$$

$$k_{\text{под}} = F_{max}\,/F_{\text{экв}}, \qquad (3.95)$$

т. е. $k_{\text{под}} = \dfrac{17{,}88 \cdot 10^4}{8{,}22 \cdot 10^4} = 2{,}16,$

что недопустимо, так как при асинхронном двигателе $k_{\text{под}} < 1{,}8$, при двигателе постоянного тока $k_{\text{под}} < 2$.

Коэффициент перегруза от экстренных усилий (при маневрах)

$$k_{\text{экс}} = F_{\text{экс}\,max}\,/F_{\text{экс}}. \qquad (3.96)$$

При асинхронных двигателях $k_{\text{экс}}$ <2, при двигателе постоянного тока $k_{\text{экс}}$<2,2.

Значение $F_{\text{экс max}}$ зависит от оборудования приемных площадок кулаками или качающимися площадками.

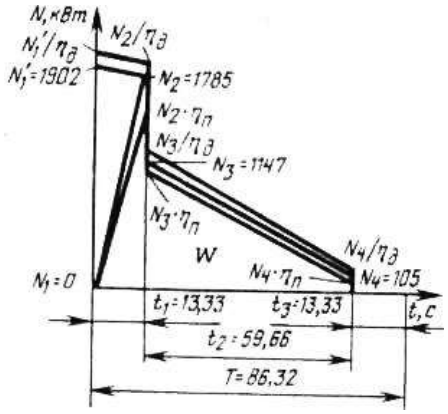
При подъеме верхней груженой клети, когда нижняя стоит на кулаках,

$$F_{\text{экс}} = \left(Q_{\text{с}} + \left(1 + \frac{k-1}{2}\right) Q_{\text{т}} + (q-p)H\right) g. \qquad (3.97)$$

При удлинении каната, когда нижняя клеть с порожними вагонетками поднимается, а верхняя стоит на кулаках.

$$F''_{\text{экс}} = \left(Q_{\text{с}} + \frac{k-1}{2} Q_{\text{т}} + pH\right) g. \qquad (3.98)$$

Рис. 3.22. Диаграмма расхода энергии (к примеру 3.52)



При отсутствии или наличии кулаков только на верхней приемной площадке, а внизу качающейся площадки и при подъеме нижней клети массой Q' без вагонеток (при регулировке канатов)

$$F_{\text{экс}} = \left(Q'_{\text{с}} + \frac{k-1}{2} Q_{\text{п}} + pH\right) g \qquad (3.99)$$

Для данного примера принимаем установку качающихся площадок, тогда

$$F_{\text{экс}} = \left(4700 + \frac{1{,}2-1}{2} 5000 + 8{,}37 \cdot 730\right) 9{,}81 = 11{,}1 \cdot 10^4 \text{Н};$$

$$k_{\text{экс}} = F_{\text{экс}}/F_{\text{экв}} = 11{,}1 \cdot 10^4/9{,}93 \cdot 10^4 = 1{,}12,$$

что для асинхронного двигателя допустимо.

Мощность подъемного двигателя

$$N = \frac{9{,}93 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000\eta_{\text{п}}}, \qquad (3.100)$$

т. е. $N = \frac{9{,}93 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94}$ 1056кВт.

Учитывая тяжелые условия работы подъемного двигателя, мощность его выбирают по каталогу на 10—15 % больше расчетной.

Диаграмма расхода энергии для данного примера показана на рис. 3.22.

Мощность, затрачиваемая в реостате асинхронного двигателя, в начале подъема

$$N_1 = \frac{F_1 v_{max}}{1000\eta_{\text{п}}}, \qquad (3.101)$$

т. е. $N_1 = \frac{17{,}88 \cdot 10^4 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 1902$кВт.

То же, в конце подъема при положительном значении F_6.

$$N_6 = \frac{F_6 v_{max}}{1000\eta_{\text{п}}}. \qquad (3.102)$$

Расход энергии (кВт • ч) за одну подъемную операцию при положительных усилиях во время замедленного движения

$$W = \frac{N_1 + N_2}{2} t_1 + \frac{N_3 N_4}{2} t_2 + \frac{N_5 N_6}{2} t_3 . \qquad (3.103)$$

При отрицательных усилиях и механическом торможении расход энергии двигателем во время замедленного движения равен нулю, а при динамическом торможении

$$W_{\text{д.т}} = N_5 t_3 / 2. \qquad (3.104)$$

Расход энергии при торможении и выполнении маневров ниже учитывается коэффициентом $k_{\text{м.т}} = 1{,}03 \div 1{,}05$.

Расход энергии без потерь в двигателе

$$W = \frac{1902 + 1785}{2} 13{,}33 + \frac{1147 + 105}{2} 59{,}66 = 51920\text{кВт} \cdot \text{ч}.$$

При двигателе постоянного тока в связи с отсутствием потерь в реостате расход энергии находят по площади диаграммы мощности на валу барабана и с учетом к.п.д. подъемного двигателя ($\eta_{\text{д}} \approx 0{,}9$), двигателя преобразователь-

ной группы ($\eta_{д.п} \approx 0{,}9$), возбуждения ($\eta_в \approx 0{,}97$), электрической сети ($\eta_с \approx$ $\approx 0{,}95$).

Для определения потерь в передаче определяют мощность на валу барабана: для конца ускоренного движения N_2 $\eta_п$, для начала равномерного движения N_3 $\eta_п$ и т.д.

Для расчета потерь в двигателе находят потребляемую мощность на его зажимах: во время ускоренного движения $\frac{N_1}{\eta_д}$ и $\frac{N_1}{\eta_д}$ для начала равномерного движения $\frac{N_3}{\eta_д}$ и т.д.

Следовательно, во время ускоренного движения: пл. $N_1 - N'_1 - N_2 - N_1$ - потери в реостате; пл. $N_1 - N'_1 - N_2\eta - N_1$ - потери в передаче; пл. $N'_1 - N'/\eta_д - N^2/\ \eta_д - N_2 - N'_1$ - потери в двигателе; во время равномерного движения в зубчатой передаче — пл. $N_3 - N_4 - N_4\eta_п - N_3\eta_п - N_3$, в двигателе — пл. $N_3 - N_3/\eta_д - N_4/\eta_д - N_4 - N_3$.

Расход энергии (кВт • ч/т) подъемной установкой на шинах электроподстанции на подъем полезной массы в 1 т

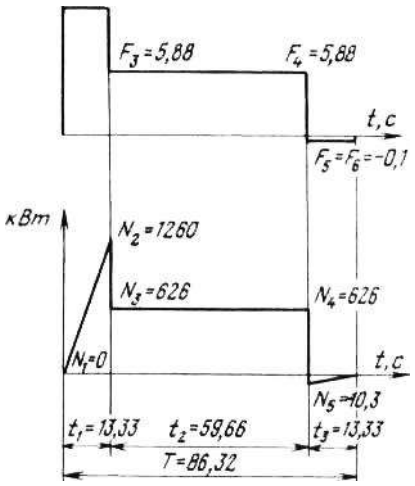


Рис. 3.23. Диаграмма к расчету клетевой установки и подъемной системы (к примеру 3.53)

$$W = \frac{k_{м.т}1000W}{360\eta_д\eta_с Q_п} = \frac{k_{м.т}W}{3{,}6\eta_д\eta_с Q_п}. \qquad (3.105)$$

Принимаем коэффициент, учитывающий расход энергии на маневры и торможение, $k_{м.т}$ = 1,03, к.п.д. двигателя $\eta_д$ = 0,92, к.п.д. электросети $\eta_с$ =

=0,95.

$$W_{\text{т}} = \frac{1{,}03 \cdot 61920}{3{,}6 \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}95 \cdot 5000} = 4{,}05\text{кВт} \cdot \text{ч/т}.$$

К.п.д. подъемной установки без учета потерь в электросети

$$\eta_{\text{у}} = \frac{0{,}00272H}{W\eta_{\text{с}}}, \qquad (3.106)$$

т. е. $\eta_{\text{у}} = \frac{0{,}00272 \cdot 730}{4{,}05 \cdot 0{,}95} = 0{,}506.$

К.п.д. подъемной машины

$$\eta_{\text{маш}} = k\eta_{\text{у}}, \qquad (3.107)$$

т.е. $\eta_{\text{маш}} = 1{,}2 \cdot 0{,}516 = 0{,}62.$

3.53. По данным рис. 3.23 определить мощность подъемного двигателя, расход энергии и к.п.д. клетевой установки и подъемной машины, если $v_{\max}$ = 10 м/с, H = 730 м, $t_{\text{п}}$ = 50 с, полезная масса клети $Q_{\text{п}}$ = 5000 кг, собственная масса клети и вагонеток $Q_{\text{с}}$ = 5720 кг, p = 8,37 кг/м. $\eta_{\text{п}}$ = 0,94.

Решение. Эквивалентное движущее усилие по формуле (3.92)

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{F_1^2 t_1 + F_3^2 t_2 + F_5^2 t_3}{T + 0{,}33t_{\text{п}}}} =$$

$$= 10^4 \sqrt{\frac{11{,}88^2 \cdot 13{,}33 + 5{,}88^2 \cdot 59{,}66 + 0{,}1^2 \cdot 13{,}33}{86{,}32 + 0{,}33 \cdot 50}} = 6{,}1910^4 H.$$

Коэффициент перегруза двигателя при подъеме

$$k_{\text{под}} = \frac{F_{max}}{F_{\text{экв}}} = \frac{11{,}88 \cdot 10^4}{6{,}19 \cdot 10^4} = 1{,}92,$$

что недопустимо, поэтому

$$F_{\text{экв}} = F_{max}/F_{\text{под}} = 11{,}88 \cdot 10^4/1{,}8 = 6{,}6 \cdot 10^4 H.$$

Экстренное усилие (маневры) при кулаках по формулам (3.97) и (3.98).

$$F'_{\text{экс}} = \left(Q_{\text{экс}}\left(1 + \frac{k-1}{2}\right)Q_{\text{п}} + (q-p)H\right)g =$$

$$= \left(5720 + \left(1 + \frac{1{,}2-1}{2}\right)5000\right)9{,}81 = 11 \cdot 10^4 H;$$

$$F''_{\text{экс}} = \left(Q_{\text{с}} + \frac{k-1}{2} Q_{\text{п}} + pH\right) g = \left(5720 + \frac{1{,}2}{2} 5000 + 8{,}37 \cdot 730\right) 9{,}81 =$$

$$= 12{,}1 \cdot 10^4 H.$$

Коэффициент перегруза от экстренного усилия

$$k_{\text{экс}} = \frac{1{,}21 \cdot 10^4}{6{,}6 \cdot 10^4} = 1{,}83,$$

что для асинхронного двигателя допустимо.

Мощность подъемного двигателя по формуле (3.100)

$$N = \frac{F_{\text{экв}} v_{max}}{1000 \eta_{\text{п}}} = \frac{6{,}6 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0{,}94} = 702\text{кВт}.$$

Двигатель выбирается по каталогу.

Расход энергии за одну подъемную операцию

$$W = N_2 t_1 + N_3 t_2 = 1260 \cdot 13{,}33 \cdot 626 \cdot 59{,}66 = 54140\text{кВт} \cdot \text{с}$$

Расход энергии подъемной установкой на шинах электроподстанции на подъем 1 т полезной массы

$$W_{\text{т}} = \frac{k_{\text{м.т}}}{3{,}6 \eta_{\text{д}} \eta_{\text{с}} Q_{\text{п}}} = \frac{1{,}03 \cdot 54140}{3{,}6 \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}95 \cdot 5000} = 3{,}54\text{кВт} \cdot \text{ч/т}.$$

На диаграмме (рис. 3.24) расхода энергии для данного примера показано, что потери в реостате во время ускоренного движения — пл. $N_1 - N'_1 - N_2 - N_1$, в зубчатой передаче — пл. N_1 — N_2 — $N_2\eta_{\text{п}}$ — N_1, в двигателе — пл. N'_1 — $N'_1/\eta_{\text{д}}$ — $N_2/\eta_{\text{д}}$ — $N_2 - N'_1$, во время равномерного движения в передаче — пл. N_3 — N_4 —$N_4\eta_{\text{п}}$—$N_3\eta_{\text{п}}$— N_3, в двигателе — пл. $N_3 - N_3/\eta_{\text{д}} - N_4/\eta_{\text{д}} - N_4 - N_3$.

К.п.д. установки

$$\eta_{\text{у}} = \frac{0{,}00272}{W_{\text{т}} \eta_{\text{с}}} = \frac{0{,}00272 \cdot 730}{3{,}54 \cdot 0{,}95} = 0{,}59.$$

К.п.д. подъемной машины

$$\eta_{\text{маш}} = k\eta_{\text{у}} = 1{,}2 \cdot 0{,}59 = 0{,}708.$$

3.54. По данным рис. 3.25 определить мощность двигателя, расход энергии и к.п.д. скиповой установки и подъемной машины, если: v_{max} = 7,23 м/с; $t_{\text{п}}$ = 10 с; H = 550 м; полезная масса скипа $Q_{\text{п}}$ = 8500 кг; собственная $Q_{\text{с}}$ = 8460 кг; p = 8,466 кг/м; η_n = 0,93; скорость входа и выхода ролика скипа из

разгрузочных кривых $v' = v''$= 1,1 м/с.

Решение. 1. Эквивалентное усилие по формуле (3.92)

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(F_1^2 + F_2^2)\frac{t}{2} + (F_3^2 + F_4^2)\frac{t_1}{2} + (F_5^2 + F_6F_{6+}F_6^2)\frac{t_2}{3} + (F_9^2 + F_{10}^2)\frac{t'}{2}}{T + 0.33t_{\text{п}}}}$$

Отрицательные усилия F_7 = —2,15 • 10^4Н и F_8 = —2,72 • 10^4Н в подкоренное выражение не поставлены, так как при механическом торможении, предусматриваемом для данного скипового подъема, они не

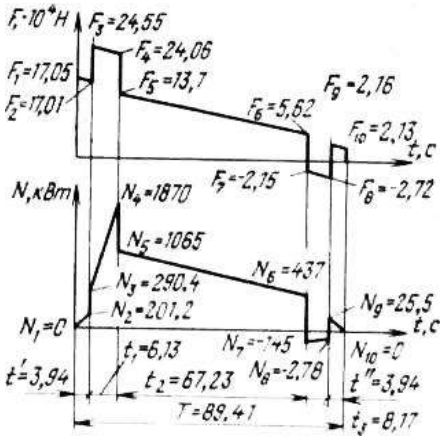


Рис. 3.24. Диаграмма расхода энергии (к примеру 3.53)

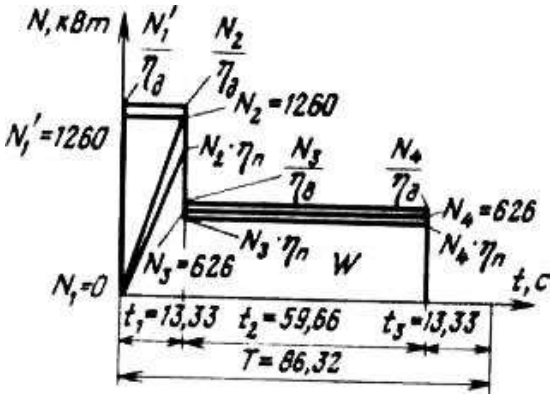


Рис 3.25.Диаграммы к расчету скиповой установки и подъемной машины (к примеру 3.54

способствуют нагреванию двигателя, поэтому

$$F_{\text{экс}} = \sqrt{\frac{(17{,}02^2 + 17{,}01^2)\frac{3{,}94}{2} + (24{,}55^2 + 24{,}06^2)\frac{6{,}13}{2}}{89{,}41 + 0{,}33 \cdot 10}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(13{,}7^2 + 13{,}7 \cdot 5{,}62 + 5{,}62^2)\frac{67{,}23}{3} + (2{,}16^2 + 2{,}13^2)\frac{3{,}94}{2}}{} =$$

$$= 11{,}1 \cdot 10^4 H.$$

Коэффициент перегруза двигателя при подъеме по формуле (3.95)

$$k_{\text{под}} = \frac{24{,}55 \cdot 10^4}{11{,}1 \cdot 10^4} = 2{,}21.$$

что недопустимо, так как при асинхронном двигателе $k_{\text{под}}$ < 1,8. Поэтому принимаем

$$F_{\text{экв}} = F_{max}\,/1{,}8 = 24{,}55 \cdot 10^4 H.$$

Коэффициент перегруза от экстренного усилия, возникающего при регулировании длины каната, по формуле (3.96)

$$k_{\text{экс}} = \frac{13{,}49 \cdot 10^4}{13{,}64 \cdot 10^4} = 0{,}99.$$

а по формуле (3.99)

$$F_{\text{экс}} = \left(8460 + \frac{1{,}15 - 1}{2} 8500 + 8{,}466 \cdot 550\right) 9{,}81 = 13{,}49 \cdot 10^4 H.$$

Мощности, потребляемые из сети, без учета потерь в двигателе:

$$N_1' = \frac{17{,}05 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23}{1000 \cdot 0{,}93} = 1326\text{кВт};$$

$$N_2' = \frac{17{,}01 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23}{1000 \cdot 0{,}93} = 1322\text{кВт};$$

$$N_9' = \frac{24{,}55 \cdot 10^4 \cdot 7{,}32}{1000 \cdot 0{,}93} = 1909\text{кВт};$$

$$N_9' = \frac{2{,}16 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23}{1000 \cdot 0{,}93} = 168\text{кВт};$$

$$N_{10}' = \frac{2{,}13 \cdot 10^4 \cdot 7{,}23}{1000 \cdot 0{,}93} = 166\text{кВт};$$

Расход энергии на одну подъемную операцию на основании формулы (3.103)

$$W = \frac{N_1' + N_2'}{2} t' + \frac{N_3' + N_4'}{2} t_1' + \frac{N_5 + N_6}{2} t_2' + \frac{N_9' + N_{10}'}{2} =$$

$$= \frac{1326 + 1322}{2} 3{,}94 + \frac{1909 + 1870}{2} 6{,}13 + \frac{1065 + 437}{2} 67{,}23 +$$

$$+ \frac{168 + 168}{2} 3{,}94 = 67947\text{кВт} \cdot \text{с}.$$

Расход энергии на 1 т груза по формуле (3.105)

$$W_{\text{т}} = \frac{1{,}03 \cdot 67947}{3{,}6 \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}95 \cdot 8500} = 2{,}62\text{кВт} \cdot \text{ч/т}$$

К.п.д. установки по формуле (3.106)

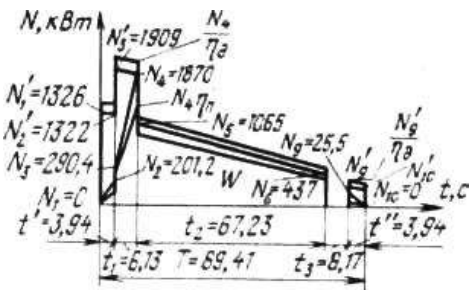
$$\eta_{\text{у}} = \frac{0{,}002273550}{2{,}62 \cdot 0{,}95} = 0{,}6.$$

К.п.д. машины по формуле (3.107)

$$\eta_{\text{маш}} = 1{,}15 \cdot 0{,}6 = 0{,}69.$$

Диаграмма расхода энергии для данного примера показана на рис. 3.26.

Рис. 3.26. Диаграмма расхода Энергии (к примеру 3.54)



Задачи

3.46. Определить среднюю и ориентировочную максимальную скорости подъема для скипа 1СН15-1, если: $A_{\text{г}}$ = 1 200 000 т угля; $Q_{\text{п}}$ = 13 000 кг угля; H =700 м; $t_{\text{п}}$ = 11 с; $a_{\text{с}}$ =1,3

3.47. Определить среднюю и ориентировочную максимальную скорости подъема для скипа 3СН9,5-1, если: $A_{\text{г}}$ = 1 500 000 т; $Q_{\text{п}}$ =8500 кг; Н = 750 м; $t_{\text{п}}$ = 12 с; $\alpha_{\text{с}}$ = 1,3.

3.48. Определить коэффициент резерва производительности скиповой установки, если:$Q_{\text{п}}$ = 9300 кг;$\eta_{\text{п.ч}}$ = 35 п/ч; $\eta_{\text{д}}$ = 300 д; $\eta_{ч}$=18 ч; $A_{г}$=1200000 т.

3.49. Определить $Q_{\text{п}}$, если: $A_{г}$ = 1 000 000 т; $\eta_{\text{д}}$ = 300 д; $\eta_{\text{п.ч}}$ = 30 н; $\eta_{\text{ч}}$ = =18ч; C = 1,5.

3.50. Рассчитать элементы трехпериодной диаграммы скорости и построить ее и соответствующую ей диаграмму ускорений, если: H = 483 м; T_p = 87 с; $D_{\text{б}}$ = 5 м; i = 11,5; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2.

3.51. Рассчитать элементы трехпериодной диаграммы скорости и построить ее и соответствующую ей диаграмму ускорений, если: H = 610 м; $T_{\text{р}}$ = =83 с; $D_{\text{б}}$ = 5 м; i = 10,5; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2.

3.52. Рассчитать элементы трехпериодной диаграммы скорости и по-

строить ее и соответствующую ей диаграмму ускорений, если: H = 345 м; $T_р$ = 75 с; $D_б$ = 4 м; i = 11,5, $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2.

3.53. Рассчитать элементы трехпериодных диаграмм скорости и построить их и соответствующие им диаграммы ускорений при условии работы установки с одинаковой максимальной скоростью с двух горизонтов, если: H = 630 м; H = 730 м; $T_р$ = 90 с; $D_б$ = 6 м; i = 11,5; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2.

3.54. Рассчитать элементы трехпериодных диаграмм скорости и построить их и соответствующие им диаграммы ускорений при условии работы установки с одинаковой максимальной скоростью с двух горизонтов, если: H = 250 м; H = 350 м; $T_р$ = 50 с; $D_б$ = 4 м; i = 10,5; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2.

3.55. Определить элементы пятипериодной диаграммы скорости и построить эту диаграмму и соответствующую ей диаграмму ускорений, если: H = 517 м; $T_р$ = 108 с; $t_п$ = 10 с; $h_р$ = 2,33 м; $D_б$= 5 м; C = 1,5; v' = v'' = 1,2 м/с; $a_1 = a_3$ = 1 м/с^2; i = 11,5.

3.56. Определить элементы пятипериодной диаграммы скорости и построить ее и соответствующую ей диаграмму ускорений, если: H = 711 м; $T_р$ = =134 с; $t_п$ = 8 с; $h_р$ = 2,15 м; $D_б$ = 5 м; C = 1,5; v' = v'' = 1 м/с; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2; i= 10,5.

3.57. Определить длины путей h_1, h_2 и h_3 при пятипериодной диаграмме скорости, если: H = 480 м; v_{max} = 7,25 м/с; a_1 = 0,8 м/с^2; a_3 = 0,7 м/с^2; v''=1,2 м/с; $h_р$ = 2,8 м.

3.58. Определить продолжительность равномерного движения при пятипериодной диаграмме скорости, если: H = 250 м; V_{max} = 6,35 м/с; $a_1 = a_3$ = 0,7 м/с^2; v' = v'' = 1,2 м/с; $h_р$ = 2,5 м.

3.59. Определить полную продолжительность одной паузы при пятипериодной диаграмме скорости, если: H = 535 м; V_{max} = 9,1 м/с; $a_1 = a_3$ = 1 м/с^2; $h_р$ = 2,4 м; v' = v'' = 1,2 м/с; $t_п$ = 10с.

3.60. Определить высоту подъема, если: T = 50 с; V_{max} = 8,75 м/с; a_1 =0,9 м/с^2; a_3 =0,8 м/с^2; $h_р$ = 2,5 м; v'' = 1 м/с; v' = 1,2 м/с.

3.61. Определить элементы семипериодной диаграммы скорости и по-

строить в масштабе эту диаграмму и соответствующую ей диаграмму ускорений, если: H = 397 м; $T_р$ = 112 с, $h_р$ = 5,8 м, $D_б$, = 4 м, $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2 ; v' = v '' = 1,2 м/с, a' = a '' = 0,3 м/с^2.

3.62. Определить усилия и мощности в характерных точках трехпериодной диаграммы скорости и построить их диаграммы для клетевой установки без уравновешивающего каната *(к* = 1,2; q = 0), если: $Q_п$ = 4000 кг; H = 298 м; t_1 = 7,34 с; t_2 = 46,8 с; t_3 = 7,34 с; h_1 = 20,1 м; h_2 = 257,8 м; h_3 = 20,1 м; p = 6,349 кг/м; $m_п$ = 61800 кг; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2; v_{max} = 5,5 м/с; $\eta_п$ = 0,94.

3.63. Определить усилия и мощности в характерных точках трехпериодной диаграммы скорости и построить их диаграммы для клетевой установки с равновесным уравновешивающим канатом *(к* = 1,2; $q = p$*),* если: $Q_п$ = 4000 кг; $t_1 = t_3$ = 17,7 с; t_2 = 24,5 с; $m_п$ = 69550 кг; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2; v_{max} = 13,3 м/с; $\eta_п$ = 0,94.

3.64. Определить усилия и мощности в характерных точках трехпериодной диаграммы скорости и построить их диаграммы для клетевой установки с равновесным уравновешивающим канатом *(к* = 1,2; q = р), если: $Q_п$ = 4000 кг; $t_1 = t_3$ = 7,34 с; t_2 = 47 с; $m_п$ = 65730 кг; $a_1 = a_3$ = 0,75 м/с^2; v_{max} = 5,5 м/с; $\eta_п$ = 0,94.

3.65. Определить усилия и мощности в характерных точках пятипериодной диаграммы скорости и построить их диаграммы для скиповой установки с равновесным уравновешивающим канатом *(к* = 1,15; $q = p$), если: $Q_п$ = 8000 кг; m = 131450 кг; t' = t'' = 4,08 с; $t_1 = t_3$ =5,73с; t_2 = 91,76с; a' = a'' = 0,294м/с^2; $a_1 = a_3$ =0,75 м/с^2;

3.66. Определить усилия и мощности в характерных точках пятипериодной диаграммы скорости и построить в масштабе их диаграммы для скиповой установки с равновесным уравновешивающим канатом *(к* = 1,15; $q = p$), если: $Q_п$ =8000 кг; $m_п$ = 103690 кг; t' = t'' = 7,35 с; $t_1 = t_3$ = 5,75 с; t_2 = 79,25 с; $a' = a''$ =0,204 м/с^2; $a_1 = a_3$= 1 м/с^2; v' = v'' = 1,5 м/с; v_{max} = 7,25 м/с; $\eta_п$ = 0,94.

3.67. Определить усилия и мощности в характерных точках пяти-

периодной диаграммы скорости и построить в масштабе их диаграммы для скиповой установки с равновесным уравновешивающим канатом ($к$ = 1,15; q = =p), если: Q_n = 6000 кг, $m_п$ = 100 310кг; t' = t'' = 3,9 с; t_1 = t_3 = 4,3 с; t_2 = 89 с; a_1 = a '' = 0,308 м/с^2; a_1 = a_3 = 1 м/с^2; v' = v'' = 1,2 м/с; v_{max} = 5,5 м/с; η_n = 0,94.

3.68. Определить пути ускоренного замедленного и равномерного движений при трехпериодной диаграмме скорости, если: H = 500 м; v_{max} = 10 м/с; a_1 = 0,75 м/с^2; a_3 = 0,65 м/с^2.

3.69. Определить продолжительность равномерного движения при трехпериодной диаграмме скорости, если: H = 290 м; v_{max} = 5,6 м/с; a_1 = a_3 = =0,7 м/с^2.

3.70. Определить продолжительности движения подъемных сосудов и одной подъемной операции при трехпериодной диаграмме скорости, если: H = 510 м; v_{max} = 13,3 м/с; a_1 = a_3 = 0,75 м/с^2; $t_п$ = 30 с.

3.71. Определить высоту подъема при трехпериодной диаграмме скорости, если: T = 70с; v_{max} = 14,4 м/с; a_1 = a_3 = 0,75 м/с^2.

3.72. Определить ускорение и замедление при трехпериодной диаграмме скорости, если H = 460 м; T = 65 с; v_{max} = 8,75 м/с; a_1 = a_3.

3.73. Определить ускорение при трехпериодной диаграмме скорости, если: H = 342 м; T = 72 с; v_{max} = 5,3 м/с; a_3 = 0,75 м/с^2.

3.74. Определить усилия и мощности в характерных точках семипериодной диаграммы скорости и построить их диаграммы для установки с опрокидными клетями и с равновесным уравновешивающим канатом, если: $Q_п$ = 2000 кг; $Q_с$=8310 кг; m_n = 43165 кг; t' = t'' = 4 с; t'_1 =t''_1 = 2,83 с; t_1 = =t_3 =3,85 с; t_2 = 93,2 с; a' = a'' = 0,3 м/с^2; a_1 = a_3 = 0,75 м/с^2; $k_у$ = 0,35; v' = v'' = 1,2 м/с; v_{max} = 4,08 м/с; $\eta_п$ = 0,94.

3.75. Определить приведенную массу клетевой установки, если: F_1 = =10 • 10^4 Н; $Q_п$ =4000 кг; $к$ = 1,2; H = 200 м; q = 0; p = 7,397 кг/м; a_1 = 0,7 м/с^2.

3.76. Определить ускорения при ускоренном и замедленном движениях скипа на разгрузочных кривых, если: усилия в начале подъемной операции F_1 = 5,64 • 10^4 Н; в конце F_{10} = 3,36 • 10^4 Н; $Q_п$= 4000 кг; $к$ = 1,15; q = p; m_n =

=52000 кг.

3.77. Определить коэффициент сопротивлений, если: диаграмма скорости трехпериодная; $q = p$; $F_1 = 9{,}94 \cdot 10^4$Н; $m_n = 69600$ кг; $a_1 = 0{,}75$ м/с^2; $Q_п = 4$.

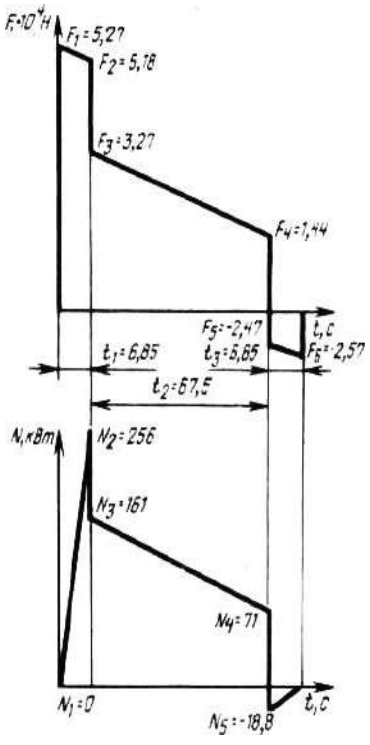
3.78. Определить ускорение и замедление из условия нескольжения каната по ведущему шкиву трения, если: $p = q = 7{,}51$ кг/м; $Q_п = 4000$ кг; $Q_с = 9620$ кг; $H = 350$ м; $\kappa = 1{,}2$; $D_{н.ш} = 5$ м; $m_{н.ш} = 1000$ кг; $L_{в.ш} = 73$ м; $f = 0{,}2$;

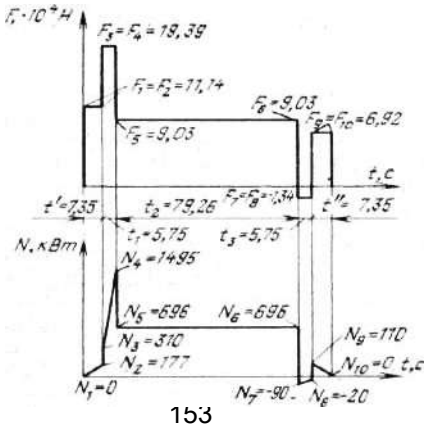
3.79. Определить ускорение и замедление клетей при навивке каната на конус и свивке с конуса во время равномерного вращения барабана с максимальной угловой скоростью $\omega_{max} = 4$ с$^{-1}$, если: продолжительность, навивки $t_{кс} = 20$ с, а радиусы малого и большого цилиндров барабана соответственно $R_{м.ц} = 2{,}5$ м и $R_{б.ц} = 4{,}5$ м.

3.80. Определить пути поднимающейся и опускающейся клети за время вращения бицилиндроконического барабана с ускорением $\varepsilon_1 = 0{,}234$ с$^{-2}$ при навивке каната на малый цилиндр радиусом $R_{м.ц} = 5$ м и свивке с большого цилиндра радиусом $R_{б.ц} = 9$ м, если максимальная угловая скорость барабана $\omega_{max} = 2{,}97$ с$^{-1}$

Рис. 3.27. Диаграммы движущих усилий и мощности (к задаче 3.81)

Рис. 3.28. Диаграммы движущихся усилий и мощности (к задаче 3.83)





3.81. Определить эквивалентное усилие и расход энергии за одну подъемную операцию при

использовании подъемной установки без уравновешивающего каната, асинхронного двигателя и трехпериодной диаграммы скорости, если заданы: диаграмма движущих усилий на окружности навивки и мощности на валу подъемного двигателя (рис. 3.27), максимальная скорость v_{max} = 4,45 м/с; $t_п$ = 12 с; $\eta_п$ = 0,94.

3.82. Определить эквивалентное усилие и расход энергии при трехпериодной диаграмме скорости и асинхронном двигателе, если: q = 0; F_1 = =11,13 · 10^4Н; F_2 = 10,89 · 10^4Н; F_3 = 6,26 · 10^4Н; F_4 = 3,17 · 10^4Н; F_5 = - 1,47 · 10^4Н; F_6 = - 1,71 · 10^4Н; N_1 = 0; N_2 = 637 кВт; N_3 = 366 кВт; N_4 = 185 кВт; N_5 = =-76 кВт; N_6 = 0; t_1 = 7,34 с; t_2 = =46,8 с; t_3 = 7,34 с; $t_п$ = 30 с; $\eta_п$ = 0,94; v_{max} = 5,5 м/с.

3.83. Определить эквивалентное усилие и расход энергии на одну подъемную операцию для клетевой подъемной установки с равновесным уравновешивающим канатом (q = р), асинхронным двигателем и трехпериодной диаграммой скорости, если задана диаграмма движущих усилий на окружности навивки и мощности на валу двигателя (рис. 3.28) ; $t_п$ = 30 с.

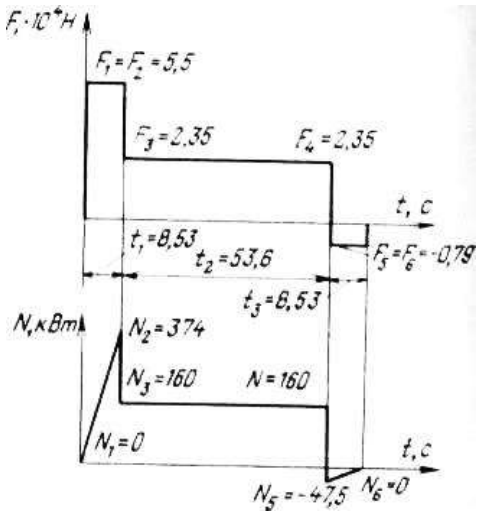


Рис. 3.29. Диаграммы движущих усилий и мощности (к задаче 3.86)

3.84. Определить эквивалентное усилие и расход энергии для клетевой подъемной установки с трехпериодной диаграммой скорости и асинхронным двигателем, если: q = p; F_1 = F_2 = 11,95·10^4Н; F_3 = F_4 = 4,71·10^4Н; F_5 = F_6 = - -2,53·10^4Н; N_1 = 0; N_2 = 920 кВт; N_3 = N_4 = 363 кВт; N_5 = - 172 кВт; N_6 = 0; t_1 = =7,25 с; t_2 = 62,8 с; t_3 = 7,25 с; $t_п$ = 30с; T = 77,3 с.

3.85. Определить усилие и расход энергии для установки с трехпериодной диаграммой скорости и асинхронным двигателем, если: $q = p$; $F_1 = F_2 = 9{,}96 \cdot 10^4$Н; $F_3 = F_4 = 4{,}71 \cdot 10^4$Н; $F_5 = F_6 = -0{,}54 \cdot 10^4$Н; $N_1 = 0$; $N_2 = 705$ кВт; $N_3 = N_4 = 332$ кВт; $N_5 = -34$ кВт; $N_6 = 0$; $t_1 = 8{,}8$ с; $t_2 = 63{,}8$ с; $t_2 = 8{,}8$ с; $T = 81{,}4$ с; $t_п = 30$ с.

3.86. Определить усилие и расход энергии скиповой установки по заданным диаграммам движущих усилий на окружности навивки и мощности на валу двигателя (рис. 3.29), если: двигатель асинхронный; $t_п = 10$ с; $\eta_п = 0{,}94$; $v_{max} = 7{,}25$ м/с.

3.87. Определить усилие и расход энергии при пятипериодной диаграмме скорости и асинхронном подъемном двигателе, если: $q = p$; $F_1 = F_2 = 9{,}38 \cdot 10^4$Н; $F_3 = F_4 = 15{,}19 \cdot 10^4$Н; $F_5 = F_6 = 6{,}77 \cdot 10^4$Н; $F_7 = F_8 = -1{,}65 \cdot 10^4$Н; $F_9 = F_{10} = 4{,}24 \cdot 10^4$Н; $N_1 = 0$; $N_2 = 110$ кВт; $N_3 = 193$ кВт; $N_4 = 886$ кВт; $N_5 = N_6 = 396$ кВт; $N_7 = -97$ кВт; $N_8 = -21$ кВт; $N_9 = 50$ кВт; $N_{10} = 0$; $t' = t'' = 4$с; $t_1 = t_3 = 4{,}3$ с; $t_2 = 87$ с; $T = 103{,}6$ с; $t_п = 30$ с; $\eta_п = 0{,}94$; $v_{max} = 5{,}5$ м/с.

3. ТОРМОЗА ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Примеры расчета

3.55 Для двухбарабанной машины НКМЗ с грузопневматическим тормозом (рис. 3.30) определить тормозные моменты, коэффициенты статической надежности рабочего и предохранительного тормозов, замедления при спуске и подъеме груза в процессе предохранительного торможения, необходимое давление в цилиндрах предохранительного и рабочего торможения при неуравновешенной подъемной системе и двухскиповом подъеме. Дано: диаметр барабана $D_б = 4$ м; грузоподъемность скипа $Q_п = 8500$ кг, его собственная масса $Q_с = 8460$ кг; линейная масса каната $p = 7{,}37$ кг/м; высота подъема $H^с = 500$ м; длина отвеса каната $H_к = 520$ м; приведенная масса подъемной системы $m_п = 105000$ кг. Тормозные колодки пресс-массовые, радиус тормозного обода $R_т =$

1985 мм. Длины рычагов тормозной системы (см. рис. 3.34): a = 1,4 м; b = 0,4 м; с = 1,3 м; d = 0,26 м. Количество наборных плит тормозного груза на одном приводе n = 10, масса каждой m = 100 кг. Диаметры цилиндров рабочего торможения $d_р$ = 360 мм, предохранительного $d_п$ =180 мм при диаметре штока $d_ш$ = 45 мм. Давление сжатого воздуха $p_в$ = 0,5 МПа.

Решение. Статические усилия подъемной системы. Максимальное статическое натяжение груженой ветви каната в наиболее общем виде для клетевого подъема при числе вагонеток в клети $n_в$ и массе порожней вагонетки $m_в$:

$$T_{ст} = (Q_п + Q_с + n_в n_в + pH_к), \quad (3.109)$$

в нашем случае

$$T_{ст} = (Q_п + Q_с + pH_к)g = (8500 + 8460 + 7{,}37 \cdot 520)9{,}81 =$$

=204000Н=204кН.

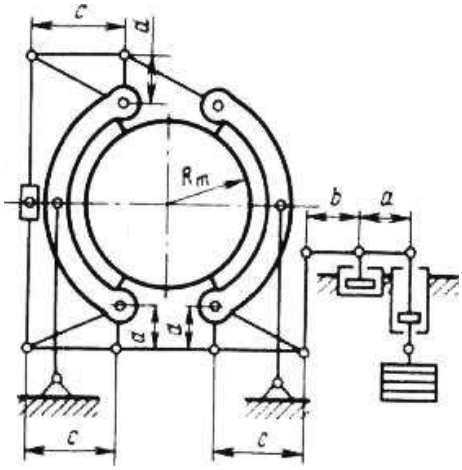


Рис. 3.30. Грузопневматический тормоз (к примеру 3.55)

Максимальные разности статических натяжений (Н) для неуравновешенной системы при q = 0 определяются по формуле (3.16):

для системы с противовесом

$$F_{ст} = (0{,}5(Q_п + n_в m_в) + pH)g \quad (3.110)$$

для двухсосудной системы с равновесным уравновешивающим канатом

$$F_{ст} = Q_п g, \quad (3.111)$$

для системы с противовесом

$$F_{ст} = [0{,}5(Q_п + n_в m_в)]g. \quad (3.112)$$

Для заданных условий по формуле (3.16)

$$F_{\text{ст}} = (Q_{\text{п}} + pH) = (8500 + 7{,}37 \cdot 500)9{,}81 = 119500\text{Н} = 119{,}5\text{кН}$$

Для двухбарабанных машин и машин с разрезным барабаном максимальное статическое натяжение (Н) каната при перестановке

$$T'_{\text{ст}} = (Q_{\text{с}} + pH_{\text{к}})g, \qquad (3.113)$$

или $T'_{\text{ст}} = (8460 + 7{,}37 \cdot 520)9{,}81 = 120600\text{Н} = 120{,}6\text{кН}.$

То же, для системы с противовесом

$$T'_{\text{ст}} = (Q_{\text{с}} + pH_{\text{к}})g. \qquad (3.114)$$

2. Максимальные статические моменты подъемной системы: при нагрузке

$$M_{\text{ст}} = F_{\text{ст}}R_{\text{б}}, \qquad (3.115)$$

т.е. $M_{\text{ст}} = 119{,}5 \cdot 2 = 239{,}0\text{кН} \cdot \text{м};$

при перестановке барабанов

$$M'_{\text{ст}} = T'_{\text{ст}}R_{\text{б}}, \qquad (3.116)$$

т.е. $M_{\text{ст}} = 120{,}6 \cdot 2 = 241{,}2\text{кН} \cdot \text{м};$

при обрыве одного из канатов

$$M''_{\text{ст}} = T_{\text{ст}}R_{\text{б}}, \qquad (3.117)$$

т.е. $M''_{\text{ст}} = 204 \cdot 2 = 408\text{кН} \cdot \text{м}.$

3 .Определение тормозных моментов. Передаточное число рычажного механизма тормоза

$$i = 4ac/(bd), \qquad (3.118)$$

подставив значения, получим

$$i = \frac{4 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}3}{(0{,}4 \cdot 0{,}26)} = 70.$$

Тормозной момент (Н • м) предохранительного тормоза

$$M_{\text{т}} = 2mngif_{\text{т}}\eta R_{\text{т}}, \qquad (3.119)$$

где $f_{\text{Т}}$ — коэффициент трения тормозных колодок об обод (для дерева 0,35; для пресс-массы 0,3); η = 0,95 — коэффициент полезного действия рычажной системы тормоза.

При наших данных

$$M_{\text{т}} = 10^{-3} \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 9{,}81 \cdot 70 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}985 = 777\text{кН} \cdot \text{м}.$$

Тормозной момент предохранительного тормоза на одном тормозном ободе при перестановке барабанов

$$M_{\text{т}} = 0{,}5M_{\text{т}}, \tag{3.120}$$

т.е. $M'_{\text{т}} = 0{,}5 \cdot 777 = 388{,}5\text{кН} \cdot \text{м}.$

Максимальный момент, создаваемый рабочим тормозом на заклиненном барабане,

$$M'_{\text{т.р}} = \frac{\pi a c f_{\text{т}} \eta R_{\text{т}} d_{\text{р}}^2 p_{\text{в}}}{(a+b)d} \tag{3.121}$$

$$M'_{\text{т.р}} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}985 \cdot 0{,}36^2 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6}{10^3(1{,}4+0{,}4)0{,}26} 447{,}6\text{кН} \cdot \text{м}.$$

Максимальный тормозной момент, создаваемый двумя приводами рабочего тормоза,

$$M_{\text{т.р}} = 2M'_{\text{т.р}}, \tag{3.122}$$

т.е. $M_{\text{т.р}} = 2 \cdot 447{,}6 = 835{,}2\text{кН} \cdot \text{м}.$

4. Коэффициенты статической надежности тормоза. Тормозной момент предохранительного тормоза должен удовлетворять условию

$$M_{\text{т}} > 3M_{\text{ст}}. \tag{3.123}$$

В остальных возможных случаях коэффициент статической надежности при рабочем и предохранительном торможении $\kappa > 1{,}2$.

Коэффициенты статической надежности:

предохранительного тормоза по формуле (3.123)

$K = M_{\text{т}}/M_{\text{ст}} = 777/239 = 3{,}25 > 3;$

предохранительного тормоза при перестановке барабанов

$$K = M_{\text{т}}/M_{\text{ст}} = 388{,}5/241{,}2 = 1{,}61 > 1{,}2; \tag{3.124}$$

рабочего тормоза при перестановке барабанов

$$K'_{\text{р}} = M'_{\text{т.р}}/M'_{\text{с.т}} = 447{,}6/241{,}2 = 1{,}86 > 1{,}2; \tag{3.125}$$

предохранительного тормоза при обрыве одного из канатов

$$K'' = M_{\text{т}}/M''_{\text{ст}} = 777/408 = 1{,}9 > 1{,}2. \tag{3.126}$$

5. Замедления при предохранительном торможении. Замедления (м/с^2) в процессе предохранительного торможения при спуске и подъеме груза

$$\text{а} = \frac{M_\text{т} \pm M_\text{ст}}{m_\text{п} R_\text{б}}. \qquad (3.127)$$

Знак "+" ставится при подъеме груза, “-” при его спуске. При спуске груза замедление должно отвечать условию $a_\text{с} > 1{,}5$ м/с^2, при подъеме груза $a_\text{п} < 5$ м/с^2.

Средние значения замедления в процессе предохранительного торможения по формуле (3.127):

При спуске груза

$$a_\text{с} = \frac{777 - 239}{10^{-3} \cdot 10500 \cdot 2} = 2{,}56 > 1{,}5 \text{ м/с}^2.$$

При подъеме груза

$$a_\text{п} = \frac{777 + 239}{10^{-3} 10500 \cdot 2} = 4{,}84 < 5 \text{м/с}^2.$$

6. Необходимые давления воздуха в цилиндрах тормоза. Необходимое давление (Па) воздуха в цилиндрах предохранительного торможения из условия удержания тормозного груза

$$p_\text{п} = \frac{4gmn}{\pi(d_\text{п}^2 d_\text{ш}^2)\eta_\text{п}}, \qquad (3.128)$$

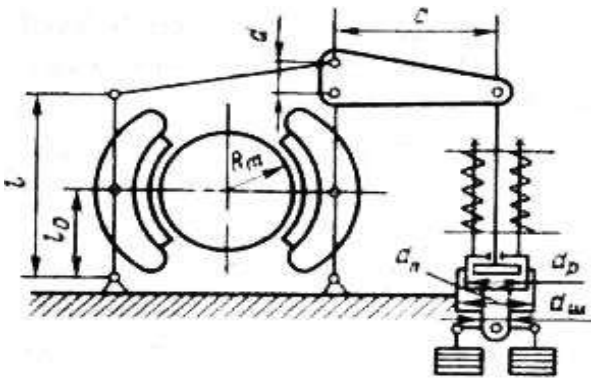


Рис.3.31. Тормоз с пружинно пневматическим грузовым приводом (к примеру 3.56)

где $\eta_\text{п}$ = 0,9 — коэффициент полезного действия цилиндра предохранительного торможения.

При наших данных

$$p_{\text{р}} = \frac{4 \cdot 9{,}81 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{3{,}14(0{,}18^2 - 0{,}045^2)0{,}9} = 0{,}46\text{МПа}.$$

Необходимое давление (Па) воздуха в цилиндре рабочего торможения для полного оттормаживания из условия подъема тормозных грузов при "зарядке"

$$p_{\text{р}} = \frac{4gmn(a+b)}{\pi d_{\text{р}}^2 b \eta_{\text{р}}}, \qquad (3.129)$$

где η_p — коэффициент полезного действия цилиндра рабочего торможения (для грузопневматических приводов $\eta_{\text{р}}$ = 0,7).

В данном случае

$$p_{\text{р}} = \frac{4 \cdot 9{,}81 \cdot 100 \cdot 10(1{,}4 + 0{,}4)}{3{,}14 \cdot 0{,}36^2 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}7 \cdot 10^6} = 0{,}62\text{Мпа}$$

Определить допустимые замедления в процессе предохранительного и рабочего торможений при спуске и подъеме груза, перегоне порожнего сосуда; тормозные моменты и основные параметры тормозного привода для четырехканатной ($n_{\text{к}}$ = 4) подъемной машины с диаметром канатоведущего шкива $D_{\text{ш}}$ = 4 м. Тормоз имеет пружинно-пневматический грузовой привод (рис. 3.31).

Односкиповая подъемная система с отклоняющими шкивами и противовесом уравновешена двумя плоскими канатами. Угол охвата канатоведущего шкива подъемными канатами α = 188°. Высоты подъема H = 835 м, копра $h_{\text{к}}$= 90 м, уровня кромки бункера над землей $h_{\text{в}}$ = 25 м; длина отвеса каната $H_{\text{к}}$ = 900 м. Грузоподъемность скипа Q_n = 13 т, собственная масса $Q_{\text{с}}$ = 16,7 т. Масса противовеса, расположенного со стороны отклоняющих шкивов $Q_{\text{пр}}$ = 23,2 т. Линейные массы подъемного каната p = 4,54 кг/м, уравновешивающего q = 9,43 кг/м. Приведенная масса подъемной системы $m_{\text{п}}$ = 120000 кг.

Радиус тормозного обода $R_{\text{т}}$ = 1910мм тормозные колодки пресс-массовые. Размеры рычагов рычажной системы тормоза (см. рис. 3.31): c = 1,5 м; d = 0,35 м, f = 3,08 м, l_o =1,18 м. Цилиндр рабочего торможения имеет

диаметр $d_р$ = 440 мм и ход поршня S = 100 мм. Жесткость пружинного блока Z = 166,6 Н/мм. Диаметр цилиндра предохранительного торможения $d_п$ = 500 мм, штока $d_ш$ = 200 мм. Масса одной наборной плиты тормозного груза m = 58 кг; подвижных деталей, участвующих в процессе рабочего торможения, $m_{п.р}$ = 630 кг; то же, предохранительного $m_{п.п}$ = 1000 кг.

Решение. 1. Статические натяжения ветвей канатов. Статические натяжения более нагруженной T_1 и менее нагруженной T_2 ветвей канатов определяют для момента, когда сосуды находятся в положении, при котором возникает максимальная статическая неуравновешенность подъемной системы.

При подъеме груза, учитывая, что $n_{у.к}\ q > n_к\ p$, наибольшая разность статических натяжений будет в момент нахождения груженого сосуда на верхней приемной площадке. Для общего случая клетевого подъема

$$T_{1п} = \left(Q_п + Q_с + n_в + m_в + qH_{ук} + n_к p(h_к - h_в)\right) g. \qquad (3.130)$$

Для заданных условий

$$T_{1п} = \left(13000 + 16700 + 3 \cdot 9.43 \cdot 835 + 4 \cdot 4.54(90 - 25)\right)9.81 =$$

$$= 457400\text{Н} = 457{,}4\text{кН}.$$

Если $n_{у.к}\ q < n_к\ p$, то наибольшее натяжение (Н) будет иметь эта же ветвь при груженом сосуде на нижней приемной площадке:

$$T_{1п} = (Q_п + Q_с + n_в m_в + n_к p H_к) g. \qquad (3.131)$$

Со стороны противовеса:

при $n_{у.к}\ q > n_к\ p$

$$T_{2п} = \left(Q_{пр} + n_к p H_к\right) g\ , \qquad (3.132)$$

для заданных условий

$$T_{2п} = (23200 + 4 \cdot 4{,}54 \cdot 900)9{,}81 = 388000\ \text{Н} = 388\ \text{кН}$$

При $n_{у.к}\ q < n_к\ p$

$$T_{2п} = \left(Q_{пр} + n_{ук} qH + n_к p(h_к - h_в)\right) g \qquad (3.133)$$

При двухсосудном подъеме в формулы (3.132) и (3.133) вместо $Q_{пр}$ подставляют в общем случае клетевого подъема ($Q_с + n_в m_в$)…

Статические натяжения (Н) при спуске груза в заданных условиях $T_{1с} = T_{1п}$ и $T_{2с} = T_{2п}$

То же, при перегоне порожнего сосуда в условиях подъема противовеса:

по формуле (3.132) $T_{1\,пер} = 388$ кН;

$$T_{2\,пер} = \left[Q_c + n_{у.к} qH + n_к p(h_к - h_в)\right]g, \qquad (3.134)$$

при наших данных

$$T_{2\,пер} = [16700 + 2 \cdot 9{,}43 \cdot 835 + 4 \cdot 4{,}54(90 - 25)]9{,}81 =$$

$$= 324600\ \text{Н} = 324{,}6\ \text{кН};$$

То же, при спуске противовеса:

по формуле (3.133)

$$T_{1\,пер} = [23300 + 2 \cdot 9{,}43 \cdot 835 + 4 \cdot 4{,}54(90 - 25)] \cdot 9{,}81 =$$

$$= 393700\ \text{Н} - 393{,}7\ \text{кН};$$

$$T'_{2\,пер} = (Q_с + n_к p H_к)g \qquad (3.135)$$

при наших данных

$$T'_{2\,пер} = (16700 + 4 \cdot 4{,}54 \cdot 900) \cdot 9{,}81 = 324200\ \text{Н} = 354{,}2\ \text{кН}$$

Для двухсосудного подъема при $n_{у.к}\, q > n_к\, p$ $T_{1\,пер}$ и $T_{2пер}$ определяют соответственно по формулам (3.133) и (3.132); при $n_{у.к}\, q < n_к\, p$ — по формулам (3.132) и (3.133); при $n_{у.к}\, q = n_к\, p$ $T_{1\,пер} = T_{2пер}$ — по формуле (3.132), причем вместо $Q_{пр}$ в этих формулах подставляют Q_c.

Из всех рассмотренных режимов максимальная разность статических натяжений имеет место в режиме перегона порожнего сосуда при спуске противовеса:

$$F'_{ст} = T'_{1\,пер} - T'_{2\,пер} = 393{,}7 - 324{,}2 = 69{,}5\ \text{кН}$$

2. Допустимые замедления при торможении. В рассмотренных выше режимах работы наибольшие допустимые замедления при предохранительном и рабочем торможении должны обеспечить коэффициент безопасности против скольжения канатов по футеровке канатоведущего шкива $K_с > 1{,}25$.

Замедление (м/с^2) при подъеме груза

$$a_{\text{п}} = \frac{g\left(e^{fa}\frac{T_{1\text{п}}}{T_{2\text{п}}} - 1\right)}{K_{\text{с}}\left(e^{fa}\frac{T_{1\text{п}}}{T_{2\text{п}}} + 1\right)} \qquad (3.136)$$

где e = 2,72 — основание натурального логарифма; f — коэффициент трения подъемных канатов о футеровку канатоведущего шкива (для пластиката ПП-45 f =0,25, для канатов с круглыми и фасонными прядями; 0,2 для канатов закрытой конструкции).

Для заданных условий при угле охвата α = 188° F = 0,25 и $e^{f\alpha}$ = 2,271.

$$a_n = \frac{9{,}81\left(2{,}271\frac{457{,}4}{388} - 1\right)}{1{,}25\left(2{,}271\frac{457{,}4}{388} + 1\right)} = 3{,}58\ \text{м/с}^2$$

При спуске груза

$$a_c = \frac{g\left(e^{fa} - \frac{T_{1c}}{T_{2c}}\right)}{k_c\left(e^{fa} + \frac{T_{1c}}{T_{2c}}\right)}, \qquad (3.137)$$

для наших данных

$$a_c = \frac{9{,}81(2{,}271 - 457{,}4/388)}{1{,}25(2{,}271 + 457{,}4/388)} = 2{,}48\ \text{м/с}^2$$

В условиях перегона порожнего сосуда при подъеме противовеса по формуле (3.136)

$$a_{\text{пер}} = \frac{9{,}81(2{,}271 \cdot 388/324{,}6 - 1)}{1{,}25(2{,}271 \cdot 388/324{,}6 + 1)} = 3{,}62\text{м/с}^2$$

При спуске противовеса по формуле (3.137)

$$a'_{\text{пер}} = \frac{9{,}81(2{,}271 - 393{,}7/324{,}2)}{1{,}25(2{,}271 + 393{,}7/324{,}2)} = 2{,}38\text{м/с}^2$$

Для двухсосудного подъема определяют замедления для спуска и подъема более тяжелой ветви, т.е. для случаев перегона порожних сосудов в обоих направлениях.

3. Тормозные моменты. Максимальный статический момент подъемной системы по формуле (3.115)

$$M_{\text{ст}} = F_{\text{ст}}R_{\text{ш}} = 96{,}5 \cdot 2 = 139\text{кН} \cdot \text{м}$$

где $R_ш$ — диаметр канатоведущего шкива трения, м.

Тормозной момент должен удовлетворять условию (3.123), обеспечивающему требуемый коэффициент статической надежности тормоза:

$$M_т \geq 3M_{ст},$$

т.е. $M_т = 3M_{ст} = 3 \cdot 139 = 417$кН·м.

Тормозные моменты:

по условию обеспечения замедления не менее 1,5 м/с^2 в процессе предохранительного торможения при спуске груза

$$M_т \geq M_{ст} + 1{,}5 m_п R_ш 10^{-3}, \quad (3.138)$$

т.е. $139+1{,}5 \cdot 120000 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 499 > 417$ кН·м;

по условию обеспечения замедления не более a_n = 3,58 м/с^2 в процессе предохранительного и рабочего торможения при подъеме груза

$$M_т \leq (a_п m_п 10^{-3} - T_{1п} + T_{2п}) R_ш \quad (3.139)$$

или $(3{,}58 \cdot 120000 \cdot 10^{-3} - 457{,}4 + 388)\, 2 = 720 > 417$ кН • м.;

по условию обеспечения замедления не более a_c = 2,48 м/с^2 в процессе предохранительного и рабочего торможения при спуске груза

$$M_т \leq (a_с m_п 10^{-3} + T_{1с} - T_{2с}) R_ш \quad (3.140)$$

или $(2 \cdot 48 \cdot 120000 \cdot 10^{-3} + 457{,}4 - 388)2 = 734 > 417$ кН·м.;

по условию обеспечения замедления не более $a_{пер}$ = 3.62 м/с^2 в процессе предохранительного и рабочего торможения при перегоне порожних сосудов в случае подъема более нагруженной ветви канатов (противовеса)

$$M_т \leq \left(a_{пер} a_{п.пер} 10^{-3} - T_{1\ пер} + T_{2\ пер}\right) R_ш, \quad (3.141)$$

где $m_{п.пер}$ — приведенная масса подъемной системы без учета полезного груза (для системы с противовесом $m_{п.пер} = m_п$).

При наших данных

$$(3{,}62 \cdot 120000 \cdot 10^{-3} - 399 + 324{,}6)2 = 742 > 417\text{кН·м}$$

по условию обеспечения замедления не более $a'_{пер}$ = 2,38 м/с^2 в процессе предохранительного и рабочего торможения при перегоне порожних сосудов в случае спуска более нагруженной ветви канатов (противовеса)

$$M_т \leq \left(a'_{пер} a_{п\ пер} 10^{-3} + T'_{1\ пер} - T'_{2\ пер}\right) R_ш, \quad (3.142)$$

т.к. $(2{,}38 \cdot 120000 \cdot 10^{-3} + 393{,}7 - 324{,}2)2 = 710{,}2 > 417$кН·м

Если тормозной момент, определенный по условию (3.123), не противоречит остальным условиям, то принимают одноступенчатое торможение. В этом случае затяжку пружинного блока и массу тормозного груза определяют исходя из момента M_T.

При несоблюдении условия (3.138) принимают двухступенчатое торможение. Тормозной момент M_1 первой ступени торможения принимают из условий (3.138), а второй — из условий (3.123). По моменту M_1 затягивают пружинный блок, а по $M_т$ определяют массу тормозного груза.

Аналогичное решение принимают при несоблюдении условий (3.139) - (3.142).

По результатам расчетов принимают двухступенчатое торможение. Тормозной момент первой ступени торможения M_1 = 499 кН • м,
второй — $M_т$ = 417 кН • м.

4. Параметры тормозных приводов. Передаточное число рычажного механизма тормоза

$$i = \frac{2cl}{dl_0}, \qquad (3.143)$$

т. е. $i = \dfrac{2 \cdot 1{,}5 \cdot 3{,}08}{0{,}35 \cdot 1{,}18}$

Расчетная масса тормозного груза одного привода по формуле (3.119)

$$m_{\text{гр}} = \frac{10^3 M_{\text{т}}}{2gif_{\text{т}}\eta R_{\text{т}}} = \frac{10^3 \cdot 417}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 22{,}37 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}91} = 1745\text{кг}.$$

При массе одной наборной плиты m = 58 кг количество наборных плит тормозного груза одного привода

$$n = m_{\text{гр}}/m = 1745/58 = 30.09.$$

Принимаем n = 32, тогда фактическая масса тормозного груза

$$m_{\text{гр}} = 58 \cdot 32 = 1856 \text{ кг}.$$

Расчетное усилие в тяге, соединяющей привод тормоза с исполнительным органом, которое обеспечивает создание тормозного момента M_1

первой ступени торможения,

$$Q_1 = \frac{M_1}{2if_т\eta R_т}, \qquad (3.144)$$

т. е. $Q_1 = \frac{499}{2 \cdot 22{,}37 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}91} = 20{,}5$ кН.

Необходимая затяжка (мм) пружинного блока

$$F = \frac{10^3 Q_1 - g m_{п.р}}{Z} \qquad (3.145)$$

где $m_{п\ р}$ — масса подвижных частей привода тормоза, участвующих в рабочем торможении, кг; Z — жесткость пружинного блока, Н/мм.

Тогда

$$F = \frac{10^3 \cdot 20.5 - 9.81 \cdot 630}{166.6} = 86 \text{ мм}$$

Необходимое давление воздуха в цилиндрах предохранительного торможения

$$p_n = \frac{4g(mn + m_{п.п})}{10^6 \pi (d_п^2 - d_ш^2)\eta_п} \qquad (3.146)$$

т. е. $p_n = \frac{4 \cdot 9.81(68 \cdot 32 + 1000)}{10^6 \cdot 3.14(0.5^2 - 9.2^2) \cdot 0.9} = 0.19$ Мпа

Необходимое давление (МПа) воздуха в цилиндрах рабочего торможения

$$p_р = \frac{4[g m_{п.р} + Z(F+S)]}{10^6 \pi d_p^2 \eta_р} \qquad (3.147)$$

где S — ход поршня цилиндра рабочего торможения, мм.

При наших данных

$$p_р = \frac{4[9381 \cdot 630 + 166{,}6(86 + 100)]}{10^6 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}44^2 \cdot 0{,}7} = 0{,}35 \text{ МПа}$$

Задачи

3.88 Определить коэффициенты статической надежности предохранительного тормоза для подъемной машины с разрезным барабаном и грузопневматическим тормозом при перестановке барабана на K' и обрыве

одного из канатов *К”,* если дана подъемная односкиповая система с противовесом и параметрами: с = 5 м; $Q_п$ = 9300 кг; Q_c = 8900 кг; $Q_{пр}$ = 13750 кг; p = 8,47 кг/м; H = 550 м; H_k =570 м; a = 1,4 м; $Ь$ = 0,4 м; c = 1,5 м; d = 0,3 м (см. рис. 3.34); n= 13, m = 100 кг, радиус тормозного обода $R_т$ = 2480 мм. Тормозные колодки пресс-массовые.

3.89. Для условия предыдущей задачи определить замедления при спуске и подъеме груза в процессе предохранительного торможения, а также необходимые давления сжатого воздуха в цилиндрах предохранительного и рабочего торможения, если: m_n = 150000 кг; d_p = 400 мм; $d_п$ =200 мм; $d_ш$ =45 мм.

3.90. Для подъемной машины определить массу тормозного груза $m_{гр}$ = mn и количество наборных плит на одном приводе при мини.

Ответы к задачам

1.1. P=129,6 Па.

1.2. P=1694 Па.

1.3. H=179 м; $\eta_т$=0,95.

1.4. H=277,9 м; $\eta_т$=0,92.

1.5. Q=300 м^3/ч.

1.6. d=113 мм.

1.7. $H_г$=237,5 м.

1.8. R=0,16.

1.9. R=3525.

1.10. ξ_c=65,8.

1.14. Q=337,5 м^3/ч; H=297,3 м; η=0,6.

1.15. Q=280 м^3/ч; H=297,6 м; η=0,6.

1.16. Q=65 м^3/ч; H=190 м; η=0,75.

1.17. Q=78,75 м^3/ч; H=183,9 м; η=0,75.

1.18. N=24 кВт.

1.19. N=49,1 кВт.

1.20. N=466 кВт.

1.21. N=123 кВт.

1.22. Q_2 = 35 м^3/с; p_2 = 1030 Па; N_2=61,7 кВт.

1.23. n_2=1740 об/мин.

1.24. n_2=772 об/мин.

1.25. n_2=1050 об/мин.

1.26. Давление р возрастет на 82%, мощность N – на 146%.

1.27. Q увеличится в 1,15 раза, р – в 1,31 раза.

1.28. p_2=2256 Па; N_2=260 кВт.

1.29. p_2=926 Па; N_2=122,9 кВт.

1.34 . По характеристике N=650 кВт; $N_р$=600 кВт; $W_г$=7,31·10^6 кВт·ч.

1.35 . По характеристике N=473 кВт; $N_р$=501 кВт; $W_г$=6,41·10^6 кВт·ч.

1.36 . По характеристике N=1500 кВт; $N_р$=1531 кВт; $W_г$=12,35·10^6 кВт·ч.

1.37 . По характеристике N=57 кВт; $N_р$=77 кВт; $N_{р1}$=57,84 кВт, $N_{р2}$=78,3 кВт, $W_{г1}$=0,68·10^6 кВт·ч, W_1=4,77·10^6 кВт·ч; $W_{г2}$=0,954·10^6 кВт·ч; $W_Т$=7,63·10^6 кВт·ч; W=12,4·10^6 кВт·ч.

1.42. Q = 78 м^3/с; р=140 даПа.

1.43. Q=6,676 м^3/с; р=2427 Па; два последовательно включенных вентилятора ВМ-6М при $\theta_{н.а}$=0^0; ВМ-8М при $\theta_{н.а}$=-40^0 или ВЦ-7 при $Q_З$=-15^0.

1.48. D=180 мм; δ=11 мм; d=158 мм.

1.49. δ_1=13,6 мм; δ_2=15,2 мм; δ_3=17,6 мм; принимаем: δ_1=14 мм; δ_2=16 мм; δ_3=18 мм.

1.50. h=37 м; $Z_к$=10; в рабочем режиме Q=191 м^3/ч; Н=410 м; η=0,67; i$Н_{в.доп}$=4,5 м.

1.51. Н=46 м; $Z_к$=7; в рабочем режиме: Q=332 м^3/ч; Н=868 м; η=0,76.

1.52. h=17м; $Z_к$=5; в рабочем режиме: Q=66 м^3/ч; Н=120 м; η=0,86; $Н_{в.доп}$=5,7 м.

1.53. $W_г$=2429977 кВт·ч; $\eta_у$=0,54.

1.54. $W_г$=7964774 кВт·ч; $\eta_у$=0,6.

1.55. $W_г$=230728 кВт·ч; $\eta_у$=0,465.

2.1. V_2=0,5м^3; $l_{к.из}$=681100 Дж; Q= $l_{к.из}$.

2.2. V_1=5,63 м^3; $L_{к.из}$=846800 Дж.

2.3. p_2=0,512 МПа; t_1=4,5 ^oC.

2.4. ε=5,66; p_2=0,566 МПа; t_1=t_2=17,4 ^oC.

2.5. V_2=0,573 м^3;t_2=238 ^oC; $l_{к.ад}$=598900 Дж.

2.6. $L_{к.ад}$=744500 Дж; p_2=0,444 МПа; V_2=1,38 м^3.

2.7. p_2=0,51 МПа; V_1=6,41 м^3; $L_{к.ад}$=1327000 Дж.

2.8. V_1=6,52 м^3; t_1=15,5 ^oC; $L_{к.пол}$=1240000 Дж; Q=-374,5 кДж.

2.9. $L_{к.пол}$=759000 Дж; Q=-50,2 кДж.

2.10. V_1=4,65 м^3; p_2=0,543 МПа; $L_{к.пол}$=933000 Дж.

2.11. n=1,31; $L_{к.пол}$=961400 Дж.

2.12. n=1,21; Q=-183,5 кДж.

2.13. n=1,3.

2.14. $\alpha_в$=0,0653; V_0=0,0131 м^3.

2.15. α_0=0,832; $V_В$=0,125 м^3.

2.16. ε=6,25.

2.17. n=1,25.

2.18. $\alpha_п$=0,75.

2.19. $\alpha_п$=0,797.

2.20. $V_д$=0,24 м^3.

2.21. $\alpha_в$=0,063.

2.22. ε=4,7.

2.23. n=1,21.

2.24. n=1,22.

2.25. $V_о$=0,017 м^3.

2.26. $V_п$=0,25 м^3.

2.27. Изотермический, так как n=1.

2.28. p_2=0,544 МПа.

2.29. t_1=19,6 ^oC.

2.30. n=1,267.

2.31. t_2=79°C.

2.32. t_1=10°C.

2.33. L_1=L_2=248400 Дж; $L_к$=496700 Дж.

2.34. $V_{пр}$=1,08 м^3.

2.35. $V_{пр}$=0,666 м^3.

2.36. α_{oz}=0,938.

2.37. $V_{мин}$=5,85 м^3/мин; $V_{нор}$=5,53 м^3/мин.

2.38. $V_{мин}$=100,6 м^3/мин; $V_{нор}$=99,3 м^3/мин.

2.39. $\alpha_п$=0,857.

2.40. n=165 об/мин.

2.41. $n_{дв}$=735 об/мин.

2.42. N=85,2 кВт.

2.43. N=70,2 кВт.

2.44. N=172 кВт.

2.45. N=156 кВт.

2.46. N_i=349 кВт.

2.47. $N_в$=680 кВт.

2.48. $V_{мин}$=51 м^3/мин.

2.49. $V_{мин}$=74 м^3/мин.

2.50. n=221 об/мин.

2.51. n=269 об/мин.

2.52. $\eta_{i\ из}$=0,76.

2.53. $\eta_{i\ ад}$=0,989.

2.54. $\eta_м$=0,93.

2.55. $\eta_{к.из}$=0,93.

2.56. $\eta_{к.ад}$=0,805.

2.57. $V_п$=0,168 м^3; $V_{мин}$=35,3 м^3/мин.

2.58. $\alpha_п$=0,87.

2.59. n=237 об/мин.

2.60. $V_{в.ч}$=4,89 м^3/ч.

2.61. $V_{в.ч}$=7,68 м^3/ч.

2.62. $V_м$=4,9 л/м^3.

2.63. $Q_с$=41 кДж/кг.

2.64. $q_к$=134,5 кДж/кг.

2.65 $t_{2в}=t_{1в}=10^oC$.

2.66. $t_{2в}=94,6^oC$.

2.67. $t_2=94,6^oC$.

2.68. $t_1=15,4^oC$.

2.69. $F_{п.х}$=9,6 м^2.

2.70. $\eta_т$=181.

2.71. $k_т$=66,6 Вт/(м^2·К).

2.72. $Q_{х.ч}=1,8\cdot10^8$Дж.

2.73. $n_{т.в}$=37.

2.74. $F_{п.о}$=19,1 м^2; $F_{п.о}$=23 м^2; поверхность охлаждения достаточна.

2.75. $\eta_{i\ из}$=0,67; N=2875 кВт.

2.76. $V_{в.ч}$=130 м^3/ч.

2.77. $V_{мин}$=135 м^3/ч.

2.78. z=6; ε=1,44.

2.79. $V_{мин}$=115 м^3/ч; N=664 кВт.

2.80. $V_{к.с.н}$=470 м^3/мин; $V_{к.с.к}$=512 м^3/мин; $V_{ут.ср}$=10,2%.

2.81. $V_г=176,8\cdot10^6$ м^3; $W_г=17,48\cdot10^6$ кВт·ч; $V_т$=118 м^3/т; $W_т$=11,65 кВт·ч/т; $W_м$=0,099 кВт·ч/м^3.

2.82. $V_{к.с}$=684 м^3/мин; $V_{ут}$=89,5 м^3/мин, или 13,1%.

2.83.$d_{опт}$=240 мм; d=259 мм; v=7,22 м/с; Δp=0,0786 МПа.

2.84. d_{1-2}=384 мм; d_{2-3}=281 мм; v=7,22 м/с; Δp_{1-2}=0,0344 МПа; Δp_{2-3}=0,0344 МПа; Δp_{3-4}=0,0344 МПа.

2.85. $p_{к.с}$=0,762 МПа.

3.1. $p_р$=5,42 кг/м. Стандартный канат: p=6,08 кг/м; $Q_р$=1085000 Н; $d_к$=39,5 мм; z=7,78.

3.2. $p_р$=6,07 кг/м. Стандартный канат: p=7,12 кг/м; $Q_р$=1120000 Н; $d_к$=43 мм; z=7,93.

3.3. $p_р$=12,13 кг/м. Стандартный канат: p=13 кг/м; $Q_р$=2315000 Н; $d_к$=58,5 мм; z=6,53.

3.4. $p_р$=10,84 кг/м. Стандартный канат: p=12,19 кг/м; $Q_р$=1910000 Н; $d_к$=56 мм; z=6,7.

3.5. $p_р$=12,28 кг/м. Стандартный канат: p=14,25 кг/м; $Q_р$=2550000 Н; $d_к$=60,5 мм; z=6,98.

3.6. $p_р$=7,82 кг/м. Стандартный канат: p=8,496 кг/м; $Q_р$=1350000 Н; $d_к$=48,5 мм; z=6,54.

3.7. $p_р$=8,59 кг/м. Стандартный канат: p=9,95 кг/м; $Q_р$=1575000 Н; $d_к$=50,5 мм; z=6,84.

3.8. $Q_р$=1995000 Н; p=11,15 кг/м; $d_к$=53,5 мм; без учета массы каната z=10, с учетом - z=7,32.

3.9. $Q_р$=1520000 Н; p=8,496 кг/м; $d_к$=48,5 мм; без учета массы каната z=9,14, с учетом - z=6,57.

3.10. $Q_р$=1520000 Н; p=8,496 кг/м; $d_к$=48,5 мм; без учета массы каната z=8,51, с учетом - z=6,47.

3.11. $Q_р$=1520000 Н; p=8,496 кг/м; $d_к$=48,5 мм; без учета массы каната z=9,37, с учетом - z=6,81.

3.12. $Q_р$=887000 Н; p=4,965 кг/м; $d_к$=36,5 мм; без учета массы каната z=10,61, с учетом - z=6,31.

3.13. $Q_р$=1320000 Н; p=7,397 кг/м; $d_к$=45 мм; без учета массы каната z=9,66, с учетом - z=6,31.

3.14. $Q_р$=674500 Н; p=3,768 кг/м; $d_к$=32 мм; без учета массы каната z=9,52, с учетом - z=6,43.

3.15. $Q_р$=674500 Н; p=3,768 кг/м; $d_к$=32 мм; без учета массы каната z=9,82, с учетом - z=8,77.

3.16. $Q_п$+$Q_с$=16630 кг.

3.17. $Q_п$+$Q_с$=8580 кг.

3.18. $Q_п+Q_с$=4960 кг.

3.19. $Q_п+Q_с$=13610 кг.

3.20. $Q_п+Q_с$=6740 кг.

3.21. $H_к$=531 м.

3.22. $H_к$=636 м.

3.23. $H_к$=790 м.

3.24. $D_б$=5 м; $B_к$=2024 мм; B=2,4 м. По расчету: $T_{ст\ мах}$=137650 Н; $F_{ст\ мах}$=94120 Н. Машина 2Ц-5х2,4: $T_{ст.\ мах}$=280000 Н; $F_{ст\ мах}$=210000 Н.

3.25. $D_б$=5 м; $B_к$=2362 мм; B=2,4 м. По расчету: $T_{ст\ мах}$=271174 Н; $F_{ст\ мах}$=185790 Н. Машина 2Ц-5х2,4: $T_{ст.\ мах}$=280000 Н; $F_{ст\ мах}$=210000 Н.

3.26. $D_б$=6 м; $B_к$=2223 мм; B=2,4 м. По расчету: $T_{ст\ мах}$=316520 Н; $F_{ст\ мах}$=205110 Н. Машина 2Ц-6х2,4: $T_{ст.\ мах}$=320000 Н; $F_{ст\ мах}$=240000 Н.

3.27. $D_б$=5 м; $B_к$=2524 мм; B=3 м. По расчету: $T_{ст\ мах}$=217270 Н; $F_{ст\ мах}$=134570 Н. Машина ЦР-5х3/0,6: $T_{ст.\ мах}$=280000 Н; $F_{ст\ мах}$=210000 Н. $B_{к.з}$=2112<$B_з$=(3000-600) мм, что и необходимо.

3.28. $D_б$=6 м; $B_к$=2712 мм; B=2,4 м. По расчету: $T_{ст\ мах}$=243610 Н; $F_{ст\ мах}$=156860 Н. Машина ЦР-6х3/0,6: $T_{ст.\ мах}$=320000 Н; $F_{ст\ мах}$=24000 Н. $B_{к.з}$=2196<$B_з$=(3000-600) мм, что и необходимо.

3.29. $D_б$=6 м; $B_к$=2846 мм. По расчету: $T_{ст\ мах}$=230554 Н; $F_{ст\ мах}$=145894 Н. Машина ЦР-6х3/0,6: $T_{ст.\ мах}$=320000 Н; $F_{ст\ мах}$=240000 Н. $B_{к.з}$=2390<$B_з$=(3000-600) мм, что и необходимо.

3.30. H=676 м.

3.31. H=638 м.

3.32. H=807 м.

3.33. H=733 м.

3.34. H=621 м.

3.35. H=613 м.

3.36. H=824 м.

3.37. $D_{ш.т}$=5160 мм, принят $D_{ш.т}$=5,2 м; $p_{ш.т}$=99 Н/см^2.

3.38. $D_{ш.т}$=5850 мм, принят $D_{ш.т}$=6 м; $p_{ш.т}$=128 Н/см^2.

3.39. $D_{м.ш}$=3040 мм, $T_{ст\ мах}$=420276 Н; $F_{ст\ мах}$=133640 Н. Машина МК 3,25х4.

3.40. $D_{м.ш}$=3135 мм, $T_{ст\ мах}$=405460 Н; $F_{ст\ мах}$=129600 Н. Машина МК 3,25х4.

3.41. Н=1306 Н.

3.44. L_c=56,5 м.

3.45. L_c=55,65 м.

3.46. $v_{ср}$=5,43 м/с; $v_м$=7,33 м/с.

3.47. $v_{ср}$=12,2 м/с; $v_м$=16,47 м/с.

3.48. С=1,46.

3.49. $Q_п$=9260 кг.

3.50. $v_{р.м}$=6,14 м/с; при i=11,5 и $n_{син}$=300 об/мин; $v_{мах}$=6,65 м/с; t_1=t_3=8,87 с; h_1=h_3=29,5 м; h_2=424 м; t_2=63,85 с; Т=81,59 м.

3.51. $v_{р.м}$=8,52 м/с; при $n_{син}$=5,42$с^{-1}$; $v_{мах}$=9,1 м/с; t_1=t_3=12,13 с; h_1=h_3=55,2 м; h_2=499,6 м; t_2=54,9 с; Т=79,16 с.

3.53. $v_{р.мах}$=9,44 м/с; при $n_{син}$=325 об/мин; $v_{мах}$=10 м/с; t_1=t_3=13,33 с; h_1=h_3=66,7 м; h_2=596,6 м; t_2=59,66 с; Т=86,32 с; для первого горизонта – те же данные, только h_2=496,6 м; t_2=49,66 с; Т=76,32 с.

3.54. $v_{р.мах}$=9,3 м/с; при $n_{син}$=500 об/мин; $v_{мах}$=9,7 м/с; t_1=t_3=12,93 с; h_1=h_3=62,7 м; h_2=224,6 м; t_2=23,15 с; Т=49,01 с; для первого горизонта – те же данные, только h_2=124,6 м; t_2=12,84 с; Т=38,7 с.

3.55. $v_{р.мах}$=5,28 м/с; при $n_{син}$=250 об/мин; $v_{мах}$=5,5 м/с; a’=a’’=0,31 $м/с^3$; t’=t’’=3,89 с; t_1=t_3=4,3 с; h_1=h_3=14,4 м; h_2=483,54 м; t_2=87,9 с; Т=104,28 с; $C_ф$=1,55.

3.56. $v_{р.мах}$=5,87 м/с; при $n_{син}$=250 об/мин; $v_{мах}$=6 м/с; a’=a’’=0,233 $м/с^3$; t’=t’’=4,3 с; t_1=t_3=6,67 с; h_1=h_3=23,35 м; h_2=660 м; t_2=110 с; Т=131,94 с; $C_ф$=1,52.

3.57. h_1=31,95 м; h_2=405,93 м; h_3=36,52 м.

3.58. t_2 = 29,84 с.

3.59. $T_п$=83,1 с.

3.60. Н=293,78 м.

3.61. $v_{р.мах}$=4,05 м/с; при i=11,5 и $n_{син}$=250 об/мин (n=224 об/мин); $v_{мах}$=4,08 м/с; t’=t’’=4 с; t’=t’’$_1$=2,83 с; $t_1=t_3$=3,84 с; $h_1=h_3$=10,14 м; h_2=365,12 м; t_2=89,49 с; T=110,83.

3.62. $F_1=11{,}2\cdot10^4$ Н; $F_2=10{,}95\cdot10^4$ Н; $F_3=6{,}32\cdot10^4$ Н; $F_4=3{,}1\cdot10^4$ Н; $F_5=-1{,}53\cdot10^4$ Н; $F_6=-1{,}78\cdot10^4$ Н; N_1=0; N_2=640,7 кВт; N_3=369,8 кВт; N_4=181,4 кВт; N_5=-81,7 кВт; N_6=0.

3.63. $F_1=F_2=9{,}93\cdot10^4$ Н; $F_3=F_4=4{,}7\cdot10^4$ Н; $F_5=F_6=-0{,}51\cdot10^4$Н; N_1=0; N_2=1405 кВт; $N_3=N_4$=665 кВт; N_5=-63,76 кВт; N_6=0.

3.64. $F_1=F_2=9{,}64\cdot10^4$ Н; $F_3=F_4=4{,}7\cdot10^4$ Н; $F_5=F_6=-0{,}22\cdot10^4$Н; N_1=0; N_2=564 кВт; $N_3=N_4$=275 кВт; N_5=-11,4 кВт; N_6=0.

3.65. $F_1=F_2=12{,}89\cdot10^4$ Н; $F_3=F_4=18{,}88\cdot10^4$ Н; $F_5=F_6=9{,}03\cdot10^4$Н; $F_7=F_8=-8{,}3\cdot10^4$Н; $F_9=F_{10}=5{,}16\cdot10^4$Н; N_1=0; N_2=164,5 кВт; N_3=241 кВт; N_4=1100 кВт; $N_5=N_6$=528 кВт; N_7=-43кВт; N_8=-9,4 кВт; N_9=65,8 кВт; N_{10}=0.

3.66. $F_1=F_2=11{,}14\cdot10^4$ Н; $F_3=F_4=19{,}39\cdot10^4$ Н; $F_5=F_6=9{,}03\cdot10^4$Н; $F_7=F_8=-1{,}34\cdot10^4$Н; $F_9=F_{10}=6{,}9\cdot10^4$Н; N_1=0; N_2=177,8 кВт; N_3=309,4 кВт; N_4=1495,5 кВт; $N_5=N_6$=696 кВт; N_7=-91,3кВт; N_8=-18,9 кВт; N_9=110 кВт; N_{10}=0.

3.67. $F_1=F_2=9{,}86\cdot10^4$ Н; $F_3=F_4=16{,}78\cdot10^4$ Н; $F_5=F_6=6{,}77\cdot10^4$Н; $F_7=F_8=-3{,}26\cdot10^4$Н; $F_9=F_{10}=3{,}68\cdot10^4$Н; N_1=0; N_2=125,8 кВт; N_3=214 кВт; N_4=982 кВт; $N_5=N_6$=395,8 кВт; N_7=-168,5кВт; N_8=-36,8 кВт; N_9=46,9 кВт; N_{10}=0.

3.68. h_1=66,66 м; h_2=356,4 м; h_3=76,9 м.

3.69. t_2=43,8 с.

3.70. T=56,08; $T_п$=86,08 с.

3.71. H=731,5 с.

3.72. $a_1=a_3$=0,7 м/с^2.

3.73. a_1=0,67 м/с^2.

3.74. $F_1=6{,}5\cdot10^4$ Н; $F_3=3{,}65\cdot10^4$ Н; $F_3=F_4=2{,}35\cdot10^4$ Н; $F_5=F_6=5{,}59\cdot10^4$Н; $F_7=F_8=2{,}35\cdot10^4$Н; $F_9=F_{10}=-0{,}88\cdot10^4$Н; $F_{11}=F_{12}=2{,}35\cdot10^4$ Н; $F_{13}=1{,}06\cdot10^4$; $F_{14}=-0{,}246\cdot10^4$; N_1=0; N_2=46,6 кВт; $N_3=N_4$=30 кВт; N_5=71,3 кВт; N_6=242 кВт; $N_7=N_8$=102 кВт; N_9=-33,8 кВт; N_{10}=-9,9 кВт; $N_{11}=N_{12}$=30 кВт; N_{13}=13,5 кВт; N_{14}=0.

3.75. $m_п$=54860 кг.

3.76. a’=a” =0,22 м/с^2.

3.77. k=1,2.

3.78. a_{1max}=1,278 м/с^2; a_1=1,022 м/с^2; $a_{3мах}$=1,622 м/с^2;$a_З$=1,3 м/с^2.

3.79. $a_п$=0,4 м/с^2; $a_о$=-0,4 м/с^2;

3.80. $h_{п1}$=41,15 м; h_{01}=84,87 м.

3.81. $F_{экв}$=2,70·10^4 Н; W=2,66 кВт·ч.

3.82. $F_{экв}$=5,27·10^4 Н; W=4,9 кВт·ч.

3.83. $F_{экв}$=2,63·10^4 Н, с учетом допустимого перегруза при подъеме $F_{экв}$=3,06·10^4 Н; W=3,27 кВт·ч.

3.84. $F_{экв}$=5,32·10^4 Н, с учетом допустимого перегруза при подъеме $F_{экв}$=6,64·10^4 Н; W=8,2 кВт·ч.

3.85. $F_{экв}$=5·10^4 Н, с учетом допустимого перегруза при подъеме $F_{экв}$=5,53·10^4 Н; W=7,6 кВт·ч.

3.86. $F_{экв}$=9,53·10^4 Н, с учетом допустимого перегруза при подъеме $F_{экв}$=10,77·10^4 Н; W=20,6 кВт·ч.

3.87. $F_{экв}$=7,11·10^4 Н, с учетом допустимого перегруза при подъеме $F_{экв}$=8,44·10^4 Н; W=11,5 кВт·ч.

3.88. К=5,81; К’=1,46; К”=2,35.

3.89. $a_с$=2,93 м/с^2; $a_п$=4,14 м/с^2;$p_п$=0,48 МПа; $p_р$=0,653 МПа.

3.90. $m_{гр}$=950 кг; 10 плит. Не будет.

3.91. $К_р$=2,06; $a_с$=1,54 м/с^2; $a_п$=3,09 м/с^2.

3.92 $a_п$=3,87 м/с^2; $a_с$=1,89 м/с^2; $a_{пер}$=2,97 м/с^2; $a’_{пер}$=2,89 м/с^2; $М_т$=460,7 кН·м; $М_1$=412 кН·м; $m_{гр}$=1431 кг; n=58; F=103,5 мм; $p_п$=0,224 МПа; $p_р$=0,46 МПа.

3.93. $М_т$=182,3 кН·м; F=112,7 мм; $p_п$=0,207 МПа; $p_р$=0,5 МПа.

3.94. $Т_{1п}$=397,4 кН; $Т_{2п}$=335,3 кН; $Т_{1с}$=$Т_{1п}$·$Т_{2с}$=$Т_{2п}$; $Т_{1пер}$=$Т_{2п}$; $Т_{2пер}$=309,1 кН; $Т’_{1пер}$=342,5 кН; $Т’_{2пер}$=302 кН; $a_п$=3,49 м/с^2; $a_с$=2,34 м/с^2; $a_{пер}$=3,2 м/с^2; $a’_{пер}$=2,65 м/с^2.

3.95. $М_1$=344,8 кН·м; $М_т$=303 кН·м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К.* Справочник энергетика угольной шахты. — М.: Недра, 1983.

2. *Повышение* эффективности шахтных пневматических установок: Руководящий технический материал РТМ 0204007 — 86. — Донецк: Министерство угольной промышленности СССР, ВНИИГМ им. М.М.Федорова, 1986.

3. *Правила* безопасности в угольных и сланцевых шахтах. — М.: Недра, 1986.

4. *Правила* технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. — М.: Недра, 1976.

5. *Руководство* по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок / В.Р. Бежок, Б.Н. Чайка, Н.Ф. Кузьменко и др. — М.: Недра, 1982.

6. *Хаджиков Р.Н., Бутаков С.А.* Горная механика. — М.: Недра, 1982.

7. *Шахтные* вентиляторные установки главного проветривания. Справочник/ Г.А. Бабак, К.П. Бочаров, А.Т. Волохов и др. — М.: Недра, 1982.

Приложение 1

Насос	Число ступеней насоса	Оптимальная подача, $м^3/с$	Напор одного рабочего колеса $H_к$, м	Рабочая часть характеристики, $м^3/ч$	К.п.д.	Синхронная частота вращения двигателя, $с^{-1}$	$H_{в\ доп}$ при температуре воды 25 ^oC	Напор одного рабочего колеса при нулевой подаче $H_{к.о}$, м	Коэффициенты	
									$A \cdot 10^{-2}$	$B \cdot 10^{-4}$
ЦНСК 500-160÷800	2-10	500	80	380-640	0,73	1500	4,5	81,3	2,413	0,5514
ЦНС 300-120÷600	2-10	300	60	220-380	0,71	1500	5	66,9	4,01	2,21
ЦНС 300-650÷1040	5-8	300	130	220-380	0,76	3000	-2	132,5	14,48	5,104
ЦНС 180-500÷900	5-9	180	100	130-220	0,72	3000	5	105,0	9,913	7,012
ЦНС 180-85÷425	2-10	180	42,5	130-220	0,7	1500	5	47,4	6,9	5,3
ЦНС 105-98÷490	2-10	105	49	80-130	0,68	3000	4,5	53,5	16,81	20,08
ЦНС 60-66÷330	2-10	60	33	50-80	0,7	3000	6	40,4	5,157	28,75
ЦНС 60-50÷250	2-10	60	25	50-80	0,63	1500	6	27,6	7,701	19,94
ЦНС 38-44÷220	2-10	38	22	28-50	0,69	3000	6	27,0	16,88	78,79

Приложение 2

Трубы стальные бесшовные горячедеформированные (ГОСТ 8732—78)

Наружный диаметр, мм	Линейная плотность труб (кг/м) при толщине стенки, мм												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	17	18
95	8,98	11,10	13,17	15,19	17,16	19,09	20,96	22,79	24,56	27,97	31,17	32,70	34,18
102	9,67	11,96	14,21	16,40	18,55	20,64	22,69	24,69	26,63	30,38	33,93	35,64	37,29
108	10,26	12,70	15,09	17,44	19,73	21,97	24,17	26,31	28,41	32,46	36,30	38,15	39,95
114	10,85	13,44	15,98	18,47	20,91	23,31	25,65	27,94	30,19	34,53	38,67	40,67	42,62
121	11,54	14,30	17,02	19,68	22,29	24,86	27,37	29,84	32,26	36,94	41,63	43,60	45,72
127	12,13	15,04	17,90	20,72	23,48	26,19	28,85	31,47	34,03	39,01	43,80	46,12	48,39
133	12,73	15,78	18,79	21,75	24,66	27,52	30,33	33,10	35,81	41,09	46,17	48,63	51,05
140	-	16,65	19,83	22,96	26,06	29,08	32,06	35,00	37,88	43,50	48,93	51,57	54,16
146	-	17,39	20,72	24,00	27,23	30,41	33,54	36,62	39,66	45,57	51,30	54,08	56,82
152	-	18,13	21,60	25,03	28,41	31,74	35,02	38,25	41,43	47,65	53,66	56,60	59,48
159	-	18,99	22,64	26,24	29,79	33,29	36,75	40,15	43,50	50,06	56,43	59,53	62,59
168	-	20,10	23,97	27,79	31,57	35,29	38,97	42,59	46,17	53,17	59,98	63,31	66,59
180	-	21,58	25,75	29,87	33,93	37,95	41,93	45,85	49,72	57,31	64,71	68,34	71,91
194	-	23,31	27,82	32,28	36,70	41,06	45,38	49,64	53,86	62,15	70,24	74,21	48,13
203	-	-	29,15	33,84	38,47	43,06	47,60	52,09	56,52	65,25	73,79	77,98	82,12
219	-	-	31,52	36,60	41,63	46,61	51,54	56,43	61,26	70,78	70,10	84,69	89,23
245	-	-	-	41,09	46,76	52,38	57,95	63,48	68,95	79,76	90,36	95,59	100,77
273	-	-	-	45,92	52,28	58,60	64,86	71,07	77,24	89,42	101,41	107,33	113,20
299	-	-	-	-	57,41	64,37	71,27	78,13	84,93	98,40	111,67	118,23	124,74
325	-	-	-	-	62,54	70,14	77,68	85,18	92,63	107,38	121,93	129,13	136,28
351	-	-	-	-	67,67	75,91	84,10	92,23	100,32	116,35	132,19	140,03	147,82
377	-	-	-	-	-	81,68	90,51	99,29	108,02	125,33	142,45	150,93	159,36
402	-	-	-	-	-	87,23	96,67	106,07	115,42	133,96	152,31	161,41	170,46
426	-	-	-	-	-	92,56	102,59	112,58	122,52	142,25	161,78	171,47	181,11
450	-	-	-	-	-	97,88	108,51	119,09	129,62	150,53	171,25	181,53	191,77

Приложение 3

Данные о потребителях сжатого воздуха

Наименование механизма	Тип механизма	Расход воздуха $V_п$, $м^3$/мин							
			$к_{из}$	$к_д$	$к_з$	$к_п$	$к_в$	$к_{01}$	$к_{02}$
Щитовые агрегаты Комбайны	АЩ, АЩМ	96	1,00	0,80	0,80	0,80	1,00	0,64	0
	Темп, КТ	48	1,00	0,70	0,75	0,80	1,00	0,52	0
	Поиск-2	42	1,00	0,70	0,75	0,80	1,00	0,52	0
Отбойные молотки Бурильные молотки Маслостанции	МО 6П	1,1	1,15	0,75	1,00	0,70	0,75	0,62	0,14
	ПР 27	4,3	1,15	0,80	1,00	0,80	0,36	0,33	0,20
	СНУ-5п	42	1,10	0,80	0,45	0,80	0,75	0,30	0,03
	УН-35	14	1,10	0,80	1,00	0,80	0,20	0,18	0,12
Породопогрузочные машины	ППН-1С	20	1,10	0,75	0,27	0,80	0,32	0,07	0,01
	ППН-3П	35	1,10	0,75	0,27	0,80	0,32	0,07	0,01
	1П ПН-5П	55	1,10	0,75	0,27	0,80	0,32	0,07	0,01
Лебедки:									
комбайновая	1ЛГКН	21	1,10	0,80	0,60	0,60	1,00	0,53	0
вспомогательные	ШВП	21	1,15	0,90	0,80	0,60	0,10	0,08	0,06
	ШМП-14								
маневровые	ЛПР-3	14	1,15	0,90	0,80	0,60	0,10	0,08	0,06
	ЛВП-23								
	ЛВП-13	7,2	1,15	0,90	0,80	0,60	0,10	0,08	0,06
	ВМП-4	32	1,15	0,90	0,80	0,60	0,10	0,08	0,06
Вентиляторы	ВМП-5	5,0	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	0,80	0
	ВМП-6	8,0	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	0,80	0
	БГА	20,0	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	0,80	0
Буровые установки	1БУ1	18	1,10	0,85	0,85	0,50	0,50	0,40	0,16
	Стрела 77	10	1,10	0,85	0,85	0,50	0,50	0,40	0,16
		48	1,10	0,85	0,85	0,50	0,50	0,40	0,16

Приложение 4

Технические характеристики некоторых унифицированных неопрокидных клетей

Клеть	Ширина в свету мм	Собственная масса клети, кг	Масса полезного поднимаемого груза, кг	Тип вагонетки
1УКН 1,55-1	960	1520	2100	ВГ-0,8
2УКН 1,55-1	960	2445	4200	ВГ-0,8
1УКН 1,9-2	960	2200	2500	ВГ-1,1
2УКН 1,9-2	960	3320	5000	ВГ-1,1
1УКН 2,55-3	1020	2810	3000	ВГ-1,3
2УКН 2,55-2	1020	4090	6000	ВГ-1,4
1УКН 3,3-2	1000	2990	3600	ВГ-1,3
2УКН 3,3-3	1000	5700	7200	ВГ-1,4
1УКН 3,6-3	1400	3480	5200	ВГ-1,6
2УКН 3,6-2	1400	6930	10400	ВГ-1,6
1УКН 4-2	1476	5080	6600	ВГ-2,5
1УКН 4-3	1476	5000	6600	ВГ-2,5
2УКН 4-3	1476	8474	13200	ВГ-3,3
1УКН4-4	1476	6300	6600	ВГ-3,3
2УКН 4-4	1476	9600	13200	ВГ-3,3

Примечание. В шифре клети первая цифра – число этажей клети; УК – унифицированная клеть; Н – неопрокидная; вторая цифра – длина клети по раме, м; шифры после дефиса: 1 – проводники деревянные, 2 – то же, рельсовые двусторонние, 3 – то же, односторонние, 4 – клеть с прицепным устройством для уравновешивающего каната.

Приложение 5

Технические характеристики скипов с неподвижныи (неопрокидным) кузовом

Скип	Грузоподъемность, т		Масса скипа вместе с подвесным устройством, т	Затвор	Размеры скипа в плане, мм	
	Уголь	Порода			длина	ширина
2СН4-1	3,3	5,3	-	Секторный	1700	1350
2СН5-1	4,2	6,7	-	То же Клапанный	1850	1540
3СН5-1	-	6,7	7,17	То же	1400	1700
3СН5-2	-	6,7	10,6	Секторный	1400	1700
2СН7-1	5,6	9,0	7,54	То же	1850	1540
2СН9,5-1	8,5	13,6	8,46	-“-	1850	1540
2СН9,5-2	8,5	13,6	13,4	Клапанный	1850	1700
3СН9,5-1	-	13,6	9,84	То же	1400	1700
3СН9,5-2	-	13,6	14,4	-“-	1400	1700
3СН11-1	-	15	11,3	-“-	1600	1700
3СН11-2	-	15	14,9	Секторный	1600	1540
1СН11-1	9,3	15	8,9	То же	1850	1540
1СН11-2	9,3	15	13,9	-“-	1850	1740
5СН11-1	9,3	-	8,62	-“-	2230	1740
5СН11-2	9,3	-	-	-“-	2230	1740
2СН15-1	13	-	10,8	-“-	2230	1740
2СН15-2	13	-	16,7	-“-	2230	1700
1СН15-2	-	21	-	Клапанный	1600	1740
1СН20-1	17,5	-	11,9	Секторный	2230	1740
1СН20-2	17,5	-	16,6	Секторный	2230	2200
3СН20-2	17,5	-	17,8	То же	2800	1900
1СН25-2	21	-	21,2	-“-	2350	2200
2СН25-2	21	-	20,9	-“-	2800	1900
1СН35-2	30	-	26,7	-“-	2350	1900
2СН35-2	30	-	25,7	-“-	2800	2200

Примечание. В шифре скипа первая цифра – порядковый номер типоразмера; СН – скип с неподвижным (неопрокидным) кузовом; далее объем скипа ($м^3$) и после дефиса: 1 – одноканатный подъем; 2 – многоканатный подъем.

Приложение 6

Данные некоторых стандартных подъемных круглопрядных канатов

Тип и конструкция каната	Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм^2	Расчетная масса 1000 м смазанного каната, кг	Маркировочная группа по временному сопротивлению разрыву, н/мм^2				
				1470	1568	1666	1764	1862
				Суммарное разрывное усилие всех проволок в канате, Н				
	22,5	188,50	1854,0	277000	295500	314000	332500	350500
	24	216,42	2132,0	318000	339000	360500	381500	402500
	25,5	246,27	2426,0	362000	386000	410000	434000	458500
	27,5	278,10	2739,0	408500	436000	463000	490500	517500
	29	311,77	3071,0	458000	488500	519000	549500	580500
	32	382,52	3768,0	562000	599500	637000	674500	712000
	35,5	463,20	4562,5	680500	726000	771500	817000	860000
	38,5	548,71	5405,0	806500	860000	914000	967500	1020000
	42	644,55	6349,0	947000	1010000	1070000	1135000	1200000
	45	751,01	7397,5	1100000	1175000	1250000	1320000	1395000
	48,5	862,51	8496,0	1265000	1350000	1435000	1520000	1605000
	33	420,96	4156,0	618500	660000	701000	742500	783500
	36,5	503,09	4965,0	739500	788500	838000	887000	936500
	39,5	615,95	6080,0	905000	965500	1025000	1085000	1145000
	43	717,18	7120,0	1050000	1120000	1190000	1265000	1335000
	46,5	850,76	8400,0	1250000	1330000	1415000	1500000	1580000
	50,5	1006,85	9940,0	1480000	1575000	1675000	1775000	1870000
	53,5	1131,96	11150,0	1660000	1770000	18850000	1995000	2105000
	56,0	1219,89	12050,0	1790000	1910000	2030000	2150000	-
	58,5	1314,56	13000,0	1930000	2060000	2190000	2315000	-
	60,5	1446,74	14250,0	2125000	2265000	2410000	2550000	-
	63,0	1538,92	15200,0	2260000	2410000	2560000	2710000	-

Примечание: 1. Канаты, разрывное усилие которых указано справа от линии, изготавливают из проволоки без покрытия. По согласованию с потребителем допускается изготовление канатов из оцинкованной проволоки. 2. Сведения о канатах ЛК-3 и ЛК-РО даны соответственно по ГОСТ 7665-80 и ГОСТ 7668-80.

Приложение 7

Данные некоторых стандартных плоских канатов

Размеры каната, мм		Расчетная площадь сечения всех проволок, мм^2	Расчетная масса 1000 м смазанного каната, кг	Маркировочная группа по временному сопротивлению разрыву, Н/мм^2				
ширина	толщина			1470	1568	1666	1764	1862
				Суммарное разрывное усилие всех проволок в канате, Н				
95	15,5	458,66	4530	647000	719000	764000	809000	871000
107	17,5	579,31	5720	851500	908000	965000	1020000	1075000
119	19,5	714,0	7050	1045000	1115000	1185000	1255000	1325000
124	20	579,05	6050	851000	907500	964500	1020000	1075000
139	22,5	732,87	7690	1075000	1145000	1220000	1290000	1360000
145	23,5	816,56	8560	1200000	1280000	1360000	1440000	1520000
154	25	904,75	9430	1325000	1415000	1505000	1595000	1680000
170	27,5	1094,77	11500	1605000	1715000	1820000	1930000	2035000
186	30	1302,88	13610	1915000	2040000	2170000	2295000	2425000

Примечания. 1. Канаты, разрывное усилие которых указано справа от жирной линии, изготавливаются из проволоки без покрытия. По согласованию с потребителем допускается изготовление канатов из оцинкованной проволоки. 2. Сведения о плоских канатах даны по ГОСТ 3091-80 и 3092-80.

Приложение 8

Технические характеристики двухбарабанных подъемных машин с цилиндрическими барабанами НКМЗ

Параметры	Тип машины						
	2Ц-4х 1,8	2Ц-4х 2,3	2Ц-5х 2,8	2Ц-5х 2,4	2Ц-6х 2,4	2Ц-6х 2,8	2Ц-6х2, 8У
Максимальное статическое натяжение ветви каната на барабане, кГ	220	250	280	560	320	360	560
Максимальная разности статических натяжений канатов, кН	160	160	210	400	240	270	400
Максимальный диаметр каната, мм	50	50	53,5	53,5	63	63	63
Максимальная скорость, м/с	12	14	16	14	16	16	16
Динамический момент инерции машины приведенный к тихоходному валу, без редуктора и электродвигателя, т·м^2	360	500	1000	4400	2000	2500	6400

Приложение 9

Технические характеристики однообарабанных подъемных машин с разрезными цилиндрическими барабанами НКМЗ

Параметры	Тип машины			
	ЦР-4х3/0,7	ЦР-5х3/0,6	ЦР-6х3/0,6	«Р-6х3,4/0,6
Максимальное статическое натяжение ветви каната на барабане, кН	250	280	320	360
Максимальная разность статических натяжений канатов, кН	160	210	240	270
Максимальный диаметр каната, мм	50	53	63	63
Максимальная скорость, м/с	12	14	16	16
Динамический момент инерции машины, приведенный к тихоходному валу, без редуктора и электродвигателя, $т/м^3$	300	680	1200	1400

Приложение 10

Технические характеристики многоканатных подъемных машин Донецкого машиностроительного завода им. Ленинского комсомола Украины (ДМЗ им. ЛКУ)

Параметры	Машины						
	ЦШ 2,1х4	МК 2,25х4	МК 3,25х4	ЦШ 4х4 МК 4х4	ЦШ 5х4	МК 5х4	ЦШ 5х8
Максимальное статическое натяжение ветви каната, КН	265	340	500	800(770)	1450	1200	2150
Максимальная разность статических натяжений канатов, кН	80	120	32,5	250	350	250	500
Максимальный диаметр каната, мм	27	28	32,5	40	50	50	50
Максимальная скорость подъема, м/с	11	12	14	14	16	16	16
Расстояние между канатами на канатоведущем шкиве, мм	250	250	300	300	300	300	300
Динамический момент инерции машин без редуктора и электродвигателей, т·м^2	22	30	74	210(192)	625	500	1100
Высота подъема, м	1200	1200	1200	1000	1600	1600	1600

Примечание. Данные в скобках относятся к машине МК 4х4

Приложение 11

Технические характеристики редуктора подъемных машин

Редуктор	Передаточное число	Максимальный крутящий момент на ведомом валу, кН·м	Допустимая чатота вращения ведущего вала об/мин	Динамический момент инерции редуктора, т·м^2	Типоразмер машин, с которыми применяются редукторы
2ЦО-18	10,5	320; 280	500	91; 98	2Ц-4х1,8
2 ЦОН-18	11,5	(360; 320)			2Ц-4х2,3
					ЦР-4х3/0,7
ЦД-20	20	380	650	100	2Ц-4х1,8
ЦДН-20					2Ц-4х2,3
2ЦО-22	10,5	270; 480	500	250; 280	2Ц-5х2,4
2ЦОН-2 2	11,5	(750; 700)			2Ц-6х2,4
					2Ц-6х2,8
					ЦР-5х3/0,6
					ЦР-6х3/0,6
					БЦК-9/5х2, 5
2ЦД-14	6; 7,35; 10,5; 11,5	200	750	12; 18; 24; 26	ЦШ 2,1х4
					МК 2,25х4
2ЦД-17	7,35; 10,5; 11,5	540	600	42,7; 49,5; 66,4	МК 3,25х4
					МК 4х4
					ЦШ 4х4
2ЦД-20	7,35; 10,5; 11,5	300; 360; 360	600	91; 133; 157	МК 4х4
					ЦШ 4х4

Примечания. 1. В шифрах редукторов: Ц – цилиндрический; О – одноступенчатый; Д – двухступенчатый; Н – зацепление Новикова; число после буквенного обозначения – межцентровое расстояние между осями быстроходного и тихоходного валов (см; дм); цифра 2 перед буквенным обозначением – двухприводный редуктор. 2. При двухдвигательном приводе значения крутящих моментов удваивают. 3. Данные в скобках – для редукторов ЦОН.

Приведены задачи по вентиляторным, водоотливным, пневматическим и подъемным установкам горной промышленности. В каждом разделе даны

основные теоретические положения, расчетные формулы и пояснения к ним, краткие справочные данные, числовые примеры решения задач. Часть задач имеет подробные решения, ко всем остальным приведены ответы.

Для учащихся горных техникумов, обучающихся по специальностям “Подземная разработка рудных и нерудных месторождений" и “Горная электромеханика

Учебное издание

Сергей Валерьевич Белов
Валентин Яковлевич Потапов
Алексей Владимирович Долганов
Петр Андреевич Костюк

СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Учебное пособие
по дисциплинам: «Стационарные машины», «Горные машины и оборудование», «Грузоподъемные машины и механизмы», «Насосы и компрессоры»
для выполнения контрольных и расчетно-графических работ студентов направлений: специалитета 21.05.04 – Горное дело, бакалавриата 15.03.02 – Технологические машины и оборудование
всех форм обучения

Редактор *В. В. Баклаева*

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60 × 84 1/16
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе
Печ. л. 10,375. Уч.-изд. л. 9,27. Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Потапов В. Я., Белов С. В., Макаров Н. В., Горшкова Э. М.

КОНСТРУКЦИИ НАСОСОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных и практических работ для студентов специальностей 21.04.05 Горное дело, 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета
″19_″____апреля__2019 г.
Председатель комиссии
_____доц. В. П. Барановский

КОНСТРУКЦИИ НАСОСОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных и практических работ для студентов специальностей 21.04.05 Горное дело, 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Рецензент: Н.М.Суслов, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «УГГУ»

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры горной механики «_18 _» _апреля_ 2019 г. (протокол №_179) и рекомендованы для переиздания в УГГУ

Потапов В. Я., Белов С. В., Макаров Н. В., Горшкова Э. М.
КОНСТРУКЦИИ НАСОСОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ: Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных и практических работ для студентов специальностей 21.04.05 «Горное дело», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»/ Потапов В. Я., Белов С. В., Тимухин С. А., Макаров Н. В., Горшкова Э. М. - Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2019.-70 с.

Учебно-методическое пособие содержит необходимые материалы для самостоятельного изучения студентами специальности 21.04.05 «Горное дело» конструкций насосов и вентиляторов, применяемых в горнодобывающей промышленности, их классификацию и обозначение, а также вопросы для самопроверки.

Потапов В. Я., Белов С. В.,
Макаров Н. В., Горшкова Э. М., 2019
© Уральский государственный
горный университет

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 6

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ 6

НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ 7

К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМЫ 7

Ц-15 8

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ИЗУЧЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ И ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ 9

Принципиальные схемы и устройство вентиляторов 10

Различия центробежных и осевых вентиляторов 13

Вопросы для самопроверки 13

3.3. Конструктивные элементы шахтных центробежных вентиляторов главного проветривания 14

3.4. Конструктивные элементы шахтных осевых вентиляторов главного проветривания 19

3.6. Устройство и конструктивные элементы осевых одноступенчатых вентиляторов 24

3.5. Устройство и конструктивные элементы шахтных вентиляторов местного проветривания 32

3.5.1. Шахтные осевые вентиляторы местного проветривания с электроприводом 39

3.5.2. Шахтные осевые вентиляторы местного проветривания с пневмоприводом 41

3.5.3. Шахтные центробежные вентиляторы местного проветривания (рис. 8,б). 42

НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЕ НАСОСОВ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМЫ 49

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ИЗУЧЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ 52
Основные конструктивные элементы 52
Особенности конструкций центробежных насосов серии К, Д, ЦНС 66
Винтовые насосы 1В20/10, 1В20/5 и 1В6/5 76
Станок-качалка 82
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 90

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в развитии добывающей промышленности и обеспечении жизнедеятельности горнодобывающих предприятий играют насосные и вентиляторные установки. От их работы существенно зависят безопасность и санитарные условия труда трудящихся. Вот почему в своей практической деятельности инженеру часто приходится сталкиваться с вопросами, связанными с эксплуатацией вентиляторов и насосов. При изучении дисциплин ″Гидравлика, гидро- и пневмопривод″, ″Стационарные машины″, ″Горные машины и оборудование″ студенты наряду с теоретическими основами дисциплины должны изучить конструкции вентиляторов и насосов. Это поможет им в значительной мере углубить и конкретизировать теоретические представления и подготовиться к решению различного рода практических задач, связанных с вопросами транспортирования жидкостей и газов в промышленности.

Лабораторный практикум предназначен для ознакомления с основными конструктивными и аэрогидродинамическими схемами насосов и вентиляторов, методикой их изучения и правилами оформления отчетов по результатам выполненных работ. Цель каждой лабораторной работы определена ее названием.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ

Тема лабораторной работы на каждое занятие объявляется студентам заблаговременно.

До прихода в лабораторию студент обязан ознакомиться с содержанием и методикой выполнения лабораторной работы.

Лабораторная работа выполняется студентом индивидуально с оформлением отчета в электронном виде. Отчет содержит название и цель работы, назначение и описание конструкций устройств, эскизы устройств или ксерокопию.

К выполнению следующей лабораторной работы студент допускается только после представления отчета по предыдущей работе.

Отчеты защищаются в индивидуальном порядке, в форме беседы с преподавателем. Перечень основных контрольных вопросов приводится в тексте. По результатам собеседования выставляется оценка в журнале, которая учитывается при сдаче экзамена.

НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМЫ

Следует помнить, что вентилятором называется машина, предназначенная для транспорта воздуха и других газов и создающая приращение полного давления до 12500 Па.

Необходимо знать, что по назначению шахтные вентиляторы подразделяются на: вентиляторы главного проветривания, предназначенные для проветривания всех выработок шахты, ее блока или крыла, за исключением отдельных тупиковых выработок; вспомогательные вентиляторы, предназначенные для проветривания стволов и капитальных выработок при строительстве шахт, а также отдельных участков шахтной вентиляционной сети и камер околоствольного двора при эксплуатации шахт; вентиляторы местного проветривания, предназначенные для проветривания отдельных тупиковых выработок. Эти вентиляторы отличаются друг от друга своими размерами, подачей и мощностью, а вентиляторы местного проветривания – от первых групп и своей конструкцией.

Студенты должны знать, что в зависимости от типа рабочего колеса и характера протекания через него воздушного потока вентиляторы в свою очередь можно подразделить на центробежные (радиальные) и осевые. Оба вида машин обеспечивают непрерывное равномерное перемещение воздуха.

Серьезное внимание необходимо обратить на номенклатуру выпускаемых в настоящее время заводами шахтных вентиляторов (классификация и соответствующая ей номенклатура приведены на рис. 1).

Рис.1. Классификация и номенклатура шахтных вентиляторов

Буквы перед цифрами в обозначениях (шифрах) вентиляторов означают:

<u>у центробежных:</u>

У– установка

В – вентилятор,

Ц – центробежный,

Д – двухстороннего всасывания,

М – местного проветривания;

Г – газоотсасывающие.

<u>осевые вентиляторы:</u>

В – вентилятор,

О – осевой,

Д – двухступенчатый,

М – местного проветривания,

П – с пневматическим приводом.

Цифры в обозначениях вентиляторов означают:

- у вентиляторов главного проветривания и вспомогательных – диаметр рабочего колеса в дециметрах;

- у вентиляторов местного проветривания – диаметр нагнетательного патрубка в дециметрах.

Буквы в обозначениях после цифр означают:

М – модернизированный,

У – узкое колесо,

А – в северном исполнении,

П – с полимерными лопатками рабочих колес.

При заказе вентилятора на заводе в его обозначении дополнительно указывается исполнение по способу регулирования, климатическое исполнение и категория размещения. Так, например, обозначение ВЦ-25МНУХЛ3 означает: центробежный вентилятор одностороннего всасывания с диаметром рабочего колеса 2,5 м, модернизированный (М), регулируемый поворотом лопаток НА(Н), предназначенный для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатом (УХЛ) и размещения в закрытых помещениях без искусственного регулирования климатических условий (3).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ИЗУЧЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ И ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Прежде чем приступить к изучению конструкций шахтных вентиляторов и их элементов, следует повторить лекционный материал, относящийся к лопастным машинам (схемы и основные элементы их проточных частей, назначение последних, принципиальные различия центробежных (радиальных и осевых) машин). После этого следует ознакомиться с назначением и классификацией, а также номенклатурой и обозначениями шахтных вентиляторов.

Изучение конструкций вентиляторов следует начинать в аудитории по данному пособию и имеющимся в нем чертежам общих видов вентиляторов и их элементов. Закрепив полученные сведения ответами на вопросы для самопроверки, студенты переходят в лабораторию и изучают устройство вентиляторов и вентиляторных установок по имеющимся там плакатам и натурным образцам вентиляторов и их элементов.

В конце занятия студенты отвечают на контрольные вопросы преподавателя по теме лабораторного занятия и получают по нему зачет.

Принципиальные схемы и устройство вентиляторов

Как центробежные, так и осевые вентиляторы относятся к одному классу – лопастных машин (турбомашин), имеют единый принцип действия и ряд общих элементов. Характерными элементами любой лопастной машины, в том числе и вентиляторов, являются подвод, рабочее колесо (одно или несколько), отвод, вал, подшипники, уплотнения.

На рис. 2 приведены принципиальные схемы центробежных и осевых вентиляторов, применяемых в угольной и горнорудной промышленности. Путь движения воздуха через эти вентиляторы показан на схемах стрелками.

Центробежные (радиальные) вентиляторы по своей аэродинамической и конструктивной схеме подразделяются на вентиляторы одностороннего (рис. 2,а) и двухстороннего (рис. 2,б) всасывания. В первом случае воздух подходит к вентилятору и его рабочему колесу с одной стороны, а во втором - с двух. При прочих равных условиях вентиляторы двухстороннего всасывания имеют подачу большую, чем одностороннего.

Подвод центробежных вентиляторов представляет собой конический сходящийся или коноидальный патрубок (коллектор) 1, в котором происходит «поджатие» потока и тем самым обеспечивается более равномерное распределение скоростей по сечению на входе в рабочее колесо. Элементом подвода большинства шахтных центробежных вентиляторов является также лопаточный направляющий аппарат (НА) 2 с поворотными лопатками. Наконец, у центробежных вентиляторов двухстороннего всасывания (и некоторых вентиляторов одностороннего всасывания) элементом подвода являются также входные коробки 6.

Рабочее колесо 5 центробежного вентилятора одностороннего всасывания (рис. 2,а) состоит из переднего (покрывного) 5,а и заднего (коренного) 5,в дисков, между которыми закреплены сильно загнутые назад лопатки 5,б крылового профиля; ступицы 5,г, к которым крепится диск, а у некоторых вентиляторов и обтекателя,

закрывающего ступицу и обеспечивающего плавный поворот воздушного потока из осевого направления в радиальное. У вентиляторов двухстороннего всасывания (рис. 2,б) всех перечисленных элементов (за исключением ступицы и коренного диска) в два раза больше и расположены они симметрично по обе стороны коренного диска.

Лопатки на рабочем колесе установлены таким образом, что набегающая на поток утолщенная кромка («носик») располагается на меньшем радиусе (во входном сечении), а хвостовая часть – на большем радиусе (в выходном сечении). Угол наклона лопаток на выходе β_2, являющийся характерным параметром аэродинамической схемы вентилятора, у современных шахтных центробежных вентиляторов составляет 25-30^0.

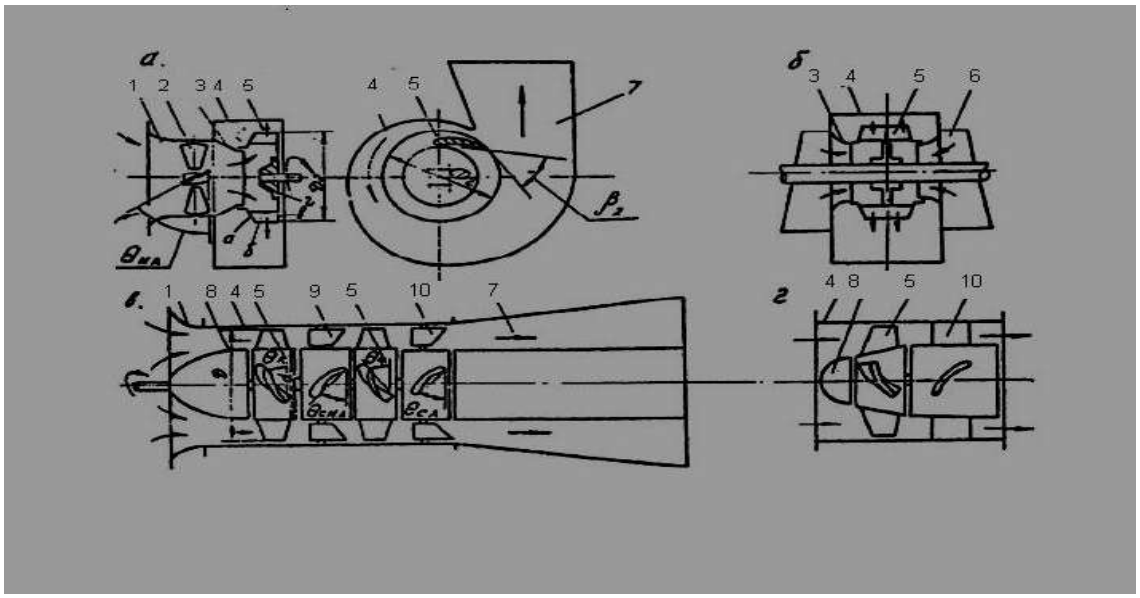


Рис. 2. Принципиальные схемы шахтных вентиляторов:
а – центробежного одностороннего всасывания;
б – центробежного двухстороннего всасывания;
в – осевого двухступенчатого;
г – осевого одноступенчатого с мередиально ускоренным потоком.

Отвод центробежных вентиляторов представляет собой спиральный корпус 4 и следующий за ним диффузор 7, имеющий форму усеченной пирамиды. Здесь происходит уменьшение скорости и повышение статического давления воздушного потока.

Осевые вентиляторы по своей аэродинамической и конструктивной схеме подразделяются на одноступенчатые и многоступенчатые. В шахтной практике для главного и

вспомогательного проветривания применяются обычно двухступенчатые вентиляторы (рис. 2,в), а для местного проветривания – одноступенчатые (рис. 2,г). При прочих равных условиях двухступенчатые вентиляторы создают большее давление, чем одноступенчатые.

Подводом осевых вентиляторов являются коллектор 1 (плавное закругление на входе) и передний обтекатель (кок) 8, обеспечивающие «поджатие» потока и более равномерное поле скоростей на выходе в рабочее колесо. Элементом подвода у некоторых осевых вентиляторов местного проветривания является также лопаточный направляющий аппарат, установленный перед входом в рабочее колесо.

Рабочее колесо 5 осевых вентиляторов представляет собой цилиндрическую втулку**, на которой через равные промежутки укреплены крученые лопатки крылового профиля, расположенные под некоторым углом $\Theta_к$ к направлению вращения рабочего колеса. Лопатки устанавливаются на втулке таким образом, чтобы они двигались вперед уплощенной кромкой («носиком») и набегали на воздух вогнутой стороной профильной части. У вентиляторов главного проветривания лопатки могут поворачиваться во втулке ($\Theta_к$ =15-45^0 на среднем радиусе), а в вентиляторах местного проветривания они закреплены неподвижно. Воздух движется через ометаемое кольцевое пространство между цилиндрическим корпусом 4 и втулкой в осевом направлении.

Элементами отвода осевых вентиляторов являются лопаточный спрямляющий аппарат (СА) 10, служащий для раскручивания воздушного потока, а у вентиляторов главного проветривания и диффузор 7 кольцевой формы, в котором происходит уменьшение скорости и повышение статического давления воздушного потока. В двухступенчатых осевых вентиляторах (рис. 1,в) между рабочими колесами установлен промежуточный спрямляюще-направляющий аппарат (СНА) 9, аналогичный по своему устройству и назначению СА.

* У осевых вентиляторов с меридиональным ускорением потока (рис. 1,г), применяемых для местного проветривания шахт, втулка рабочего колеса имеет форму усеченного конуса, что позволяет при одинаковых диаметрах и окружных скоростях рабочих колес получить большее давление в одной ступени, чем в осевых вентиляторах, имеющих рабочее колесо с цилиндрической втулкой.

Различия центробежных и осевых вентиляторов

Тип рабочего колеса лопастной машины определяет не только конструкцию, но и ее свойства. Поэтому наряду с общностью принципа действия центробежные и осевые вентиляторы имеют как конструктивные так и принципиальные отличия, к которым относятся:

1. Различия аэродинамических форм и конструкций подводов, рабочих колес и отводов.

2. Различие в направлении воздушного потока в вентиляторах: в центробежных – воздушный поток на входе в рабочее колесо направлен вдоль оси, в рабочем колесе он изменяет свое направление из осевого в радиальное на выходе из рабочего колеса, а также в отводе движется в плоскости, нормальной оси вентилятора; в осевых – воздушный поток движется вдоль оси вентилятора как в подводе, так и в рабочем колесе и отводе.

3. Различие в направлении воздушного потока при реверсировании ротора: при изменении направления вращения рабочих колес у тех и других вентиляторов происходит снижение подачи и давления, однако в центробежных вентиляторах направление воздушного потока не изменяется (воздух поступает через подвод в рабочее колесо, а оттуда в отвод), а в осевых вентиляторах направление воздушного потока меняется на обратное (воздух поступает через отвод в рабочее колесо, а оттуда в подвод) т.е. здесь происходит реверсирование воздушной струи.

4. Различие в аэродинамических характеристиках. Различие в основных показателях: при одинаковых диаметрах рабочих колес (в расчета на одно колесо одностороннего всасывания) и их окружных скоростях центробежные вентиляторы имеют меньшие подачи, но развивают большие давления, чем осевые вентиляторы; в то же время шум при работе осевых вентиляторов в этих условиях больше, чем у центробежных.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение вентилятора.
2. Каково назначение подвода, рабочего колеса и отвода вентилятора?

3. Как подразделяются вентиляторы по форме рабочего колеса и характеру движения через него воздуха?
4. Начертите принципиальную схему центробежного вентилятора и укажите на ней его основные элементы и их назначение.
5. Как устроен подвод у центробежных вентиляторов, какие элементы в него входят?
6. Как устроено рабочее колесо центробежного вентилятора?
7. Как устроен отвод центробежных вентиляторов, какие элементы в него входят?
8. Начертите принципиальную схему осевого вентилятора и укажите на ней его основные элементы и их назначение.
9. Как устроен подвод у осевых вентиляторов, какие элементы в него входят?
10. Как устроено рабочее колесо осевых вентиляторов?
11. Как устроен отвод осевых вентиляторов, какие элементы в него входят?
12. Какое различие между вентилятором одностороннего и двухстороннего всасывания?
13. Какие принципиальные различия между центробежными и осевыми вентиляторами?
14. Объясните значения букв и цифр в обозначениях вентиляторов: ВЦД-47,5У, ВОД-21М, ВМП-5, ВМЦ-8.

3.3. Конструктивные элементы шахтных центробежных вентиляторов главного проветривания

Ниже в качестве примера приведено описание устройства шахтного центробежного вентилятора ВЦ-31,5М и конструкции его основных элементов. Другие вентиляторы имеют аналогичное устройство и конструктивные элементы.

Шахтный центробежный вентилятор одностороннего всасывания ВЦ-31,5М (рис. 3) состоит из рабочего колеса 7, вала 3, подшипниковых опор 1 и 8, соединительной муфты 10, корпуса (кожуха) 6, входной коробки 2, входного патрубка 5, направляющего аппарата 4, устройства для одновременного поворота лопаток НА и привода этого устройства. На рис. 3 показаны также электродвигатель 11, датчик скорости 9, которые являются элементами вентиляторной установки.

Корпус (кожух) 6 вентилятора имеет форму спирали постоянной ширины и состоит из двух половин: верхней, представляющей собой сварную конструкцию из листовой и сортовой стали, и нижнюю, выполненную из бетона и являющуюся одновременно фундаментом.

Входная коробка 2, служащая для подвода воздуха из канала к входному патрубку вентилятора, также состоит из двух половин: верхней металлической и нижней, выполненной в бетоне.

Места выхода вала из кожуха и коробки уплотнены фланцами и резиновыми кольцами.

Входной патрубок 5, служащий для подвода воздуха от НА к рабочему колесу, представляет собой металлическую трубу с двумя фланцами, имеющую форму усеченного конуса. Фланец большего диаметра предназначен для крепления входного патрубка к корпусу, а меньшего – для крепления лабиринтного кольца, которое входит в лабиринтное кольцо рабочего колеса и образует лабиринтное уплотнение с равномерным кольцевым зазором порядка 5 мм между вращающимися и неподвижными элементами вентилятора.

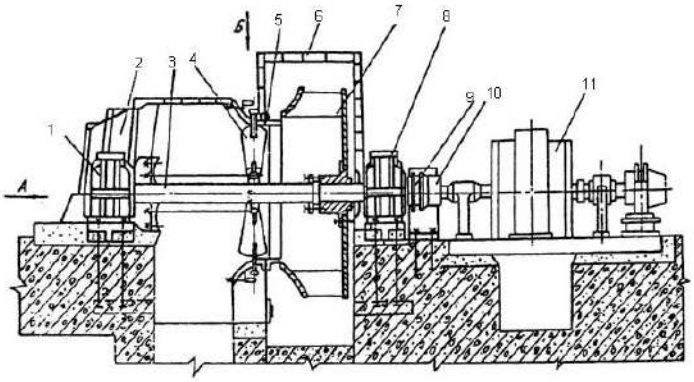


Рис.3. Общий вид вентилятора

На рис. 3 приведен общий вид ротора ВЦ-31,5М и его основные элементы: рабочее колесо 4, вал 9, зубчатая муфта 1, радиальная 2, радиально-упорная 10, подшипниковые опоры.

Рис. Модель центробежного вентилятора ВЦ-31,5

Рабочее колесо состоит из переднего (покрывного) диска 7 конической формы и плоского заднего (коренного) диска 5, между которыми с помощью сварки укреплены через равные промежутки восемь профильных загнутых назад лопаток 6 ступицы 3, на которой на болтах крепится коренной диск 5; лабиринтного кольца 8, укрепленного на переднем диске 7 при входе в рабочее колесо и служащего для обеспечения равномерного минимального зазора (порядка 5 мм) между колесом и входным патрубком, а также придания рабочему колесу большей жесткости.

Ступица 3 рабочего колеса насажена на шейку вала 9 и удерживается от проворота шпонкой 12, а от осевого смещения – гайкой 11, которая навинчивается на вал.

Лопатки рабочего колеса (рис. 4,II) пустотелые крылового профиля сварной конструкции. Каждая лопатка состоит из обечаек (верхней и нижней), носика и хвостовика. Для большей жесткости во внутреннем пространстве лопаток к обечайкам приварены лонжероны.*

* У некоторых шахтных вентиляторов это пространство вместо лонжеронов заполняется вспененным в нем пенопластом, который после затвердения связывает обечайки в единое целое.

Вал 9 вентилятора представляет собой стальную поковку, имеющую посадочные шейки под ступицу рабочего колеса, подшипники и втулку соединительной муфты.

Соединительная муфта 1, предназначенная для соединения валов вентилятора и электродвигателя, в ВЦ-31,5М принята зубчатая двухстороннего зацепления (рис. 4,I). Она состоит из двух зубчатых втулок 13 и 16 с наружными зубьями и двух зубчатых полумуфт 14 и 15 с внутренними зубьями; полумуфты соединяются между собой болтами с гайками. Для предупреждения утечки смазки из полости муфты последняя закрыта с обеих сторон торцевыми крышками 17 с манжетными уплотнениями.

Вентилятор ВЦ-31,5М имеет две подшипниковые опоры (рис. 4), воспринимающие как радиальную, так и осевую нагрузки. Конструктивно они выполнены примерно одинаково.

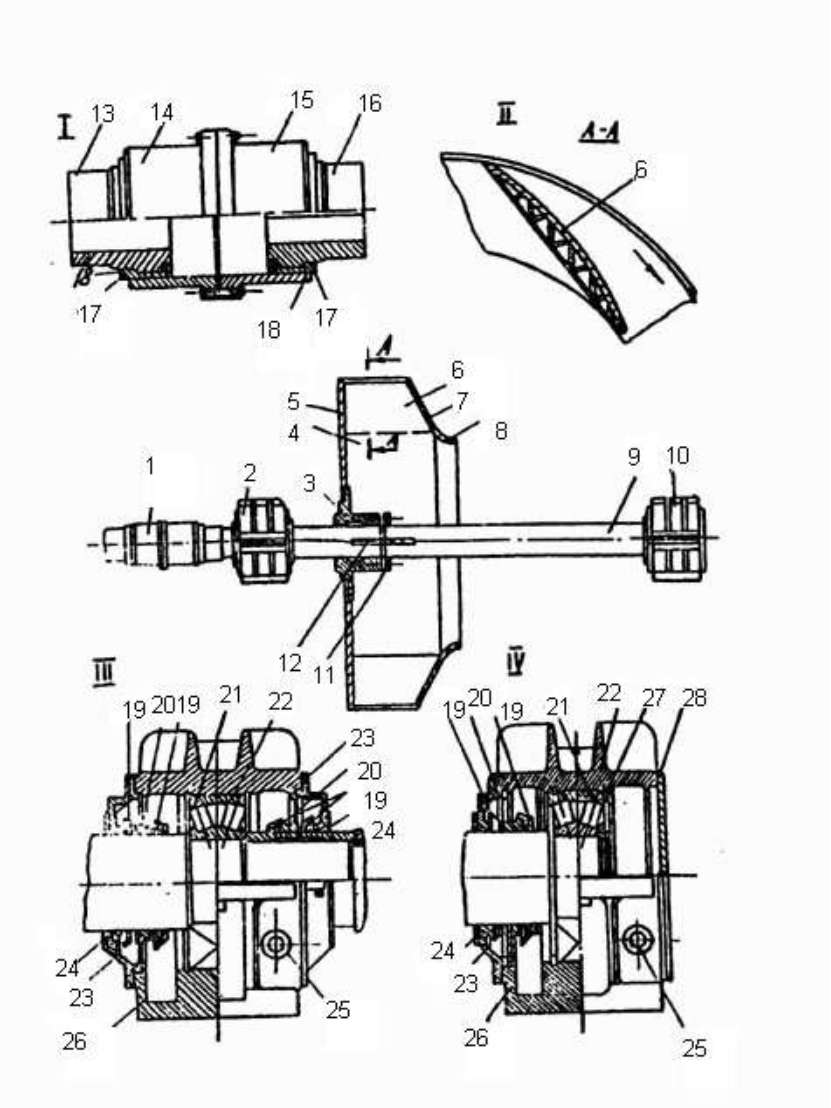


Рис.4. Ротор вентилятора ВЦ-31,5М и его элементы.

Каждая из этих опор (рис. 4,III,IV) имеет литой корпус с разъемом в горизонтальной плоскости, состоящий из двух половин: верхней (крышки) 21 и нижней (основания) 26, двухрядный сферический подшипник 22, торцовые крышки 23 и 28, манжетные уплотнения 24, маслосбрасывающее кольцо 19, диафрагму 20. В радиально-упорной подшипниковой опоре (рис. 4,IV) подшипник зафиксирован от осевого перемещения опорными кольцами 27, а в радиальном (рис. 4,III) подшипник является «плавающим», имеет возможность при работе вентилятора несколько перемещаться относительно корпуса в осевом направлении.

Смазка подшипников – жидкая циркуляционная и осуществляется с помощью маслостанции.

В корпусах подшипниковых опор имеются отверстия для подвода (в верхних их частях) масла, установки термодатчиков, а также магнитных патронов, служащих для отбора случайно попавших в масло металлических включений. Для визуального наблюдения за уровнем масла в корпусе предусмотрено смотровое стекло 25 с делениями.

Направляющий аппарат 4 (см. рис. 3), предназначенный для регулирования режима работы вентилятора и снижения пусковых нагрузок электродвигателя при его включении, расположен между коробкой 2 и входным патрубком 5 вентилятора. Он состоит из разъемного в горизонтальной плоскости цилиндрического корпуса, десяти плоских лопаток трапецеидальной формы с двумя хвостовиками (цапфами) на концах, входящими в стаканы, расположенные в корпусе и в кольцевой ступице, охватывающей с небольшим кольцевым зазором вал вентилятора. Концы хвостовиков лопаток, проходящих через корпус, имеют небольшие барабаны, связанные канатами с приводящим кольцом механизма одновременного поворота лопаток, который в свою очередь связан с приводом НА, имеющим как ручное, так и дистанционное управление.

Для определения фактического угла установки лопаток НА на его корпусе установлена стрелка, а на приводящем кольце – шкала. Концевые выключатели, установленные на корпусе НА, ограничивают крайние положения (углы поворота лопаток $\Theta_{НА}$): 90^0

$(0^0)^*$ - лопатки полностью открыты, т.е. расположены в плоскости вдоль оси НА; и 0^0 (90^0) – лопатки полностью закрыты, т.е. расположены в плоскости, перпендикулярной оси НА.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные конструктивные элементы центробежного вентилятора.
2. Как устроены корпус (кожух) и входная коробка вентилятора и каково их назначение?
3. Какие элементы вентилятора образуют его ротор?
4. Как устроено рабочее колесо вентилятора?
5. Для чего предназначена соединительная муфта и как она устроена?
6. Какие подшипниковые опоры имеет вентилятор, как они устроены и чем отличаются друг от друга?
7. Для чего предназначен направляющий аппарат и как он устроен?

3.4. Конструктивные элементы шахтных осевых вентиляторов главного проветривания

Ниже в качестве примера приведено описание устройства шахтного осевого вентилятора ВОД-40М и конструкции основных его элементов. Другие осевые вентиляторы (ВОД-21М, ВОД-30М, ВОД-50) имеют аналогичные устройства и конструктивные элементы.

Шахтный осевой двухступенчатый вентилятор главного проветривания ВОД-40М (рис. 5) состоит из двух рабочих колес 9, коренного 10 и трансмиссионного 4 валов, радиальной 8 и радиально-упорной 13 подшипниковых опор, двух соединительных муфт 1, коллектора 6, переднего обтекателя (кока) 5, цилиндрического корпуса 7, спрямляющего аппарата (СА) 11, промежуточного спрямляющего аппарата (СНА) 12. На рис. 5 кроме того показаны тормоз 2, датчик скорости 3, кольцевой диффузор 14, маслостанция 15, которые являются элементами вентиляторной установки.

* Здесь без скобок указаны $\Theta_{НА}$, отсчитываемые в соответствии с ГОСТ 5976-73, а в скобках - $\Theta_{НА}$, принятые до сих пор в заводских инструкциях и проектных материалах.

Передний обтекатель (кок) 5 и коллектор 6, являющиеся элементами подвода и служащие для обеспечения плавного подвода воздушного потока к первому колесу, выполнены сварными из листовой и сортовой стали и имеют разъем в горизонтальной плоскости по оси вентилятора.

Корпус (кожух) 7 вентилятора, имеющий в сборе форму цилиндра, выполнен сварным из листовой и сортовой стали и состоит из четырех продольных секций, соединенных между собой продольными фланцами и болтами с гайками. Нижняя секция имеет опорные стойки под подшипниковые опоры и основание в виде лап для установки и крепления на фундаменте с помощью фундаментальных болтов. В каждой секции встроены поворотные лопатки СНА и СА, причем в боковых секциях по четыре лопатки, а в нижней и в верхней – по три. В корпусе имеются люки для осмотра, съема и поворота лопаток рабочих колес. Зазор между концами лопаток рабочих колес и внутренней

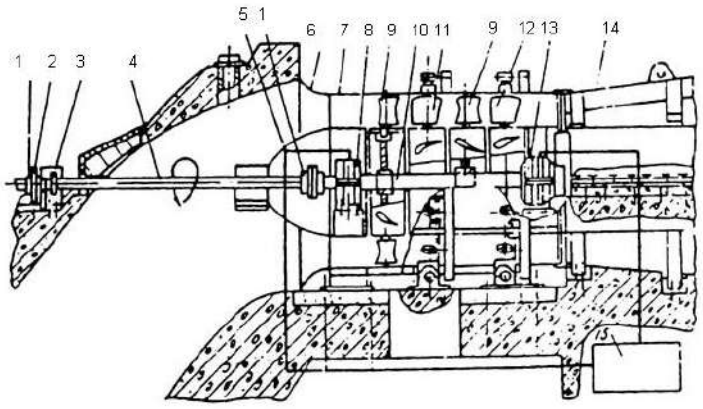


Рис. 5. Общий вид вентилятора ВОД – 40М

поверхностью корпуса должен находиться в пределах 0,7-1,5 % от длины лопаток.

На рис. 6 приведен общий вид ротора и его основные элементы: рабочие колеса первой 4 и второй 8 ступеней; коренной вал 2; радиальная 1 и радиально-упорная 9 подшипниковые опоры.

Рабочее колесо вентилятора 4, 8 (рис. 6) имеет литую цилиндрическую втулку (обод) 6, в гнездах которой через равные

промежутки закреплены двенадцать лопаток 7, центральный диск 5 и ступица 3. Ступица напрессовывается на шейку коренного вала 2 и удерживается от проворота шпонкой 10, а от осевого смещения – гайкой 11, которая навинчивается на вал.

Лопатка рабочего колеса состоит из рабочей (профильной) части и стержня, при помощи которого она крепится к втулке. Профильная часть лопатки выполняется пустотелой из листовой стали толщиной 2-3 мм, сварной по кромке острого угла.. Для предохранения лопатки от истирания угольной и породной пылью, содержащейся в шахтном воздухе, в набегающей на поток передней части лопатки установлен «носик» – литой стальной крученый стержень, приваренный к листам обшивки. Сверху и снизу к обшивке привариваются донышки, предохраняющие от попадания внутрь лопатки пыли и влаги, а в средней части – ребро 4 для большей жесткости.

Крепление обшивки профильной части к стержню производится заклепками, расклепанными впотай с двух сторон. Для этого отверстия в стержне раззенковываются, а обшивка выштамповывается по зенковке.

Для обеспечения постоянства давления по кольцевому сечению, ометаемому лопатками, профильная часть выполняется закрученной по длине (угол крутки порядка 20^0), а также несколько сужающейся в средней части.

Лопатки крепятся в гнезде втулки (см. место 1 на рис. 6) с помощью разрезного упорного кольца 14, входящего в кольцевую канавку на хвостовике стержня и закрепленного надетым на него цельным кольцом 13, которое удерживается планкой 12 и болтами 18. Детали крепления лопатки герметически закрыты кожухом 17 и крышкой 15 от попадания влаги и пыли. От поворота лопатка стопорится винтом 16, конический конец которого входит в углубление на втулке.

Регулирование вентилятора осуществляется вручную при остановленном роторе путем поворота всех лопаток каждой ступени на одинаковый угол в диапазоне $15\text{-}45^0$, (рис. 6, А-А). Деления в градусах нанесены на ободе 6 каждой ступени.

Коренной вал 10 (рис. 5) вентилятора представляет собой стальную поковку, имеющую посадочные шейки под ступицы рабочих колес, подшипники и втулки соединительной муфты.

Трансмиссионный вал 4 (рис. 5), служащий для передачи вращающего момента от вала электродвигателя ротору вентилятора,

также представляет собой стальную поковку с посадочными шейками под втулки соединительных муфт 1 и датчик скорости 3.

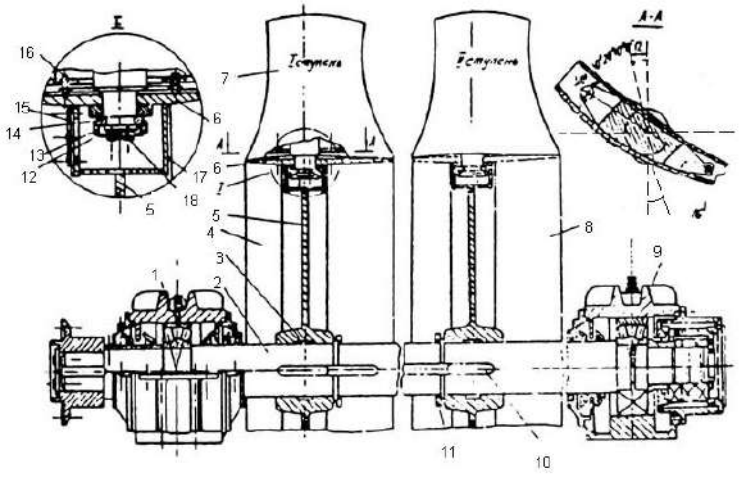


Рис. 6. Ротор вентилятора ВОД – 40М

Соединительные муфты 1 (рис. 5), предназначенные для соединения трансмиссионного вала 4 с валом электродвигателя и коренным валом 10 вентилятора, представляют собой зубчатые муфты одностороннего зацепления, аналогичные по своему устройству соединительной муфте ВЦ-31,5М. Втулка муфты, насаживаемой на вал электродвигателя, служит одновременно тормозным шкивом, к которому прижимаются при торможении колодки тормоза.

Вентилятор ВОД-40М имеет две подшипниковые опоры (рис. 6): радиальную 1 и радиально-упорную 9. Радиальная опора полностью унифицирована с такой же опорой вентиляторов ВЦ-31,5М и ВЦД-5М31,5М (см. выше). В радиально-упорной опоре также унифицированы основные элементы за исключением дополнительного элемента – строенного упорного шарикоподшипника, который для самоустановки снабжен с двух сторон сферическими опорными кольцами.

Спрямляюще-направляющий аппарат (СНА) и спрямляющий аппарат (СА) вентилятора ВОД-40М состоят из четырнадцати пустотелых профилированных лопаток, расположенных в кольцевом пространстве между корпусом вентилятора и внутренней обечайкой, и механизма для одновременного поворота лопаток.

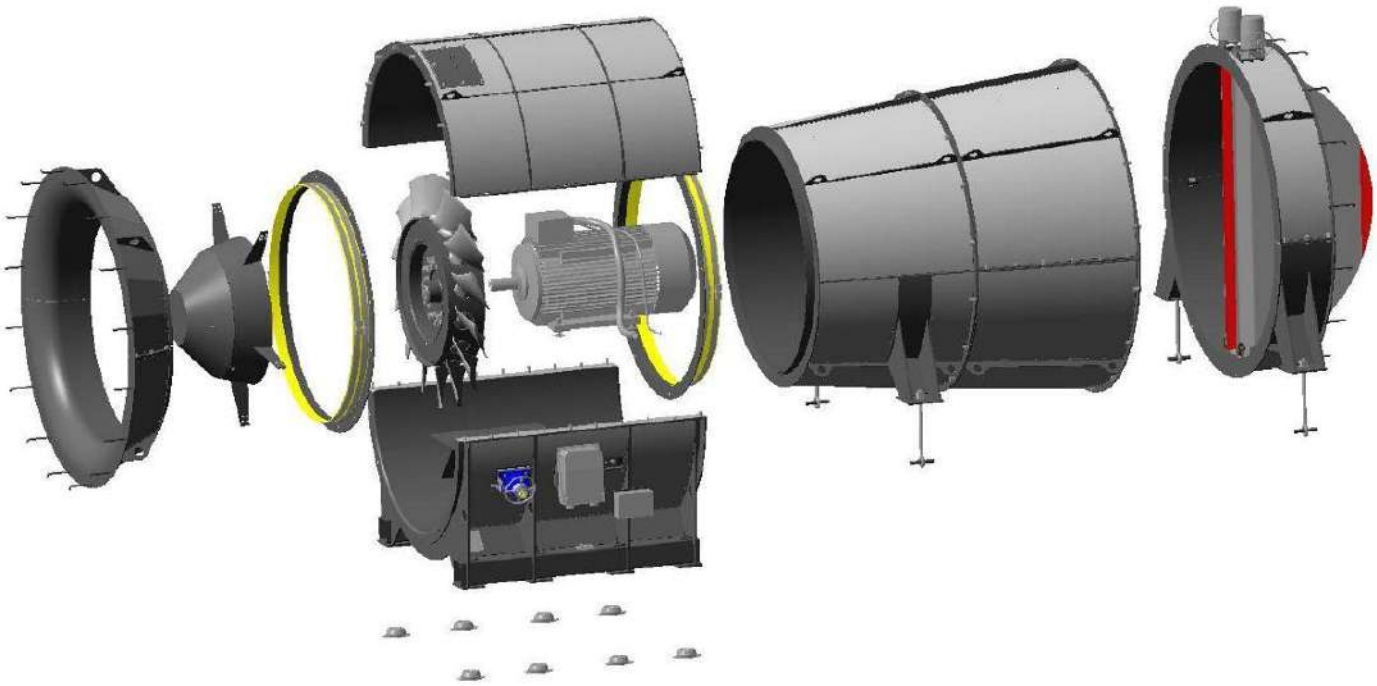
Внутренняя обечайка крепится к корпусу с помощью растяжек. На ее цилиндрической поверхности имеется четырнадцать отверстий, в каждом из которых закреплена цапфа с шаровой поверхностью, входящая во втулку лопатки. С другой стороны к лопатке приварена втулка, в которую на шпонке устанавливается валик стойки приводного барабана, вращающийся в подшипнике. Барабан охватывается канатом, концы которого посредством регулируемых стяжек крепятся к приводному кольцу, установленному на поддерживающих роликах вокруг корпуса вентилятора. Поворот кольца осуществляется с помощью привода, имеющего как ручное, так и дистанционное управление.

При регулировании с целью уменьшения подачи воздуха и снижения потребляемой мощности лопатки СНА могут устанавливаться в пределах от 75 до 35 градусов. Углы установок лопаток СНА 75, 35 и 85 градусов и углы установки лопаток СА 75 и 105 градусов фиксируются концевыми выключателями, а промежуточные углы между 75 и 35 градусами при регулировании концевыми выключателями не фиксируются и могут быть получены непосредственно по шкале, имеющейся на вентиляторе.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные конструктивные элементы осевого вентилятора.
2. Для какой цели на входе в осевой вентилятор установлены коллектор и передний обтекатель (кок)?
3. Какие элементы вентилятора образуют его ротор?
4. В чем заключается различие соединительных муфт вентиляторов ВОД-40М и ВЦ-31,5М?
5. Как устроено рабочее колесо осевого вентилятора?
6. Как устроена лопатка рабочего колеса и как она крепится на его втулке?
7. В чем заключается различие подшипниковых опор вентиляторов ВОД-40М и ВЦ-31,5М?
8. Для чего бывает необходим поворот лопаток СНА и СА осевого вентилятора и как он осуществляется?

3.6. Устройство и конструктивные элементы осевых одноступенчатых вентиляторов



Нереверсивные высоконапорные осевые одноступенчатые вентиляторы серии "Аэровент-ВО-А" размерного ряда В0-12А, В0-14А, ВО-16А, ВО-18А, ВО-21 А (вентилятор осевой - диаметр рабочего колеса в дм • реверсивный) предназначены для широкого промышленного применения в реверсивных системах вентиляции, в том числе, для проветривания закрытых и действующих шахт, рудников, метрополитенов и тоннелей с диапазоном подачи воздуха 5-145 м3/с и статическим давлением 100-2500 Па.

Вентилятор в базовом исполнении состоит из роторной группы 1, включающей вал на подшипниковых опорах и рабочее колесо с поворотными лопатками, корпуса 2, входной коробки 5, которая может занимать различные технологические обходимые положения, диффузора 6, кока 4, соединительной муфты 8, тормоза 9, рамы 3 и электродвигателя 7. Подшипниковые опоры ротора располагаются соответственно в корпусе 2 вентилятора внутри кока 4 и на раме 3, на которой также расположен электродвигатель 7. Предусмотрены модификации вентиляторов, которые дополнительно оснащаются противосрывными устройствами и/или специальными направляющими аппаратами(НА) с поворотными закрылками.

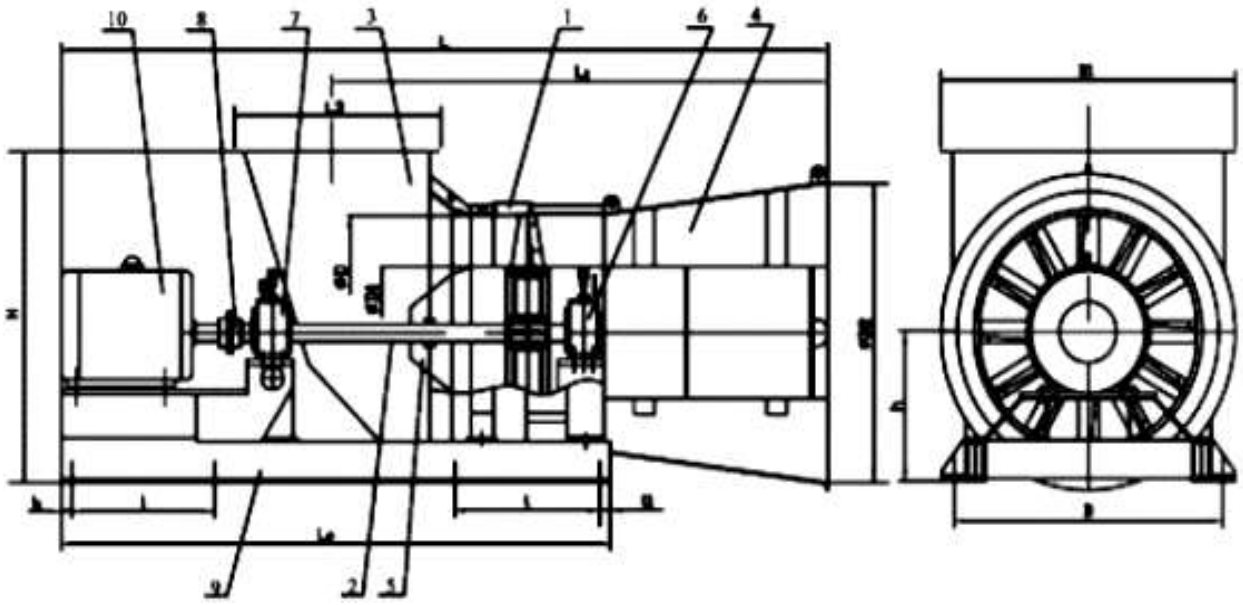


Рис. 7. Конструктивная схема вентилятора серии «Аэровент-ВО»:
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – входная коробка; 4 – диффузор; 5 – кок; 6 - опора радиально-упорная; 8 – муфта; 9 – раба; 10 - электродвигатель

Особенности конструкции вентиляторов:

- вентиляторы построены на базе модификаций специальной реверсивной аэродинамической схемы "Аэровент - AV72-090Tw" высокой быстроходности, обеспечивающей достижение полного КПД вентилятора со входной коробкой и диффузором на уровне 87 – 90 % в зависимости от втулочного типаразмера;
- роторная группа и лопаточная система рабочего колеса каждого типоразмера вентилятора оптимизированы методами конечно-элементного прочностного и частотного анализа, в том числе , динамического, с тщательной отстройкой собственных частот колебаний конструкции от частоты вынуждающей нагрузки и её кратностей;
- одноступенчатое исполнение вентилятора без подвесного промежуточного вала и размещение системы вентилятор-электродвигатель на общей раме повышают эксплуатационную надежность установки;
- регулирование режима работы вентиляторов осуществляется путем изменения угла установки лопаток рабочего колеса при остановленном вентиляторе (базовое исполнение) или на ходу,

поворотом закрылков НА с помощью электромеханического привода, (сочетание этих двух способов обеспечивает наиболее высокую эффективность регулирования);

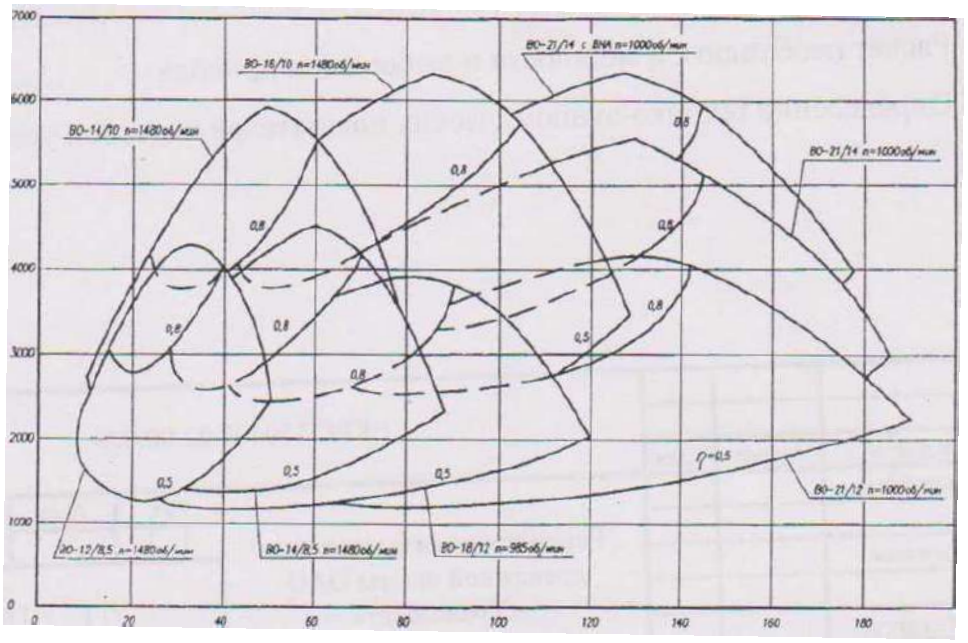
- применение регулируемых направляющих аппаратов позволяет улучшить реверсивные качества и повысить максимальное давление вентилятора на 15-20% по сравнению с базовым исполнением без снижения достигнутого уровня КПД;

Таблица №

Технические характеристик нереверсивных осевых вентиляторов серии "Аэровент-ВО"

Показатели	Типоразмер вентиляторов серии «Аэровент-ВО»						
	ВО 12/8,5	ВО 14/8,5	ВО 14/10	ВО 16/10	ВО 1 8/12	ВО 21/12	ВО 21/14
Диаметр ротора вентилятора, мм	1200	1400	1400	1600	1800	2100	2100
Диаметр втулки рабочего колеса, мм	850	850	1000	1000	1200	1200	1400
Частота вращения ротора, мин^{1}	1500	1500	1500	1500	1000	1000	1000
Номинальные параметры вентилятора в базовом исполнении:							
- подача, м^3/с	27	45	45	65	65	100	100
- полное давление, Па	3700	3800	5000	5000	3450	3700	4750
- полный КПД,%	88	90	88	90	89	90	89
Номинальные параметры вентилятора, оснащённого ВНА:							
- подача, м^3/с	25	45	450	65	65	100	100
- полное давление, Па	4100	4250	5400	5400	3800	4100	5300
- полный К П Д, %	88	90	88	90	89	90	89
Мощность электропривода, кВт	160	315	400	630	500	800	1000
Масса вентилятора, т	3,5	5	5	6,5	8,5	11	11

Рабочие области осевых вентиляторов серии "Аэровент-ВО"



Реверсивные осевые одноступенчатые вентиляторы серии "Аэровент-ВО-А" размерного ряда В0-12А, В0-14А, ВО-16А, ВО-18А, ВО-21 А (вентилятор осевой - диаметр рабочего колеса в дм - реверсивный) предназначены для широкого промышленного применения в реверсивных системах вентиляции, в том числе, для проветривания закрытых и действующих шахт, рудников, метрополитенов и тоннелей с диапазоном подачи воздуха 5-145 м3/с и статическим давлением 100-2500 Па.

Вентилятор в базовом исполнении состоит из роторной группы 1, включающей вал на подшипниковых опорах и рабочее колесо с поворотными лопатками, корпуса 2, входной коробки 5, которая может занимать различные технологически необходимые положения, диффузора 6, кока 4, соединительной муфты 8, тормоза 9 , рамы 3 и электродвигателя 7. Подшипниковые опоры ротора располагаются соответственно в корпусе 2 вентилятора внутри кока 4 и на раме 3, на которой также расположен электродвигатель 7. Предусмотрены модификации вентиляторов, которые дополнительно оснащаются противосрывными устройствами и/или специальными направляющими аппаратами(НА) с поворотными закрылками.

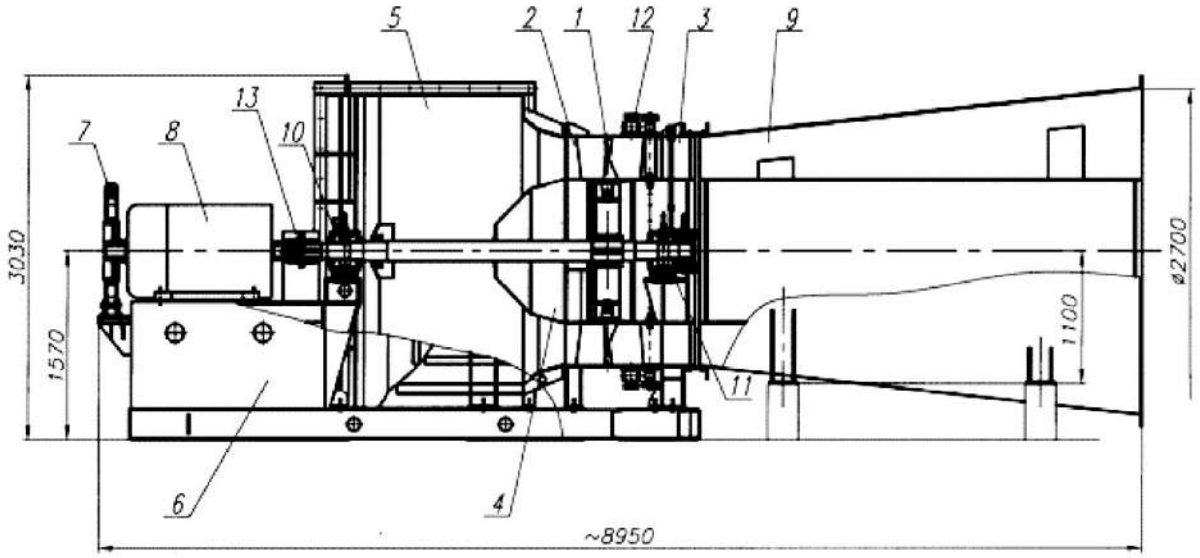


Рис. 8. Конструктивная схема вентилятора ВО-18/12АР серии «Аэровент-ВО»: 1 – ротор; 2 – корпус; 3 – лопатки спрямляющего аппарата неподвижные; 4 – кок; 5 – входная коробка; 6 – рама; 7 – тормоз; 8 – электродвигатель; 9 – диффузор; 10 – подшипниковая опора радиальная; 11 – подшипниковая опорарадиально-упорная; 12 – механизм поворота спрямляющего аппарата; 13 – муфта.

Особенности конструкции вентиляторов:

- вентиляторы построены на базе модификаций специальной реверсивной аэродинамической схемы "Аэровент - AV72-090Tw высокой быстроходности, обеспечивающей достижение полного КПД вентилятора со входной коробкой и диффузором на уровне 80%;
- переход вентилятора в реверсивный режим осуществляется путем изменения направления вращения ротора на обратное (при соответствующей перестановке закрылков в модификациях с НА) с соотношением подачи на номинальном режиме при прямом течении и реверсировании 80% и более;
- регулирование режима работы вентиляторов осуществляется путем изменения угла установки лопаток рабочего колеса при остановленном вентиляторе (базовое исполнение) или на ходу, поворотом закрылков НА с помощью электромеханического привода, (сочетание этих двух способов обеспечивает наиболее высокую эффективность регулирования);
- применение регулируемых направляющих аппаратов позволяет улучшить реверсивные качества и повысить максимальное давление

вентилятора на 15-20% по сравнению с базовым исполнением без снижения достигнутого уровня КПД;

- роторная группа и лопаточная система рабочего колеса каждого типоразмера вентилятора оптимизированы методами конечно-элементного прочностного и частотного анализа с тщательной отстройкой от резонансных режимов;
- размещение вентилятора и электродвигателя на общей раме без промежуточного вала повышает эксплуатационную надежность установки;
- модификации со специальными высокоэффективными противосрывными устройствами гарантируют стабильность аэродинамических характеристик вентиляторов в условиях вентиляционных сетей с переменными характеристиками.

Установки главного проветривания типа АВМ размерного ряда АВМ-12, АВМ-14, АВМ-16, АВМ-18, АВМ-21 с реверсивными вентиляторами серии "Аэровент-ВО-А" (обозначение типоразмера установки соответствует диаметру рабочего колеса вентилятора) предназначены для главного проветривания шахт и рудников, закрытых в режиме консервации, а также действующих предприятий с низким и средним уровнем общешахтной депрессии и могут быть использованы в других отраслях промышленности, системах вентиляции и технологических процессах, где необходимо проветривание с возможностью реверсирования воздушной струи до 80% и активным резервированием вентиляторов.

Конструктивно-технологическая схема установки типа АВМ

Установка типа АВМ состоит из двух вентиляторных блоков, каждый из которых включает осевой вентилятор 3 с диффузором и входной коробкой, установленные на общей раме с приводным ЭЛ' родвигателем, а также переключателя потока 2, содержащего

трёхпозиционную поворотную (относительно вертикальной оси) заслонку с электромеханическим приводом, подводящий канал 1 и объединенную выходную часть 4.

В зависимости от положения заслонки переключателя обеспечивается работа одного из двух вентиляторов при резервировании другого, либо отсечение установки от шахтной сети.

При прямой работе воздушный поток из подводящего канала 1 через переключатель 2 и входную коробку поступает в работающий вентилятор 3 и далее через диффузор и объединенную выходную часть 4 в атмосферу. При этом входная коробка резервного вентилятора запирается заслонкой переключателя 2.

Изменение направления подачи воздуха на обратное осуществляется путем перевода вентилятора в реверсивный режим.

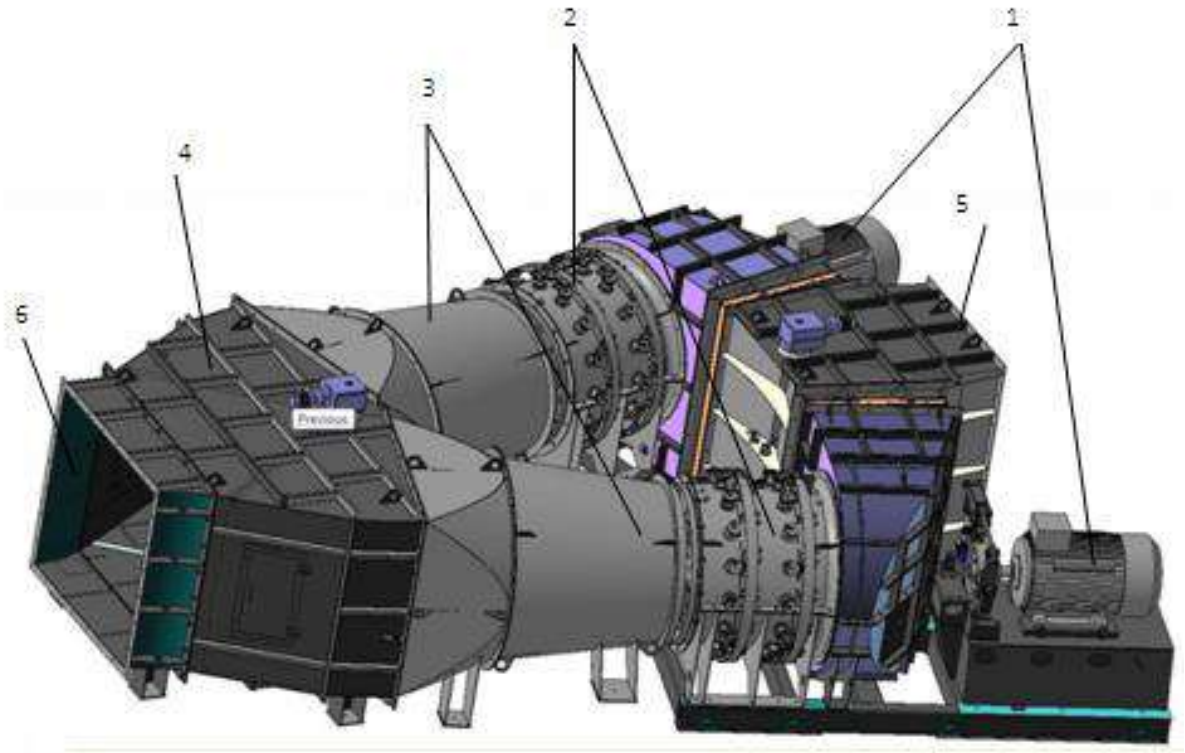


Рис. Принципиальная схема вентилятора главного проветривания серии АВМ с двумя осевыми вентиляторами и переключающимся устройством: 1 –электродвигатель; 2 – вентилятор ВО; 3 – диффузор вентилятора; 4 – переключающее устройство; 5 – входная коробка; 6 – выходной патрубок.

Типоразмер	L, м	B, м	H, м	h, м l
АВМ-12	5.60	5.0	2.02	1.05
АВМ-14	6.90	5.9	2.37	1,24
АВМ-16	7.14	6.2	2.78	1,38
АВМ-18	7.80	7.1	3.07	1,56
АВМ-21	9.85	8.5	3.46	1,79

Особенности конструкции установки:

- применение реверсивных вентиляторов позволило реализовать эффективную и предельно простую конструкцию вентиляторной установки, которая может использоваться как стационарная главного проветривания, так и в качестве вспомогательной, временной или передвижной;
- в результате специального аэродинамического проектирования потери статического давления в проточной части поворотного колена-заслонки переключателя потока, содержащего лопаточную систему для выравнивания потока, сведены к минимуму;
- элементы каждого из вентиляторных блоков устанавливаются на общей раме, что обеспечивает повышенную надежность работы системы «электродвигатель-вентилятор»;
- объединенная выходная часть установки гарантирует "необмерзаемость" при отрицательных температурах;
- специальная облицовка внутренней поверхности диффузоров и/или выходной части установки обеспечивает эффективное подавление шума;
- установки отличаются компактностью, повышенной эксплуатационной надежностью, удобством технического обслуживания и ремонта, минимальной стоимостью.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем заключается принципиальное различие компоновок вентиляторных установок с вентиляторами «Аэровент - ВО» (по сравнению с вентиляторами ВОД)?
2. Как осуществляется регулирование нереверсивных вентиляторов «Аэровент - ВО»?
3. Как осуществляется регулирование реверсивных вентиляторов «Аэровент- ВО- АР»?
4. Чем конструктивно отличаются рабочие колеса вентиляторов «Аэровент - ВО» от вентиляторов ВОД?
5. Какие преимущества рабочих колес со сдвоенными листовыми лопатками по сравнению с профильными (крыловидными)?
6. В чем заключается преимущества компоновочной схемы типа АВМ?
7. ВОД)?
8. Как осуществляется регулирование нереверсивных вентиляторов «Аэровент - ВО»?
9. Как осуществляется регулирование реверсивных вентиляторов «Аэровент- ВО- АР»?
10. Чем конструктивно отличаются рабочие колеса вентиляторов «Аэровент - ВО» от вентиляторов ВОД?
11. Какие преимущества рабочих колес со сдвоенными листовыми лопатками по сравнению с профильными (крыловидными)?
12. В чем заключается преимущества компоновочной схемы типа АВМ?

3.5. Устройство и конструктивные элементы шахтных вентиляторов местного проветривания

Ниже рассмотрены устройство и конструктивные элементы шахтных вентиляторов местного проветривания ВМ-6, ВМП-6 и

ВМЦ-8, имеющих наиболее широкое применение в шахтной практике.

3.5.1. Шахтные осевые вентиляторы местного проветривания с электроприводом

Вентилятор ВМ-6 (рис. 7) состоит из рабочего колеса 4, направляющего аппарата 2, спрямляющего аппарата 6, противосрывного устройства 3, корпуса 9, электродвигателя 7, кабельного ввода 8, переднего обтекателя (кока) 1, салазок 10, рым-скоб 5.

Рабочее колесо 4 имеет литую коническую втулку и семь профилированных крученых лопаток, выполненных из капроновой смолы, с залитой стальной арматурой и хвостовиком, с помощью которого лопатка крепится на втулке гайкой. Ступица РК насаживается непосредственно на вал электродвигателя 7.

Направляющий аппарат 2 состоит из корпуса и втулки, на которой расположено девять профильных эластичных (резиновых) лопаток, входные и выходные кромки которых армированы стальными пластинками. Внутри втулки имеется механизм для одновременного поворота выходных частей гибких лопаток (закрылков). Поворот их осуществляется с помощью ручки, одеваемой на конец валика механизма, выведенный наружу через отверстия в коке 1. Поворотом закрылков в пределах от $+40^0$ до -50^0 осуществляется регулирование режима работы вентилятора.

Спрямляющий аппарат 6 имеет двенадцать тонких стальных лопаток, приваренных у внутренней поверхности корпуса вентилятора и наружной поверхности цилиндрической втулки с фланцем, к которому болтами крепится специальный взрывобезопасный электродвигатель 7. Противосрывное устройство (воздушный сепаратор) 3, предназначенное для устранения глубоких впадин и даже разрывов характеристик осевых вентиляторов на левой от ″горба″ между цилиндрическим корпусом НА и установленной в этом корпусе цилиндрической обечайкой, диаметр которой равен диаметру рабочего колеса.

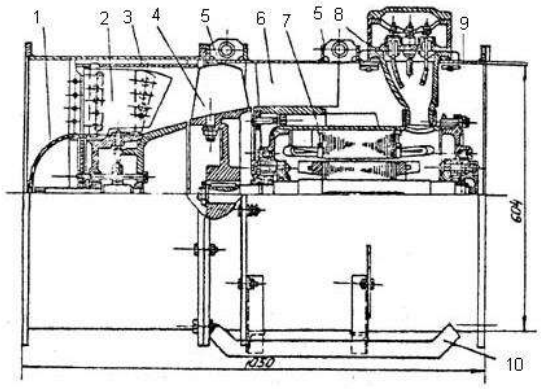


Рис. 7. Вентилятор местного проветривания ВМ – 6.

При нормальной работе рабочего вентилятора (в области больших подач) воздушный поток движется от всасывающего патрубка через решетку лопаток НА и частичное кольцевое пространство сепаратора на лопатки РК и далее к нагнетательному патрубку. При уменьшении подачи и переходе рабочего режима через ″горб″ характеристики влево на периферии лопаток РК возникают вихри. Под действием разности давлений эти вихри перетекают во входное сечение рабочего колеса и при отсутствии сепаратора снова проходят через межлопаточное пространство РК, загромождая его и уменьшая тем самым расход всасываемого воздуха. При наличии сепаратора обратный поток проходит через его кольцевое пространство и только во входном сечении вентилятора поворачивает и, смешиваясь с основным потоком воздуха, проходит через решетку лопаток НА и попадает равномерно на лопатки РК. Благодаря такому отводу завихрений части потока нарастание и развитие зон срыва по мере уменьшения подачи прекращается и все связанные с ним вредные явления (в том числе и образование впадин и разрывов на характеристиках вентилятора) устраняются.

Для перемещения вентилятора по почве служат салазки 10, а для подвешивания его к кровле выработки – рым-скобы 5.

Вентиляторы ВМ-4 и ВМ-12 устроены аналогично ВМ-6, но ВМ-4 НА имеет неподвижно установленные стальные лопатки, а ВМ-12 НА имеет усовершенствованный механизм поворота, валик которого выходит не через кок, а через корпус НА, что удобнее в эксплуатации.

3.5.2. Шахтные осевые вентиляторы местного проветривания с пневмоприводом

Вентилятор ВМП-6 (рис. 8, а) состоит из рабочего колеса 6 с турбинным приводом 5, вала 11 с подшипниками, пластин-растяжек 2, передней 3 и задней 8 половин корпуса, спрямляющего аппарата 7, противосрывного устройства 4, коробки с соплами 9, салазок 10, рым-скоб.

Рабочее колесо 6 имеет коническую втулку, к которой приварены семь крученых стальных лопаток с ободом на их периферии. В пазу обода установлены капроновые лопатки турбины активного типа 5, которая вращается в пространстве между фланцами передней 2 и задней 8 половин корпуса. Ступица рабочего колеса насаживается на конец вала 11 и удерживается от проскальзывания шпонкой, а от осевого смещения – гайкой.

Вал 11 опирается на два шарикоподшипника, размещенных во втулке, которая находится внутри переднего обтекателя и крепится к передней половине корпуса 2 с помощью пластин-растяжек 3, через пластины пропущены кольца, образующие решетку на входе в вентилятор.

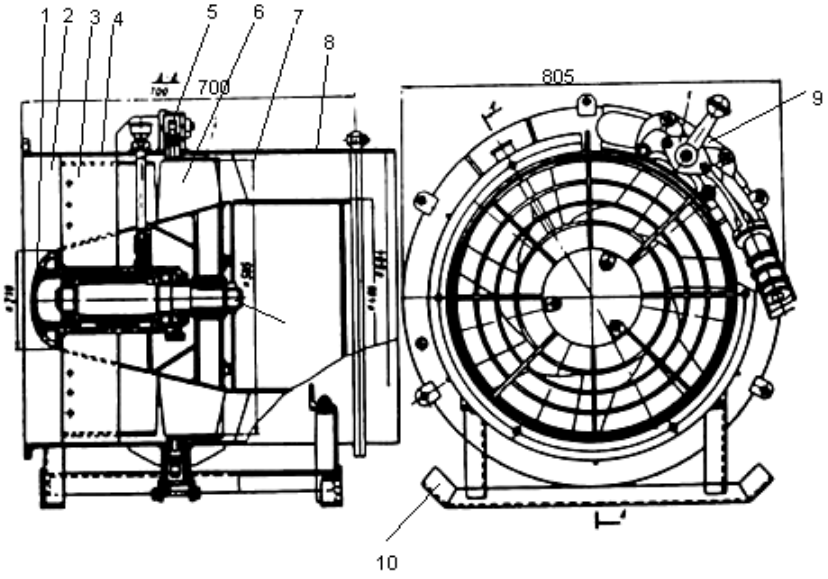


Рис. 8,а. Вентилятор местного проветривания ВМП-6

Снаружи передней половины корпуса расположена распределительная коробка с соплами 9, к которой по шлангу подается сжатый воздух. В зависимости от положения рукояти и связанного с ней запорного органа трехходового крана сжатый воздух подается на лопатки турбины через одно, два или три сопла, что приводит к изменению частоты вращения турбины и связанного с ней рабочего колеса вентилятора, а следовательно, его подачи и давления.

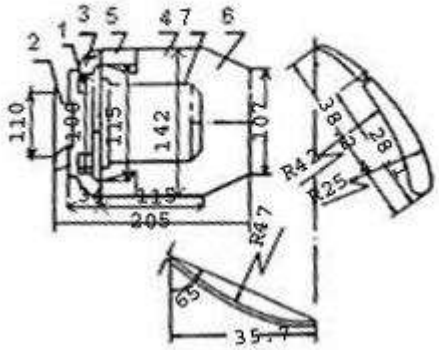
Остальные элементы ВМП-6 выполнены и имеют то же назначение, что и у ВМ-6.

ВМП-5 устроен аналогично ВМП-6, а ВМП-4 имеет рабочее колесо с цилиндрической втулкой и нерегулируемый пневмопривод.

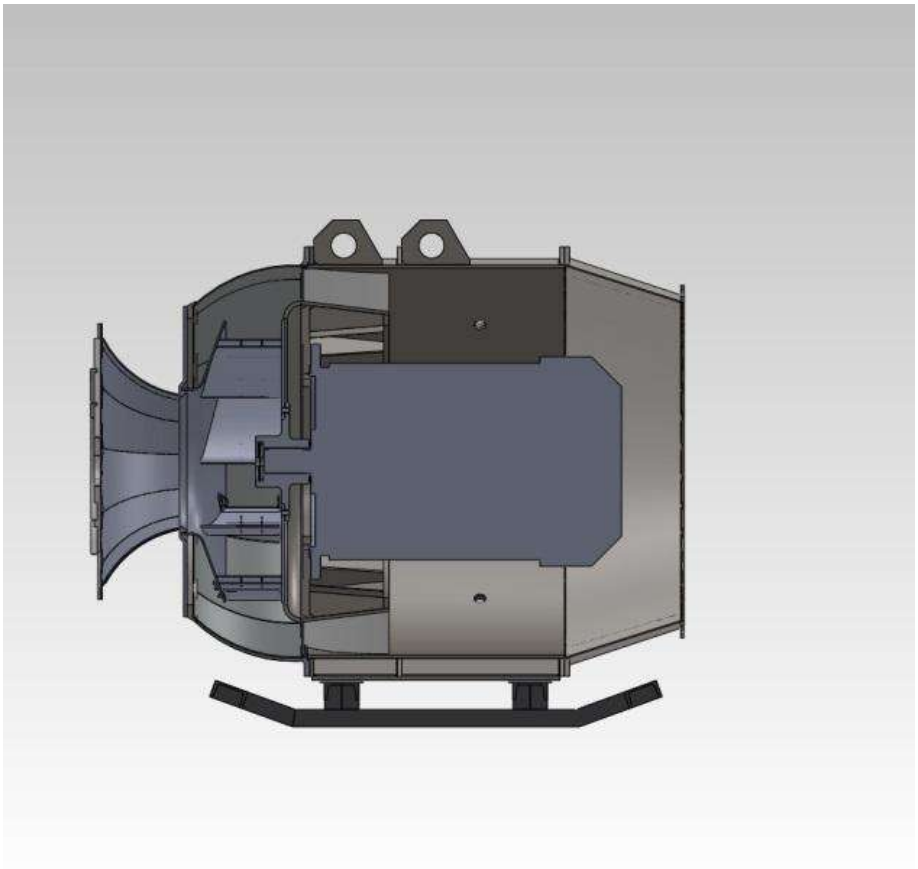
3.5.3. Шахтные центробежные вентиляторы местного проветривания (рис. 8,б).

ВМЦ-8, представляющий собой высоконапорный центробежный вентилятор одностороннего всасывания со встроенным в его корпус электродвигателем, состоит из рабочего колеса 1, входного патрубка с коллектором и защитной решеткой 2, передней части корпуса 3, задней цилиндрической части корпуса 4, спрямляющего аппарата 5, выходного конического патрубка 6, специального взрывозащищенного фланцевого электродвигателя 7, кабельного ввода 8, салазок 9, рым-скоб 10.

В отличие от рассмотренных выше центробежных вентиляторов каждая из шести профильных лопаток рабочего колеса ВМЦ-8, приваренных к коренному и покрывному дискам, имеет поворотный закрылок для регулирования ими режима работы, поворот закрылков на фиксированные углы $+20^0$, 0^0, -25^0 осуществляется индивидуально, вручную, через люк, расположенный в передней части корпуса


1
2
3
5
4
7
6
110
100
115
142
107
38
28
R42
R25
115
205
R47
65
35.7

10
8



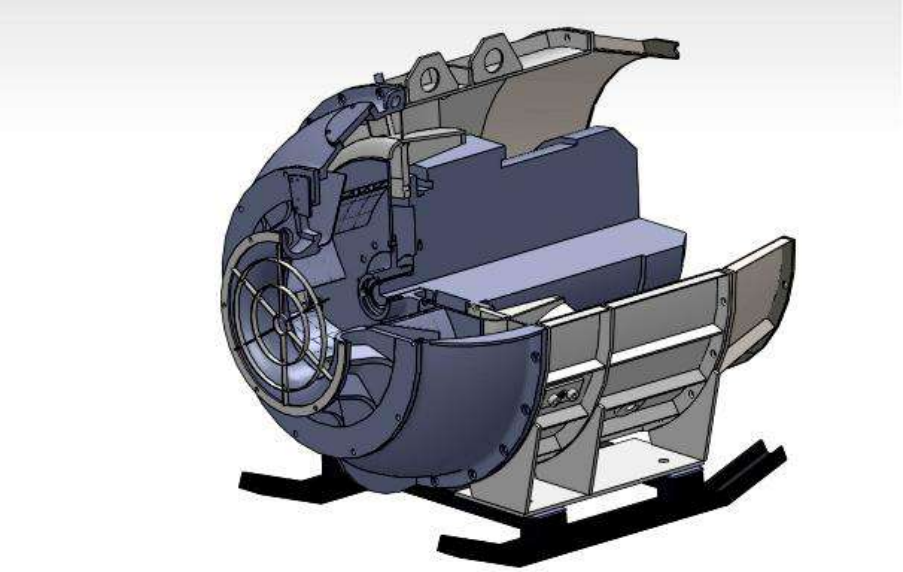


Рис. 8,б. Аэродинамическая схема и общий вид Вентилятора ВМЦ – 8.

Рис. Опытный образец вентилятора местного проветривания ВРВП-6

Другая отличительная особенность ВМЦ-8 заключается в том, что он является прямоточным – поток входит в вентилятор и выходит из него в осевом направлении; это дает возможность устанавливать его в подземных выработках аналогично ВМ и ВМП без устройства дополнительных камер.

Остальные элементы ВМЦ-8 аналогичны вентиляторам ВМ.

Более подробно с конструкциями шахтных вентиляторов местного проветривания и их элементов можно ознакомиться в работах /1, 3, 6/.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные элементы осевого вентилятора местного проветривания с электрическим приводом.
2. Как устроено рабочее колесо у вентиляторов серии ВМ. С какой целью его втулка делается конической формы?
3. Как устроен направляющий аппарат вентилятора ВМ-6?
4. Как устроено рабочее колесо у вентилятора ВМП-5 и вентилятора ВМП-6?
5. Объясните устройство привода вентилятора ВМП и как осуществляется регулирование режима работы этого вентилятора?
6. Объясните устройство вентилятора ВМЦ-8. Как осуществляется регулирование его режима работы?

3.5.1. Шахтные осевые вентиляторы местного проветривания с электроприводом

Вентилятор ВМ-6 (рис. 7) состоит из рабочего колеса 4, направляющего аппарата 2, спрямляющего аппарата 6, противосрывного устройства 3, корпуса 9, электродвигателя 7, кабельного ввода 8, переднего обтекателя (кока) 1, салазок 10, рым-скоб 5.

Рабочее колесо 4 имеет литую коническую втулку и семь профилированных крученых лопаток, выполненных из капроновой смолы, с залитой стальной арматурой и хвостовиком, с помощью которого лопатка крепится на втулке гайкой. Ступица РК насаживается непосредственно на вал электродвигателя 7.

Направляющий аппарат 2 состоит из корпуса и втулки, на которой расположено девять профильных эластичных (резиновых) лопаток, входные и выходные кромки которых армированы стальными

пластинками. Внутри втулки имеется механизм для одновременного поворота выходных частей гибких лопаток (закрылков). Поворот их осуществляется с помощью ручки, одеваемой на конец валика механизма, выведенный наружу через отверстия в коке 1. Поворотом закрылков в пределах от $+40^0$ до -50^0 осуществляется регулирование режима работы вентилятора.

Спрямляющий аппарат 6 имеет двенадцать тонких стальных лопаток, приваренных у внутренней поверхности корпуса вентилятора и наружной поверхности цилиндрической втулки с фланцем, к которому болтами крепится специальный взрывобезопасный электродвигатель 7.

Противосрывное устройство (воздушный сепаратор) 3, предназначенное для устранения глубоких впадин и даже разрывов характеристик осевых вентиляторов на левой от ″горба″ между цилиндрическим корпусом НА и установленной в этом корпусе цилиндрической обечайкой, диаметр которой равен диаметру рабочего колеса.

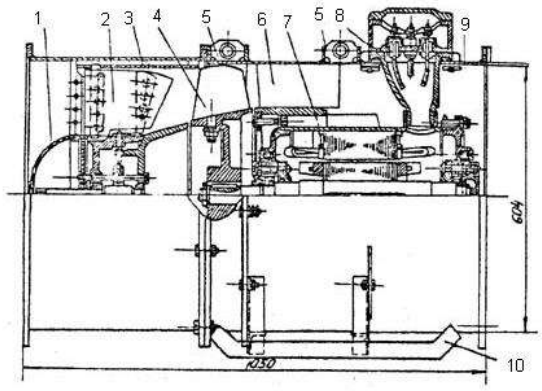


Рис. 7. Вентилятор местного проветривания ВМ – 6.

При нормальной работе рабочего вентилятора (в области больших подач) воздушный поток движется от всасывающего патрубка через решетку лопаток НА и частичное кольцевое пространство сепаратора на лопатки РК и далее к нагнетательному патрубку. При уменьшении подачи и переходе рабочего режима через ″горб″ характеристики влево на периферии лопаток РК возникают вихри. Под действием

разности давлений эти вихри перетекают во входное сечение рабочего колеса и при отсутствии сепаратора снова проходят через межлопаточное пространство РК, загромождая его и уменьшая тем самым расход всасываемого воздуха. При наличии сепаратора обратный поток проходит через его кольцевое пространство и только во входном сечении вентилятора поворачивает и, смешиваясь с основным потоком воздуха, проходит через решетку лопаток НА и попадает равномерно на лопатки РК. Благодаря такому отводу завихрений части потока нарастание и развитие зон срыва по мере уменьшения подачи прекращается и все связанные с ним вредные явления (в том числе и образование впадин и разрывов на характеристиках вентилятора) устраняются.

Для перемещения вентилятора по почве служат салазки 10, а для подвешивания его к кровле выработки – рым-скобы 5.

Вентиляторы ВМ-4 и ВМ-12 устроены аналогично ВМ-6, но ВМ-4 НА имеет неподвижно установленные стальные лопатки, а ВМ-12 НА имеет усовершенствованный механизм поворота, валик которого выходит не через кок, а через корпус НА, что удобнее в эксплуатации.

3.5.2. Шахтные осевые вентиляторы местного проветривания с пневмоприводом

Вентилятор ВМП-6 (рис. 8, а) состоит из рабочего колеса 6 с турбинным приводом 5, вала 11 с подшипниками, пластин-растяжек 2, передней 3 и задней 8 половин корпуса, спрямляющего аппарата 7, противосрывного устройства 4, коробки с соплами 9, салазок 10, рым-скоб.

Рабочее колесо 6 имеет коническую втулку, к которой приварены семь крученых стальных лопаток с ободом на их периферии. В пазу обода установлены капроновые лопатки турбины активного типа 5, которая вращается в пространстве между фланцами передней 2 и задней 8 половин корпуса. Ступица рабочего колеса насаживается на конец вала 11 и удерживается от проскальзывания шпонкой, а от осевого смещения – гайкой.

Вал 11 опирается на два шарикоподшипника, размещенных во втулке, которая находится внутри переднего обтекателя и крепится к

передней половине корпуса 2 с помощью пластин-растяжек 3, через пластины пропущены кольца, образующие решетку на входе в вентилятор.

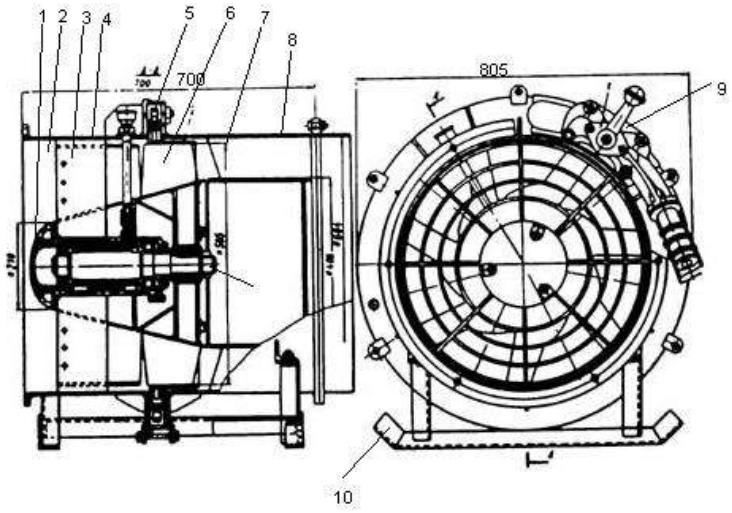


Рис. 8,а. Вентилятор местного проветривания ВМП-6

Снаружи передней половины корпуса расположена распределительная коробка с соплами 9, к которой по шлангу подается сжатый воздух. В зависимости от положения рукояти и связанного с ней запорного органа трехходового крана сжатый воздух подается на лопатки турбины через одно, два или три сопла, что приводит к изменению частоты вращения турбины и связанного с ней рабочего колеса вентилятора, а следовательно, его подачи и давления.

Остальные элементы ВМП-6 выполнены и имеют то же назначение, что и у ВМ-6.

ВМП-5 устроен аналогично ВМП-6, а ВМП-4 имеет рабочее колесо с цилиндрической втулкой и нерегулируемый пневмопривод.

3.5.3. Шахтные центробежные вентиляторы местного проветривания (рис. 8,б).

ВМЦ-8, представляющий собой высоконапорный центробежный вентилятор одностороннего всасывания со встроенным в его корпус электродвигателем, состоит из рабочего колеса 1, входного патрубка с коллектором и защитной решеткой 2, передней части корпуса 3, задней цилиндрической части корпуса 4, спрямляющего аппарата 5,

выходного конического патрубка 6, специального взрывозащищенного фланцевого электродвигателя 7, кабельного ввода 8, салазок 9, рым-скоб 10.

В отличие от рассмотренных выше центробежных вентиляторов каждая из шести профильных лопаток рабочего колеса ВМЦ-8, приваренных к коренному и покрывному дискам, имеет поворотный закрылок для регулирования ими режима работы, поворот закрылков на фиксированные углы $+20^0$, 0^0, -25^0 осуществляется индивидуально, вручную, через люк, расположенный в передней части корпуса.

Другая отличительная особенность ВМЦ-8 заключается в том, что он является прямоточным – поток входит в вентилятор и выходит из него в осевом направлении; это дает возможность устанавливать его в подземных выработках аналогично ВМ и ВМП без устройства дополнительных камер.

Остальные элементы ВМЦ-8 аналогичны вентиляторам ВМ.

Более подробно с конструкциями шахтных вентиляторов местного проветривания и их элементов можно ознакомиться в работах /1, 3, 6/.

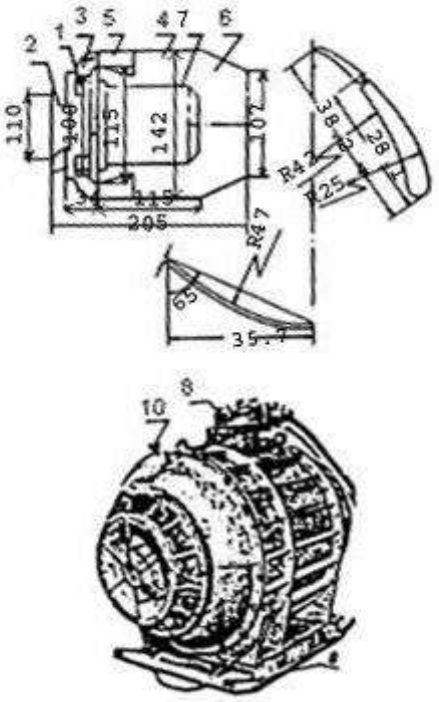


Рис. 8,б. Аэродинамическая схема и общий вид Вентилятора ВМЦ – 8.

Вопросы для самопроверки

7. Перечислите основные элементы осевого вентилятора местного проветривания с электрическим приводом.
8. Как устроено рабочее колесо у вентиляторов серии ВМ. С какой целью его втулка делается конической формы?
9. Как устроен направляющий аппарат вентилятора ВМ-6?
10. Как устроено рабочее колесо у вентилятора ВМП-5 и вентилятора ВМП-6?
11. Объясните устройство привода вентилятора ВМП и как осуществляется регулирование режима работы этого вентилятора?
12. Объясните устройство вентилятора ВМЦ-8. Как осуществляется регулирование его режима работы?

3.6. Устройство и конструктивные элементы шахтных газоотсасывающих вентиляторов

Газоотсасывающие вентиляторы, эксплуатируются на горном предприятии, как и вентиляторы главного проветривания, в виде установки (2 агрегата: один – в работе, один – в резерве), обеспечивают изолированный отвод метановоздушной смеси на поверхность из отрабатываемого пласта с концентрацией метана от 0 до 100% по газоотводящей вентиляционной системе (отдельному каналу) многосвязной комбинированной вентиляционной сети газообильных угольных шахт;

Основные параметры газоотсасывающих вентиляторов, находящиеся в серийном производстве приведены в табл. 3.6.1.

В газоотсасывающем вентиляторе ВЦГ-7 вход и выход воздушного потока устроены так, что они направлены вдоль оси выработки, но в противоположных направлениях.

Воздух или метано-воздушная смесь через патрубок 1 поступает в направляющий аппарат 2 и во входную коробку 3, затем после поворота на 90° - в рабочее колесо 4. оттуда - в спиральный корпус 5, из него - диффузор 6 и выходной патрубок 7. Монтажной базой вентилятора ВЦГ-7 является рама 8, на которой установлены приводной электродвигатель 9, спиральный корпус и подшипниковые опоры 10 и 11 ротора вентилятора. Особенностью ВЦГ-7 является то,

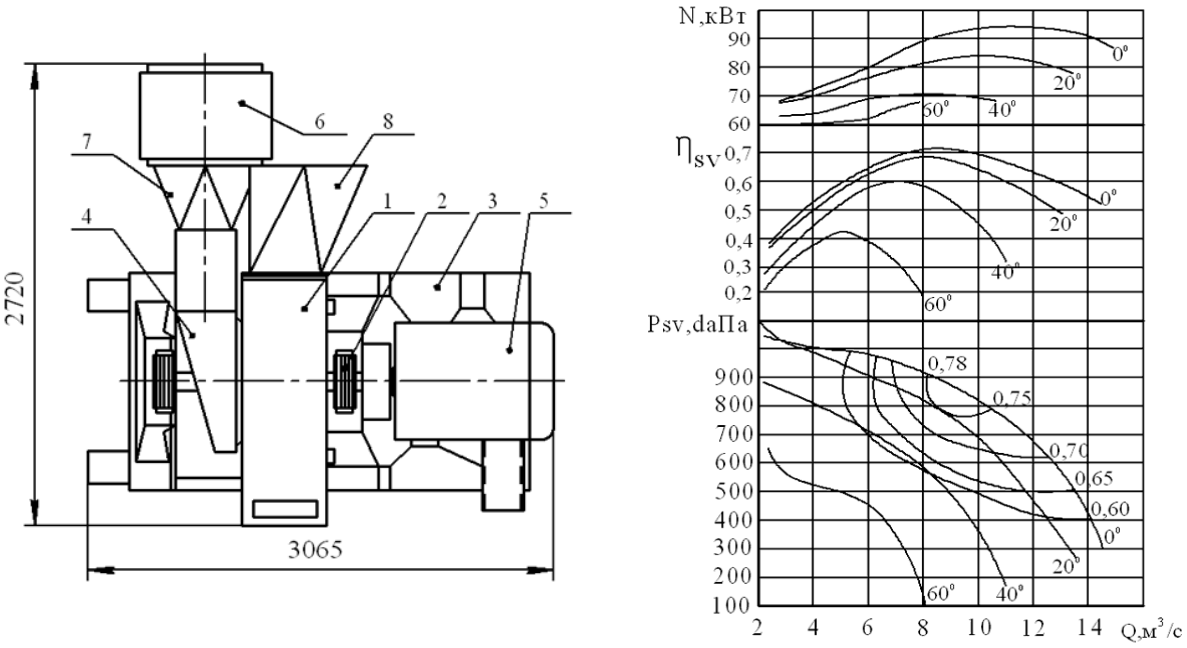
что его рабочее колесо установлено не на конце вала электродвигателя, а на собственном валу 12 в подшипниковых опорах. Вал ротора соединяется с валом электродвигателя втулочно-пальцевой муфтой 13.

Таблица №

Основные технические данные центробежных газоотсасывающих вентиляторов

Показатели	**Тип**		
	ВЦГ-7М	**ВЦГ-9**	**УВЦГ-15**
Номинальный диаметр рабочего колеса	810	900	1500
Подача, $м^3/с$: номинальная в рабочей области	 9 3 – 14	 22 12 – 32	 35 15 – 60
Статическое давление при номинальной подаче, даПа	800	1250	950
Глубина регулирования по давлению, %	75	75	75
Максимальный статический КПД:	0,8	0,75	0,84
Мощность привода электродвигателя, кВт	132	400	630
Номинальное напряжение, В	380	380	380
Масса, кг	2900	5600	11800

Вентилятор ВЦГ-7М предназначен для снижения газообильности выемочных участков и устранения скоплений метана на сопряжениях очистных и вентиляционных выработок в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, путем отсасывания метановоздупшых смесей из выработанного пространства и отвода их по жестким трубопроводам. Вентилятор устанавливается на поверхности шахты или в специальной камере или выработке и подсоединяется к всасывающему или нагнетательному трубопроводам. Конструкция вентилятора (рис. 3.6.1.) состоит из разъемного корпуса, ротора, установленного в двух подшипниках, рамы, направляющего аппарата, двигателя, глушителя шума, входного и выходного патрубков. Регулирование давления и подачи осуществляется направляющим аппаратом.



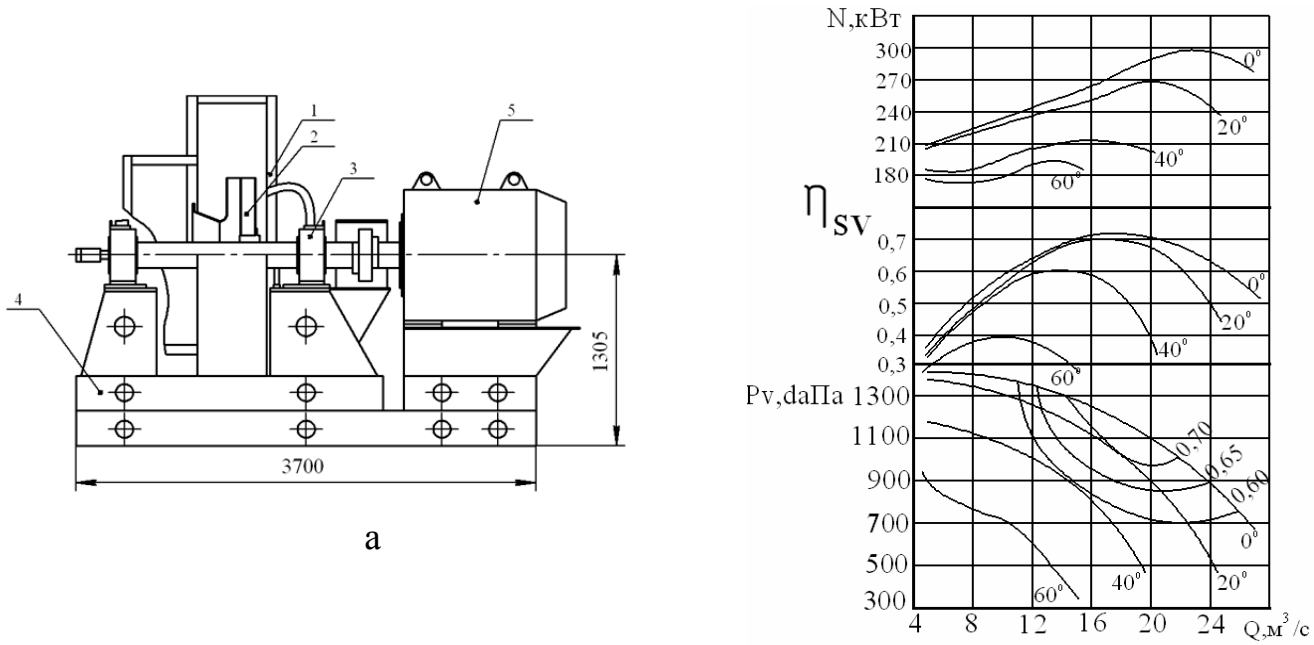
а) б)

Рис. 3.6.1.

а) общий вид вентилятора ВЦГ-7М: корпус 1, ротор 2, рама 3, направляющий аппарат 4, электродвигатель 5, глушитель 6 , входной патрубок 7, выходной патрубок 8;

б) аэродинамическая схема вентилятора ВЦГ-7М

Вентилятор УВЦГ-9 (рис. 3.6.2) предназначен для снижения газообильности выемочных участков и устранения скоплений метана на сопряжениях очистных и вентиляционных выработок в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, путем отсасывания метановоздушных смесей из выработанного пространства и отвода их по жестким трубопроводам. Вентилятор устанавливается на поверхности шахты или в специальной камере или выработке и присоединяется к всасывающему и нагнетательному трубопроводам.



а

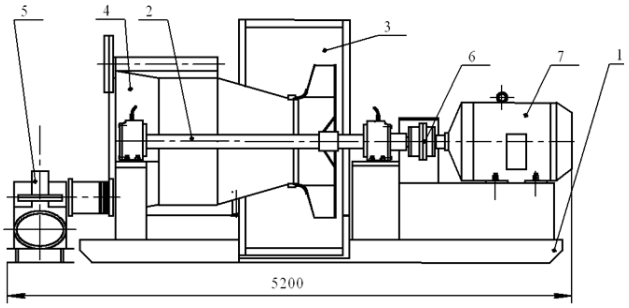
Рис. 3.6.2.

а) общий вид вентилятора ВЦГ-9: разъёмный корпус 1, ротор 2, установленный в двух подшипниках 3, рама 4, электродвигатель 5. Электродвигатель монтируется на монтажных болтах 6;

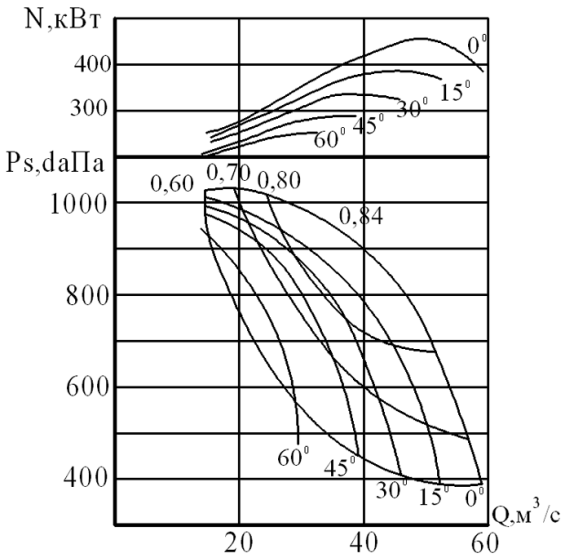
б) аэродинамическая схема вентилятора ВЦГ-9

Вентилятор ВЦГ-15 (рис. 3.6.3) предназначен для удаления с выемочных участков шахт метановоздушной смеси (концентрация метана от 0 до 100 %). Возможна эксплуатация в атмосферных условиях при температуре перемещаемой смеси от 228 до 323 К. Запыленности до 150 мг/м - плотности до 1,2 кг/м^2, относительной влажности до 98 % (при температуре 298 К), на высоте над уровнем моря до 1000 м. Вентилятор состоит из рамы, ротора, спирального корпуса, вихревого аппарата, приводного двигателя, соединенного с валом ротора зубчатой муфтой. Рабочее колесо выполнено по высконагруженной аэродинамической схеме Ц120-16. Лопатки рабочего колеса имеют специальный профиль, что позволяет обеспечить высокую напорную характеристику вентилятора без увеличения звуковой мощности, приводной электродвигатель взрывозащищенного исполнения РВ-4В, комплект электрооборудования изготовлен во взрывозащитном исполнении. Оригинальная конструкция гибкого взрывозащищенного виброзащитного уплотнения с латунными элементами позволяет исключить влияние вибрации узлов, присоединенных к вентилятору. Байпасная камера в месте входа вала в спиральный корпус, камера уплотнения на выходе из вихревого направляющего аппарата, латунное уплотнение корпуса всаса в месте входа в рабочее колесо и латунное ограждение зубчатой муфты позволяют исключить

искрообразование. Аппаратура автоматизации обеспечивает оперативный контроль уровня вибрации и аварийное отключение установки.



а



б

Рис. 3.6.3. а) общий вид вентилятора ВЦГ-15: рама 1, ротор 2 с опорными подшипниками, спиральный корпус 3, вихревой входной направляющий аппарат 4 с приводом 5, электродвигатель 7, соединённый с валом ротора муфтой 6; б) аэродинамическая схема вентилятора ВЦГ-15.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назначение и область применения вентиляторов ВЦГ и УВЦГ, в чем их отличие.
2. Как осуществляется регулирование газоотсасывающих вентиляторов?
3. Чем конструктивно отличаются газоотсасывающие вентиляторы от вентиляторов главного проветривания.
4. В чем заключается преимущества компоновочной схемы типа УВЦГ?

НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЕ НАСОСОВ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМЫ

Основное назначение насосов – перекачка чистой холодной воды, Такие насосы называются обычными. Однако в настоящее время область применения насосов настолько широка и многообразна, что определение насоса как машины для перекачки воды было бы односторонним. Они применяются для водоснабжения, канализации, орошения и осушения земель, гидроаккумулирования энергии, транспортирования материалов. Существуют питательные насосы котельных установок, тепловых электростанций, судовые насосы, насосы для горной, нефтяной, геологоразведочной, химической, бумажной, пищевой и других отраслей промышленности. Все насосы, перекачивающие жидкости, отличные от чистой холодной воды (например, горячую воду, пульпу, щелочь, жидкий металл и т.д.), называются специальными. Они отличаются от обычных наличием защитных приспособлений, обеспечивающих более долговечную работу на соответствующей жидкости.

Из всех насосов наибольшее распространение получили центробежные. Их конструкция будет рассмотрена в данном лабораторном практикуме.

Число типов этих насосов очень велико, и с целью удобства изучения конструкции произведем их классификацию по следующим признакам.

1. По числу ступеней: а) одноступенчатые; б)многоступенчатые.
2. Способу сбора и отвода воды после рабочего колеса: а) насосы с направляющими аппаратами; б) насосы со спиральной камерой и коническим диффузором; в) насосы с кольцевидным отводом, спиральной камерой и коническим диффузором.
3. Числу входных отверстий в рабочем колесе: а) одностороннего всасывания (рис. 9,а,); б) двухстороннего всасывания (рис. 9,б,), рабочие колеса двухстороннего всасывания представляют собой соединение в одной детали двух обычных колес.
4. По расположению вала: а) горизонтальные; б) вертикальные.
5. По конструкции корпуса: а) цельнокорпусные; б) с корпусом, имеющим горизонтальный разъем; в) секционные.

Наибольшее распространение получили насосы серии К, Д и особенно – ЦНС. Насосы ЦНС имеют следующую маркировку:

Ц – центробежный, Н – насос, С – секционный. После букв цифры обозначают номинальную подачу насоса (в $м^3$/ч), цифра после дефиса – номинальный напор, развиваемый насосом в метрах столба перекачиваемой жидкости.

Например, ЦНС 180-680: центробежный насос секционный, номинальная подача 180 м3/ч, номинальный напор 680 м.

Насосы К и Д имеют одинаковую маркировку. Цифра, стоящая перед буквой, обозначает диаметр всасывающего патрубка (в мм), уменьшенный в 25 раз и округленный, буква обозначает тип насоса (К – консольный, Д – двухсторонний), а цифра после дефиса – коэффициент быстроходности, уменьшенный в 10 раз и округленный. Например, 1,5К-6: консольный насос с диаметром всасывающего патрубка 40 мм и коэффициентом быстроходности 60.

В настоящее время консольные насосы и насосы двухстороннего всасывания имеют обозначения, аналогичные насосам типа ЦНС.

Например, К 20-30: консольный насос с номинальной подачей 20 м3/ч и номинальным напором 30 м.; Д 200-95: насос двухстороннего всасывания с номинальной подачей 200 м3/ч и номинальным напором 95 м.

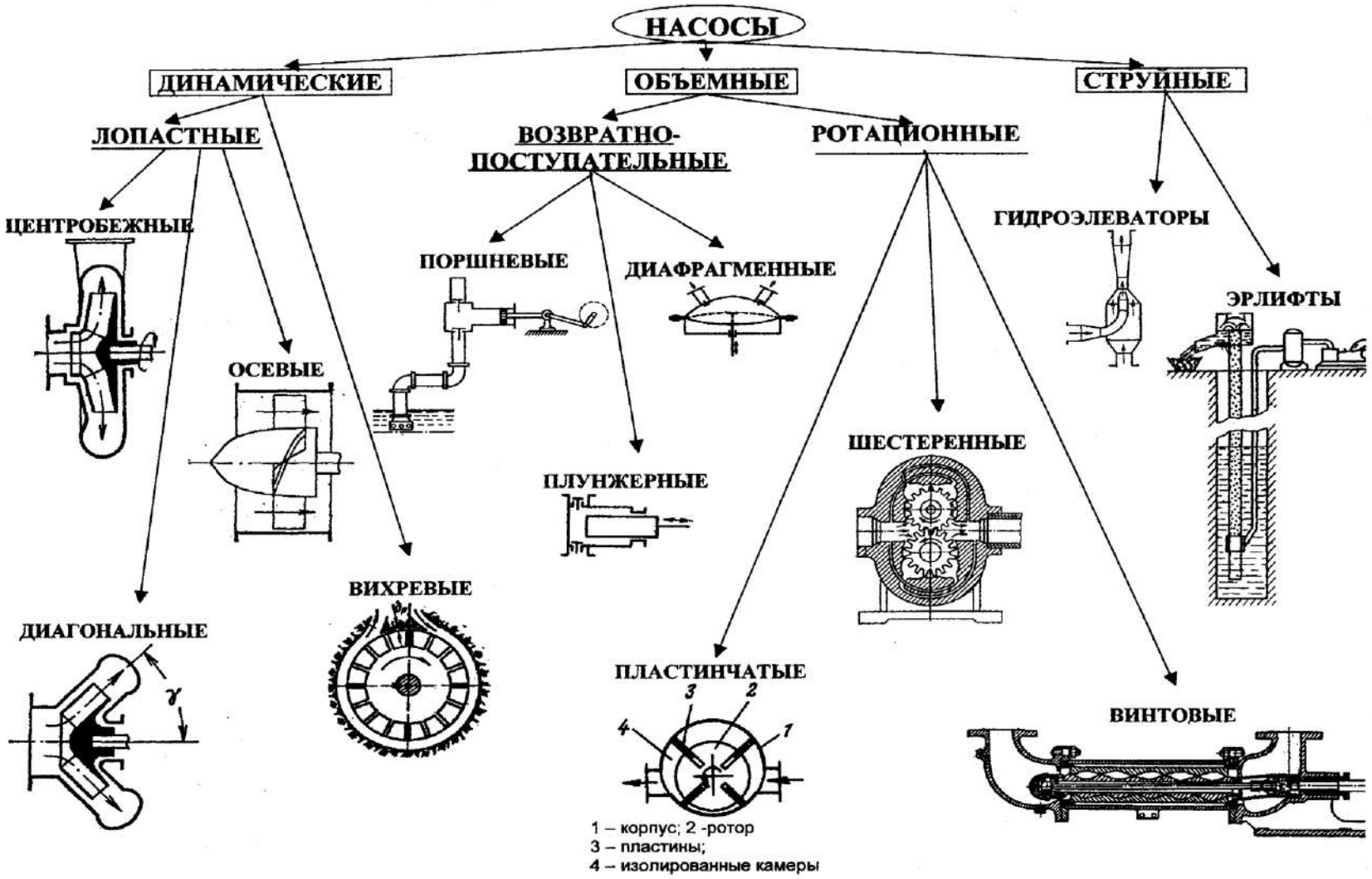


Рис. Классификационная схема насосов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ИЗУЧЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Основные конструктивные элементы

Основными элементами центробежного насоса являются рабочее колесо, подвод и отвод. Кроме того, к гидравлическим элементам относятся уплотнения, гидравлический затвор, разгрузочное устройство, а к конструктивным – корпус, вал с деталями для крепления колес, подшипники, втулки, стяжные и крепежные детали.

Рабочее колесо условно можно разделить на следующие части: (рис. 9,а) передний диск 1, задний (коренной) диск 2, ступица 3 и лопатки 4. Колеса насосов изготавливают закрытой конструкции (есть все перечисленные части), полуоткрытой (без переднего диска) и открытой (без переднего и заднего дисков). Большинство насосов имеют рабочие колеса закрытой конструкции. Рабочие колеса полуоткрытой и открытой конструкции применяются в насосах специального назначения, перекачивающих загрязненные жидкости (шламовые, фекальные, углесосы и т.д.)

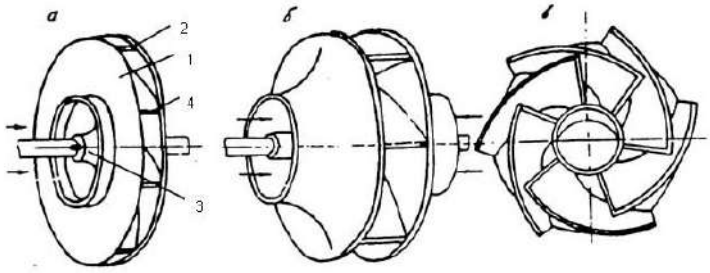


Рис. 9. Рабочие колеса центробежных насосов:
а – закрытое, одностороннего всасывания; б – закрытое, двухстороннего всасывания; в – полуоткрытое.

Рабочие колеса бывают одностороннего и двухстороннего всасывания. Рабочие колеса двухстороннего всасывания (рис. 9,б) представляют собой соединенные в одной детали два обычных колеса. Из условия прочности диски колеса утолщаются по

направлению к втулке. Скорость на внешней окружности литых чугунных колес не более 34-35 м/с.

Форма профиля лопатки должна быть такой, чтобы на всем протяжении ее приращение абсолютной скорости было плавным, равномерным и обеспечивало бы требуемые углы входа и выхода. Лопатки профилируются по дуге окружности или по логарифмической спирали и имеют толщину: чугунные 4-8 мм, бронзовые – 3-6 мм.

КПД насоса зависит от тщательности обработки поверхностей межлопаточных каналов колеса, образуемых его дисками и лопатками, от числа и длины лопаток, от плавности изменения сечения площади прохода в канале. Движение воды в колесе тем правильнее, чем больше число лопаток, но при значительном их числе увеличивается сопротивление трению. Обычно в одном колесе 6-9 лопаток.

В шахтных насосах чаще применяются колеса закрытого типа, так как они допускают осевой разбег вала, необходимый при наиболее распространенном способе уравновешивания осевого усилия; при них меньше утечек жидкости через зазоры.

По удельному числу оборотов рабочие колеса центробежных насосов делятся на три типа: тихоходные (nз = 40-80), нормальные (nз = 80-150), быстроходные (nз = 150-300). Диаметр рабочего колеса обычно не превышает 800 мм.

Для неагрессивной воды рабочие колеса изготавливаются литыми из чугуна или стали, для кислотной – из легированных хромом и никелем сталей, хромистого или кремнистого чугуна, кислотоупорных бронз и пластмасс.

Подвод предназначен для обеспечения равномерного заполнения входа жидкости во всасывающее отверстие колеса с минимальными потерями давления. В современных насосах подводы выполняются в виде конических патрубков (конфузоров) с прямой и искривленной осями, кольцевого подвода и спирального (иногда называют полуспирального) подвода (рис.10).

Прямолинейный конфузор представляет собой конический патрубок с прямолинейной осью (рис. 10,а), в котором иногда устраивается решетка в виде пластин, расположенных в меридиональных плоскостях. Решетка обеспечивает поступление потока в рабочее колесо без вращения. Поток в конфузоре движется ускоренно (скорость жидкости увеличивается на 15-20 %). Это

обеспечивает протекание в канале с минимальными гидравлическими потерями и выравнивание поля скоростей перед входом в рабочее колесо. Прямолинейный конфузор является лучшим типом подводящего канала, но может быть использован только в одноступенчатых консольных насосах.

Конфузор с прямолинейной осью выполняется в виде конического колена с большим радиусом поворота (рис. 10,б).

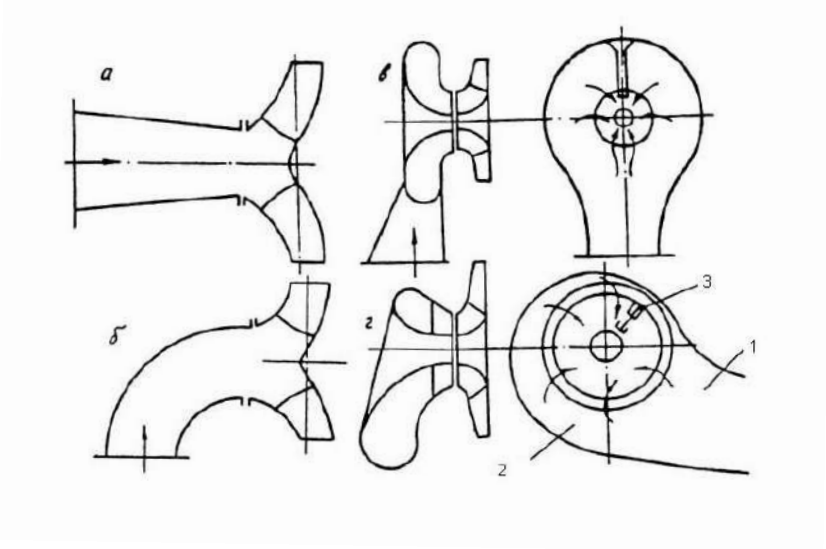


Рис. 10. Типы подводов:
конфузоры с прямой (а) и искривленной (б) осями, кольцевой (в), спиральный (г).

Кольцевой подвод (рис. 10,в) представляет собой канал постоянного сечения, который расположен по окружности входа в рабочее колесо. При такой конструкции равномерность поля скоростей нарушается из-за образования вихревой зоны вокруг вала. Этот тип подвода устраивается лишь в некоторых конструкциях насосов, имеющих разъем, перпендикулярный к валу. Для устранения вихревой зоны применяется спиральный подвод (рис. 10,г), представляющий собой канал переменного сечения по окружности входа в колесо. Благодаря этому одна часть потока попадает в колесо, не обтекая вала, а другая часть плавно обтекает вал, равномерно распределяясь по окружности. Этот подвод в настоящее время применяется в большинстве конструкций многоступенчатых насосов.

Отвод должен обеспечивать движение жидкости от рабочего колеса к внешней сети насоса с наименьшими потерями, по возможности без нарушения симметричности потока в колесе и с уменьшением

скорости потока до величины скорости в начальном участке внешней сети.

В насосах применяют кольцевой отвод, спиральный отвод и направляющий аппарат.

Кольцевой отвод представляет собой цилиндрическую кольцевую камеру постоянной ширины, охватывающую рабочее колесо машины. Такие отводы используются в конструкциях насосов, предназначенных для перекачки загрязненных жидкостей, и в углесосах.

Спиральный отвод состоит из спирального канала и диффузора. Обычно спиральный канал комбинируют с кольцевой камерой (рис. 11). Спиральный канал имеет цилиндрическое или грушевидное сечение. При наличии кольцевой камеры скорость движения жидкости при прохождении через нее постепенно увеличивается к выходу. В спиральный канал жидкость поступает уже с меньшей скоростью, поэтому потери на преобразование динамического напора в статический будут меньше, чем в отводах без кольцевой камеры.

В диффузорах происходит дальнейшее снижение скорости потока и преобразование кинетической энергии жидкости в потенциальную энергию (примерно от 30 до 2-3 м/с).

Спиральные отводы применяются в одноступенчатых насосах, особенно при низких и умеренных напорах.

Направляющие аппараты бывают двух типов: лопаточные и канальные. У лопаточных аппаратов каналы расположены с обеих сторон, образуют отводящие 1 и обратные 2 (подводящие к следующему насосу) каналы (рис. 12). Жидкость, поступающая из рабочего колеса в расположенную за ним радиальную решетку лопастей направляющего аппарата, снижает в 2-2,5 раза скорость. Далее поток жидкости, поворачиваясь в кольцевом канале 3 на 180^0, поступает в обратную радиальную решетку, где обычно происходит окончательное раскручивание потока и дополнительное небольшое уменьшение скорости за счет диффузорного эффекта решетки.

Аппараты с канальными диффузорами (рис. 13) более компактны, поэтому получили преимущественное распространение в насосах. Каналы тоже оборудованы лопастями, но утолщенными к выходу, в результате чего каналы 1 на выходе прямолинейны, что уменьшает концевые потери. Отводящие каналы переходят далее в обратные каналы, составляя с ним единые каналы сплошной формы.

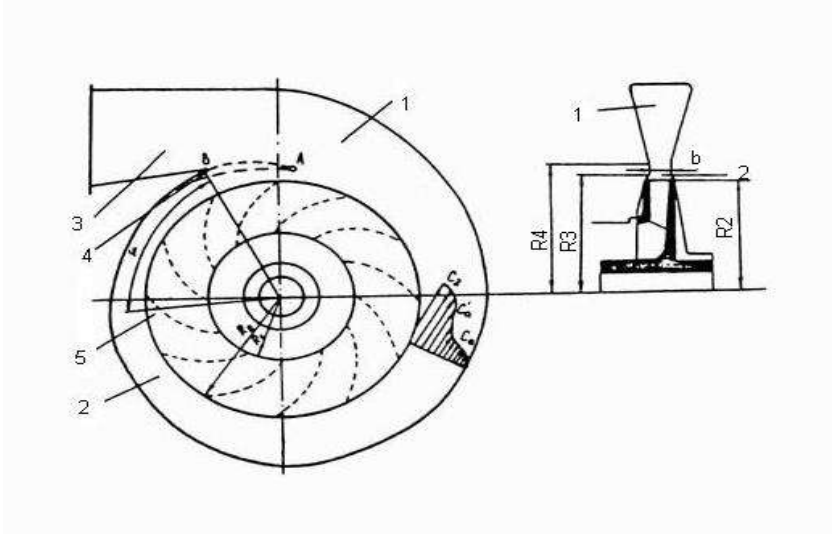


Рис. 11. Спиральный отвод.

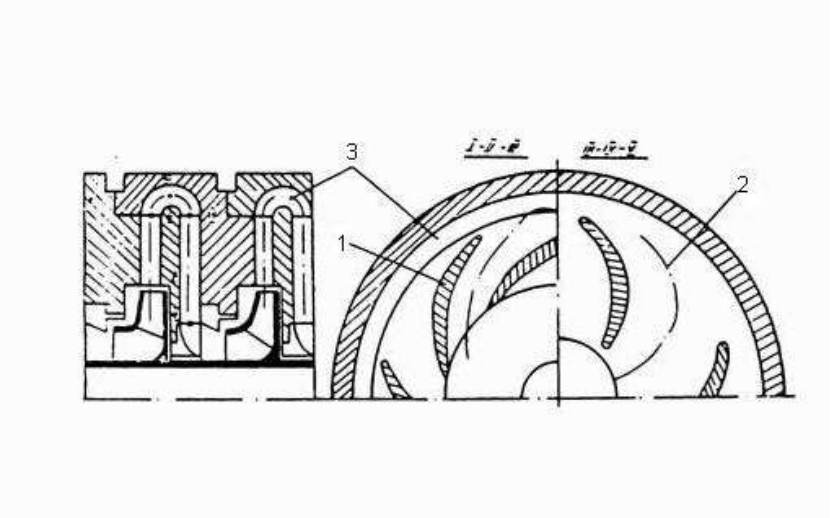


Рис. 12. Лопаточный направляющий аппарат.

Сечение каналов направляющего аппарата увеличивается сначала от рабочего колеса к периферии, а затем от периферии к следующему рабочему колесу. Спиральная часть канала, в целях обеспечения возможности механической обработки, выполняется постоянной ширины. Диффузор делается прямоугольного сечения с конусностью в одной или двух взаимно перпендикулярных плоскостях, с прямолинейной или искривленной осью. Для обеспечения установившегося движения жидкости в рабочем колесе поток в спиральной части каналов направляющего аппарата, аналогично потоку в спиральном отводе, должен быть осесимметричным. Для этого контур лопаток направляющего аппарата должен следовать

линии тока свободного движения и очерчиваться по логарифмической спирали.

Лопаточные отводы применяются в основном в многоступенчатых насосах. Они обеспечивают компактную конструкцию насоса, значительно уменьшая его габариты, в особенности осевой размер.

Уплотнения служат для уменьшения утечек в местах выхода вала из корпуса, внутренних утечек между всасывающей и нагнетательной сторонами рабочего колеса, а также для предотвращения утечек между секциями корпуса в многоступенчатых насосах.

Для уплотнения вала насоса в местах выхода его из корпуса предусматриваются концевые уплотнения, основное назначение которых состоит в предотвращении утечек перекачиваемой жидкости из насоса; в недопущении попадания воздуха в насос при работе последнего с разряжением на входе.

Концевые уплотнения могут быть разделены на три группы: уплотнения с мягкой сальниковой набивкой; уплотнения щелевого типа; торцовые уплотнения.

Сальниковая набивка является наиболее простой с точки зрения конструктивного исполнения и обслуживания, а поэтому является самым распространенным типом уплотнения в насосах общего назначения.

Набивку для сальников чаще всего делают в виде шнуров квадратного сечения, выполненной из хлопчатой бумаги, пеньки, льна, асбеста. Набивку пропитывают смазкой из графита и технического жира или консистентной смазкой, воском с добавкой порошковых металлов, а также различными резиновыми смесями и синтетическими смолами.

В корпусе такого уплотнения (рис. 14) устанавливаются кольца из мягкой сальниковой набивки 1. В осевом направлении кольца сальника поджимаются нажимной втулкой 2; при этом набивка прижимается к валу, уплотняя его. Для обеспечения лучшего прилегания набивки к втулке вала опорные поверхности нажимной втулки и корпуса сальника выполнены со скосом под углом $5\text{-}10^0$ к вертикали.

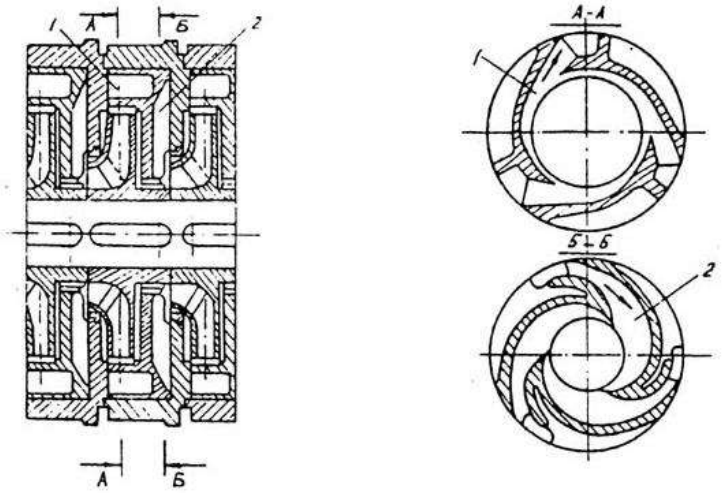


Рис. 13. Канальный направляющий аппарат.

Величина нажимного усилия на сальник должна быть минимальной, исходя из условий обеспечения требуемой герметичности. При правильной работе сальникового уплотнения через него должно протекать наружу некоторое количество жидкости, которая служит для смазки колец набивки и отвода части тепла, выделяющегося при трении. Как правило, через сальник должно просачиваться незначительное количество жидкости (измеряемое каплями). Слишком большая течь через сальник нежелательна не только из соображений эксплуатации, но и потому, что при этом вымывается графит или жир и волокнистый материал набивки остается без пропитки.

Перед установкой набивки необходимо проверить состояние вала и корпуса сальника и свести к минимуму возможные биения вала. Следует помнить, что биение и особенно вибрация вала часто является основной причиной выхода из строя сальниковых уплотнений. Главным недостатком сальниковых уплотнений является малый срок службы, необходимость постоянного ухода (подтяжка, перенабивка), непригодность для работы при окружных скоростях выше 30 м/с. В связи с этим в высокооборотных насосах нашли применение уплотнения щелевого типа. Принцип работы уплотнений заключается в дросселировании давления в цилиндрических щелях, промежуточном отборе и подводе запирающей жидкости. Эти уплотнения не могут удовлетворительно работать на жидкости с

включением абразивных частиц, поэтому в насосах для водоотлива не нашли широкого применения.

В насосостроении находят все более широкое распространение так называемые торцовые уплотнения. На рис. 15 показано одно из таких уплотнений. В этом уплотнении пара трения состоит из неподвижного резинового кольца 1 и фасонного металлического кольца 2. Поддержание необходимого натяга уплотнения достигается пружиной 3 и отчасти внутренним эластичным кольцом 4.

По сравнению с сальниковыми они имеют следующие преимущества: могут нормально работать даже при повышенной вибрации ротора; имеют большую долговечность; не требуют постоянного ухода; могут применяться для более широких диапазонов давлений и окружных скоростей.

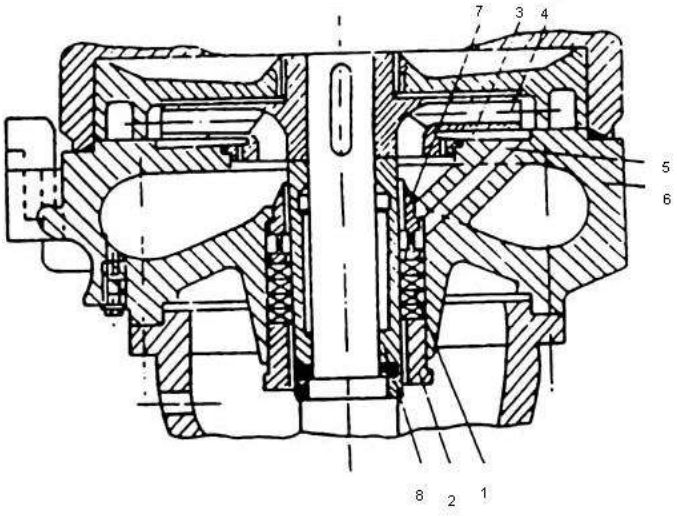


Рис. 14. Сальниковое уплотнение на всасывающей стороне насоса с гидрозатвором.

Существенным недостатком этих уплотнений является необходимость особо тщательного их изготовления, поэтому в насосах для шахтного водоотлива они не нашли применения.

Каждая ступень многоступенчатого насоса имеет в своем составе два уплотнения: переднее уплотнение рабочего колеса и межступенное уплотнение. Переднее уплотнение выполняется следующим образом.

В корпусных деталях насоса устанавливаются неподвижные уплотнительные кольца. Между уплотнительными поясками рабочих колес и кольцами образуется цилиндрическая кольцевая щель, в

которой происходит дросселирование давления протекающей жидкости (рис. 19, поз. 8).

Меньшие протечки дают лабиринтные уплотнения, но они сложнее. Межступенные уплотнения аналогичны передним и выполняются, как правило, щелевыми.

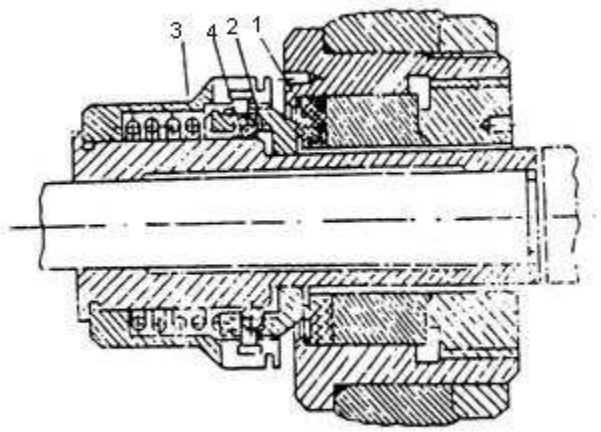


Рис. 15. Торцевое уплотнение

Стенки уплотнений подвержены довольно интенсивному износу. Увеличение зазора происходит за счет щелевой кавитации, быстрого движения жидкости и наличия в перекачиваемой жидкости небольшого количества абразивных частиц. С учетом этого уплотнения большей частью выполняются со съемными кольцами, которые винтами крепятся к корпусным деталям. Аналогичным образом устанавливаются кольца межступенных уплотнений.

Материал уплотнительных колец должен обладать хорошей эрозионной и коррозионной стойкостью и стойкостью против задирания в паре с материалом рабочего колеса. Уплотнительные кольца могут быть выполнены из чугуна, термообработанной стали, бронзы, углеродистой и нержавеющей стали.

Гидравлический затвор препятствует проникновению воздуха из атмосферы в насос. На рис. 14 показано сальниковое уплотнение на всасывающей стороне насоса с гидрозатвором. Для образования гидравлического уплотнения из передней пазухи 3, первого рабочего колеса 4 через отверстие 5 в крышке всасывания 6 вода подается во втулку 7 гидрозатвора через выточку и отверстие в ней, заполняет

полость гидрозатвора, образованную рубашкой вала и расточной втулки гидрозатвора.

Надобность в гидрозатворе сальника на нагнетательной стороне насоса отпадает. Исключения составляют насосы, предназначенные для перекачивания гидросмеси. В этих насосах применяются гидрозатворы с двух сторон, в которые подается чистая вода от постороннего источника. Этим исключается попадание гидросмеси в сальниковое уплотнение, что вызвало бы интенсивный износ вала в месте его прохода через сальник.

Разгрузочное устройство лопастных машин. В лопастных машинах неизбежны осевые усилия, действующие по оси ротора в сторону входа текучего в машину. В центробежных насосах осевое усилие настолько велико (до нескольких тонн), что его уравновешивание представляет сложную задачу.

Физическая природа осевого усилия может быть установлена из схемы рабочего колеса и эпюры давлений, действующих на обе стороны колеса (рис. 16). Благодаря вращению жидкости давление P_2 изменяется вдоль радиуса по параболическому закону. В области от R_2 до $R_У$ давления слева $P_Л$ и справа $P_П$ равны (уравновешиваются), а в пределах от $R_У$ (радиус уплотнительного кольца) до $R_В$ (радиус вала) давление слева, равное давлению у входа в рабочее колесо, меньше давления справа.

Вследствие этой разности давлений возникает осевое усилие Т, которое стремится сместить колесо с вала в сторону всасывания.

Осевое усилие может быть уравновешено различными способами: применением рабочих колес двухстороннего всасывания (рис. 9,б и 17,а) симметричным парным (рис. 17,б) или групповым (рис. 17,в) расположением рабочих колес, разгрузочными отверстиями (рис. 17,г), разгрузочным диском (рис. 17,д) и упорными подшипниками.

У рабочих колес двухстороннего всасывания и при симметричном расположении колес полного уравновешивания осевого усилия не достигается (неточное изготовление или неодинаковый износ уплотнений). Поэтому необходимо дополнительно ставить упорные подшипники, предотвращающие осевые смещения валов.

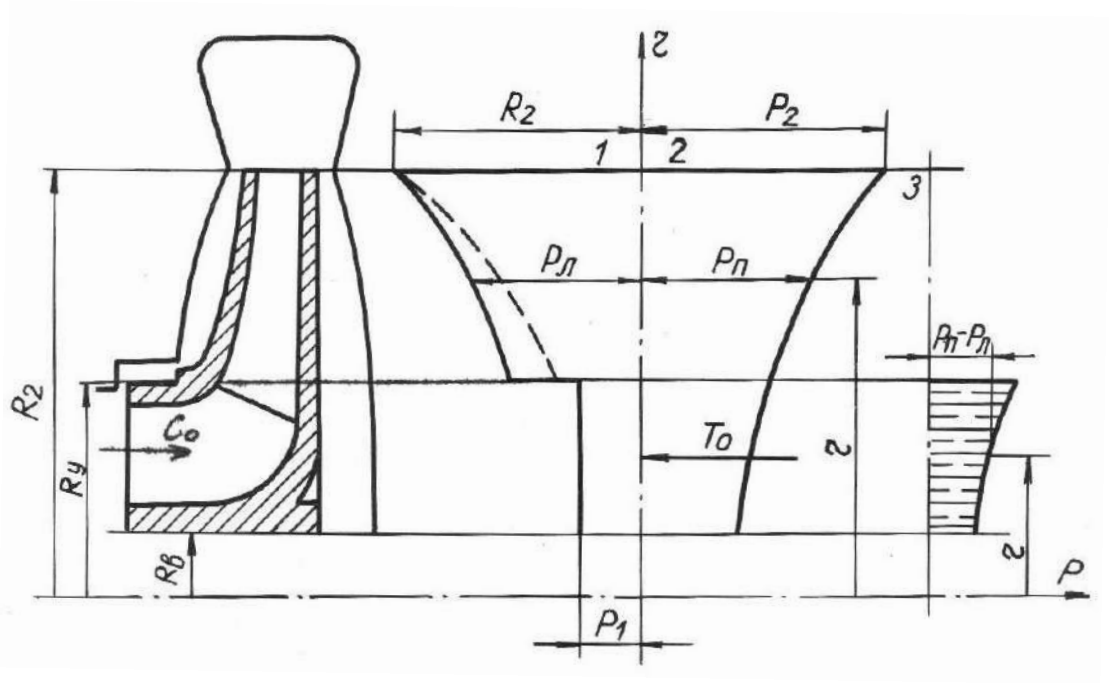


Рис. 16. Эпюра давления на стенки рабочего колеса.

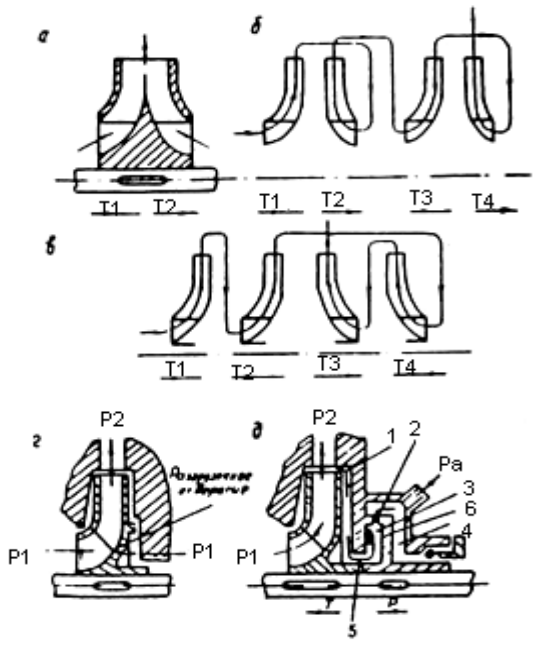


Рис. 17. Способы уравновешивания осевого усилия.

Довольно просто уравновешивание достигается сверлением нескольких отверстий (обычно от четырех до восьми) в заднем диске рабочего колеса (рис. 17,г), а для предотвращение при этом больших

утечек ставят уплотнительное кольцо. В задней полости благодаря отверстиям создается давление, примерно равное P_1. Этим достигается почти полное уравновешивание. Недостатками этого способа являются большие утечки жидкости и снижение КПД.

Полное уравновешивание осевого усилия достигается с помощью разгрузочного диска (гидравлической пяты), рис. 17,д. Разгрузочный диск 6 насажен на вал и к нему подводится жидкость под высоким давлением (от последнего рабочего колеса) через заднюю полость 1 рабочего колеса, зазор 5 и переднюю полость камеры 3. Так как давление в полости 3 высокое, а в полости 4 – низкое, будет происходить перетекание жидкости через зазор 2 в полость 4. Эту жидкость необходимо отводить в колодец или во всасывающую трубу (в некоторых конструкциях, как уже отмечалось, жидкость отводится к гидрозатвору), иначе давление в полостях 3 и 4 быстро выравнивается и устройство перестает действовать. Жидкость, попав в полость 3, стремится сдвинуть разгрузочный диск и тем самым компенсирует осевое усилие. При увеличении осевого усилия вал вместе с диском сдвигается в сторону всасывания. При этом зазор в кольцевом уплотнении между диском и корпусом (зазор 2) уменьшается, давление в камере 3 увеличивается, а следовательно, увеличивается сила, действующая на диск. Перемещение диска и увеличение силы будет происходить до того момента, пока не наступит равенство двух сил. И наоборот, при большом давлении в полости 3 разгрузочное усилие будет больше осевого. Разность усилий приведет к перемещению диска в противоположную сторону, к увеличению зазора 2, пока не наступит равновесие.

Корпус объединяет все неподвижные детали насоса в один общий узел – статор. Он выполняется из двух основных конструктивных форм (секционной или с горизонтальным разъемом).

Секционный корпус состоит из нескольких одинаковых основных и двух замыкающих секций, несущих всасывающий и напорный патрубки.

Последняя ступень давления обычно размещается в замыкающей секции, несущей напорный патрубок насоса. Каждая секция представляет собой цилиндрическую, литую из чугуна или стали толстостенную оболочку, включающую разделительную диафрагму, а также направляющий аппарат.

Большим достоинством секционной конструкции корпуса является возможность создания из одинаковых секций насосов с различным

числом ступеней (от 2 до 10), а следовательно, получение различных напоров. При этом изменяются только размеры вала, стяжных болтов и плиты.

Недостатками секционной конструкции корпуса являются сложность монтажа и малая доступность рабочих колес для осмотра.

Для осмотра и ремонта колес секционного насоса необходимо удалить стяжные болты и последовательно снять все секции при одновременной разборке ротора.

Корпус с горизонтальным разъемом состоит из двух цельнолитых (из чугуна или стали) половин, из которых нижняя несет всасывающий и напорный патрубки. Последнее, впрочем, не обязательно, хотя создается большое удобство при разборке и ремонте насоса.

У насосов такого типа каналы проточной части (подвод и отвод) выполняются непосредственно в отливке корпуса. Это позволяет придать им форму, наиболее благоприятную в гидродинамическом отношении. Однако требования к точности размеров отливки и к качеству (шероховатости) поверхности каналов проточной части должны быть высоки.

Технологические трудности получения в отливе проточной части многоступенчатых насосов точных размеров и высокой степени чистоты поверхности каналов делают во многих случаях целесообразным выполнение элементов проточной части корпуса в форме отдельных деталей: направляющего аппарата и обратного канала. Такое конструктивное исполнение позволяет обеспечить точность размеров и чистоту поверхности механической обработкой. Одновременно возможно дифференцированное применение материалов.

Материал для корпусов насосов выбирается из соображений прочности и коррозионной стойкости. Наиболее распространенным материалом является чугун или углеродистая сталь. Значительными достоинствами в качестве материала для корпусов насосов обладает модифицированный чугун, имеющий более высокие механические свойства при относительно простой технологии производства.

Вал насоса является весьма ответственной деталью; при высокой частоте вращения он подвергается действию больших поперечных сил. При расчете вала на прочность и жесткость учитываются следующие внешние нагрузки: передаваемый от двигателя крутящий момент, собственный вес вала и посаженных на него деталей,

поперечные силы, обусловливаемые несимметричным подводом и отводом жидкости и неточностью балансировки колес.

Валы изготавливаются из проката или поковок. В том и другом случае выполняется механическая обработка. Материалом для валов служат углеродистая конструкционная и специальная легированные стали.

Вал с посаженными на него деталями носит название ротора насоса. Роторы центробежных насосов балансируют, причем у мелких насосов производится статическая, а у крупных статическая и динамическая балансировка.

Основное назначение втулок – предохранить вал от коррозии, эрозии и износа. Существует большое разнообразие втулок по назначению и конструктивным признакам. Наиболее ответственными являются втулки вала в зоне концевых уплотнений насоса. В зависимости от типа уплотнения меняется и назначение втулок.

Например, при мягких сальниковых уплотнениях втулки служат для предупреждения износа вала набивки. Выполняются такие втулки с гладкой, твердой, цилиндрической поверхностью, обработанной с высокой степенью чистоты.

Втулки на валу фиксируются шпонками. В осевом направлении они зажимаются гайками вала. Для предотвращения протечек жидкости под втулкой предусматриваются специальные уплотнения.

Материал втулок выбирается в зависимости от их назначения. Для повышения износостойкости втулок из обычных материалов применяются: поверхностная металлизация (азотирование, борирование и т.д.); упрочнение (накатка роликом и др.) или наплавка твердым сплавом (стеллитом, сормайтом). Одним из простых способов является хромирование гальваническим способом с нанесением слоя толщиной 0,2 мм. В корытообразных кронштейнах корпуса насоса устанавливаются подшипники. При сборке насоса подшипники регулировочными винтами могут перемещаться в плоскости, перпендикулярной оси насоса. После того как ротор займет нужное положение, подшипники фиксируются штифтом.

Для малых и средних насосов в качестве радиальных опор применяются шарико- и роликоподшипники. Смазка этих подшипников либо консистентная, либо жидкая с помощью смазочных колец.

При больших окружных скоростях работоспособность шарикоподшипников резко снижается. Поэтому в крупных насосах в

качестве радиальных опор часто применяются подшипники скольжения, которые при правильной установке и эксплуатации имеют практически неограниченный срок службы.

Крупные насосы большой подачи выполняются с подшипниками скольжения. В одних случаях применяется смазка с помощью колец, висящих свободно на валу и поднимающих масло на вал из ванн в корпусе подшипника; в других случаях масло подается в подшипники при помощи насоса.

В качестве примера рассмотрим конструкции трех основных центробежных насосов: консольного, спирального с горизонтальным разъемом и секционного.

Особенности конструкций центробежных насосов серии К, Д, ЦНС

4.2.1.**Консольный насос** состоит из следующих основных элементов: рабочего колеса, подводящего патрубка, спирального корпуса, сальникового уплотнения, гидравлического затвора, вала, опорного кронштейна, подшипников, втулки, стяжных и крепежных деталей.

На рис. 18 представлен продольный разрез консольного насоса 4К-8.

Рабочее колесо 4 (закрытой конструкции, одностороннего всасывания, чугунное) посажено на вал 11 на шпонке и закреплено гайкой 5 с левой резьбой. В коренном диске рабочего колеса имеются отверстия и уплотнительное кольцо для уравновешивания осевой силы.

Подвод выполнен в виде конического подводящего патрубка (конфузора) 2 с прямой осью.

Отвод – спирального типа, состоит из спирального канала грушевидного сечения и диффузора. Спиральный канал является внутренней полостью чугунного корпуса 6, который отлит заодно с напорным патрубком, выполняющим роль диффузора. В верхней и нижней частях корпуса имеются отверстия, закрытые пробками. Верхнее предназначено для выпуска воздуха при заливке насоса перед пуском, нижнее – для слива перекачиваемой жидкости при осмотре и ремонте.

Подводящий патрубок (подвод) отлит заодно с крышкой корпуса и обеспечивает осевой вход жидкости в рабочее колесо. Уже отмечалось, что такой тип подвода обеспечивает протекание потока в канале с минимальными гидравлическими потерями и является лучшим типом подводов. Пробка 1 на фланце подводящего патрубка закрывает отверстие для заливки насоса перед пуском.

На выходе вала из спирального корпуса установлено сальниковое уплотнение 8 с гидрозатвором.

Сальниковая набивка представляет собой пропитанную плетеную хлопчатобумажную набивку ХБП 10х10х173 (ГОСТ 5192-66). Гидрозатвор осуществляется подачей воды из задней пазухи рабочего колеса через отверстие в спиральном корпусе к кольцу 9. Кольцо имеет выточки и отверстия, через которые вода поступает к защитной втулке 10. При работе насоса в полости, образованной поверхностью защитной втулки и расточкой кольца сальника, образуется жидкостное кольцо, препятствующее просачиванию воздуха на вход в рабочее колесо через сальник и нагрузочные отверстия. Просачиваясь в зазор между сальниковой набивкой и защитной втулкой, вода охлаждает их. Поэтому чрезмерная затяжка сальника недопустима, так как может вызвать сгорание сальниковой набивки и преждевременный износ защитной втулки.

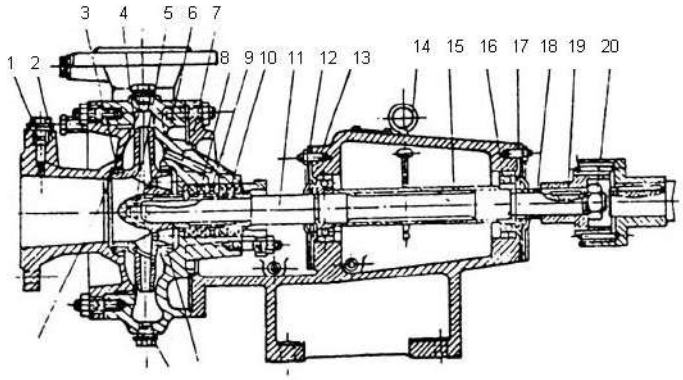


Рис. 18. Консольный насос 4К-8.

В корпусе и крышке по плотной посадке установлены чугунные уплотняющие кольца 3 для предупреждения износа корпусных деталей и уменьшения объемных потерь.

Два шарикоподшипника 16, установленные в подшипниковой камере кронштейна 7, служат опорами вала и воспринимают

оставшуюся неуравновешенную часть осевой силы. Внутренние кольца подшипников зажаты между гайкой 20 и заплечиком вала через полумуфту 19, распорную втулку 18 и распорную трубку 15, а возможное перемещение ротора вместе с подшипниками ограничено (с зазором 0,1-0,47 мм) упорными крышками 13.

Для смазки подшипников применяется жидкая смазка. Уровень масла контролируется масломером 14. Масляная ванна подшипников герметизирована уплотняющими кольцами и отражателями, установленными в крышках 17 кронштейнов. Кроме того, по торцовым плоскостям крышек и камер подшипников имеются прокладки 12.

Вал насоса соединен с валом электродвигателя с помощью упругой муфты.

Центробежные консольные насосы обладают рядом достоинств: относительно малой массой, габаритными размерами, облегчающими их транспортировку по горным выработкам, свободным доступом к рабочему колесу, что повышает ремонтноспособность насоса, простой конструкцией и относительно низкой стоимостью. Насосы типа К выпускаются девятнадцати типоразмеров.

В шахтных насосах применяются насосы 2К-6, 3К-6, 4К-6, 4К-8.

4.2.2. **Насосы типа Д** предназначены для перекачивания чистой неагрессивной воды температурой до 100^0С. В качестве примера рассмотрим конструкцию насоса 8 НДв-60, представленного на рис. 19. Рабочее колесо 9 двухстороннего всасывания посажено на валу 3 по скользящей посадке на шпонке и зажато с двух сторон защитными втулками 5 с левой и правой резьбой через проставки 7.

Подвод и отвод спирального типа выполнены в корпусе. Корпус с горизонтальным разъемом в плоскости, проходящей по оси вала, состоит из двух цельнолитых половин (чугун СЧ-18-36). Нижняя половина 12, входной и напорный патрубки представляют собой литую деталь. В этой части корпуса имеются резьбовые отверстия, закрытые пробками, для слива воды и кронштейны с лапами для крепления насоса на фундаменте.

Верхняя часть корпуса 10, называемая крышкой, крепится к нижней болтами. В верхней части имеется закрытое пробкой резьбовое отверстие, которое служит для заливки насоса перед пуском.

Благодаря расположению подводящего и напорного патрубка в нижней половине корпуса (под углом 180^0 друг к другу) имеется

возможность производить вскрытие насоса и ремонт ротора без демонтажа подводящего и напорного трубопроводов и снятия насоса с фундамента.

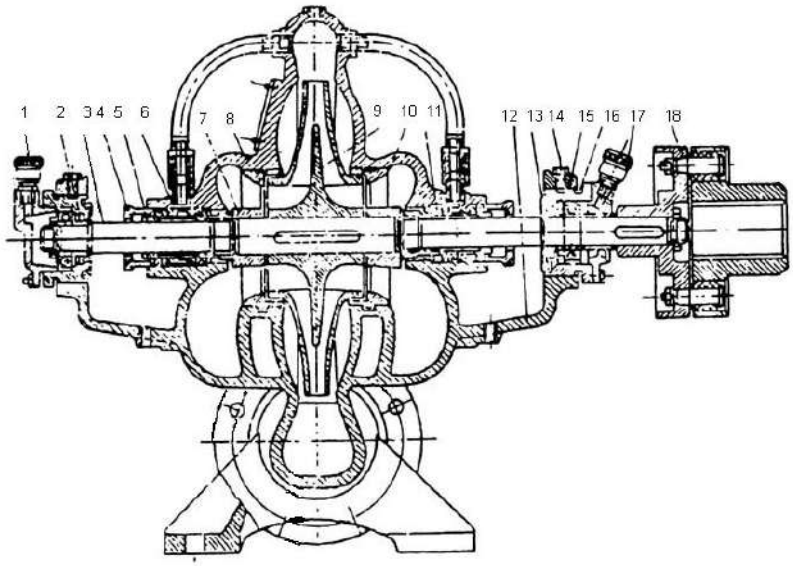


Рис. 19. Насос 8НДв-60.

Вал насоса опирается на подшипники 16, заключенные в чугунных корпусах 15. Крышки 1 крепят подшипники к кронштейнам корпуса 12. От проворачивания в кронштейне корпус подшипника удерживается винтом 14. В крышке подшипника устанавливается пресс-тавотница 17 для смазки подшипника.

Для предупреждения вытекания смазки в корпусе и крышке подшипника размещено уплотнение 2. Отбойные кольца 13 предохраняют подшипники от попадания воды, вытекающей из сальника.

Рабочее колесо уплотняется в корпусе насоса и крышке чугунными уплотняющими кольцами 8, установленными в корпусе и крышке по скользящей посадке. Нормальный зазор между уплотняющими кольцами и поясками рабочего колеса составляет 0,2-0,25 мм на сторону.

При неравномерном износе уплотняющих колес на роторе возникает неуравновешенная осевая сила, которая может вызвать поломку подшипника, что с одной стороны представляет повышенные требования к очистке перекачиваемой воды от механических примесей, а с другой – требует систематического контроля состояния уплотняющих колец и зазора в уплотнении.

Выход вала из корпуса уплотняется сальниковым уплотнением с гидрозатвором.

Сальниковая набивка, выполненная из плетеного хлопчатобумажного шнура, поджимается чугунной крышкой 4. Грундбуксы 11 предохраняют корпус от преждевременного износа.

Гидрозатвор осуществляется подачей воды из напорной полости крышки насоса по трубам к кольцам 6. Кольца имеют расточку и отверстия, через которые вода проходит к поверхности защитной втулки. При работе насоса вода, вращаясь вместе с защитной втулкой, образует в полости сальника гидравлическое кольцо, препятствующее проникновению воздуха через сальник. Кроме того, просачиваясь в зазор между защитной втулкой и кольцами сальниковой набивки, вода охлаждает сальник.

Привод насоса от электродвигателя осуществляется через втулочно-пальцевую муфту. Ведомая полумуфта 18 установлена на валу насоса на шпонке.

4.2.3. **Насосы центробежные секционные** предназначены, главным образом, для откачки нейтральной воды в горнорудной промышленности с содержанием механических примесей не более 0,2 % по весу при размере твердых частиц не более 0,2 мм. Для примера рассмотрим конструкцию насоса ЦНС-300-120…600 (рис. 20).

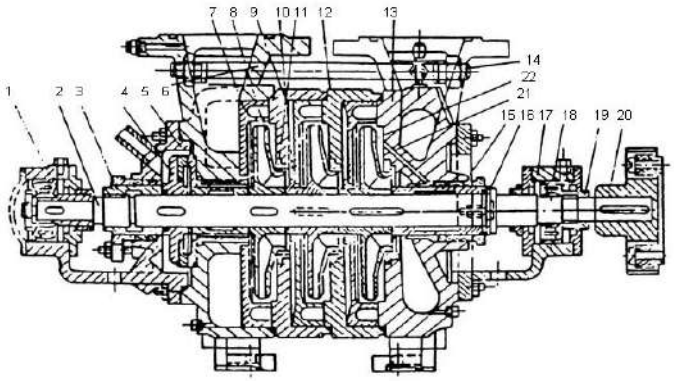


Рис. 20. Насос ЦНС 300-120…600.

Насос имеет от двух до десяти рабочих колес 8 закрытой конструкции одностороннего всасывания, выполненных из чугуна СЧ 21-40.

Подвод спирального типа выполнен в крышке всасывания насоса 13. Отвод представляет собой направляющий аппарат канального типа.

Рабочие колеса 8 посажены на вал 2. Кроме этого, на валу посажены: кольцо 16, защитная рубашка 15, дистанционная втулка 5, гидравлическая пята 4. Все перечисленные детали стягиваются на валу
гайкой 3 и образуют ротор насоса. Правильность установки ротора проверяется по контрольной риске, которая ставится на специальной гайке 19 заподлицо с крышкой подшипника со стороны муфты.

Статор (корпус насоса) включает: крышку всасывания 13, крышку нагнетания 6, секции 9 с направляющими аппаратами 7, кронштейны передний 17 и задний 1. В этих кронштейнах по скользящей посадке установлены два радиальных сферических роликоподшипника 18, что позволяет перемещаться ротору в осевом направлении.

Крышки всасывания, нагнетания и секции стягиваются стяжными шпильками 14. Стыки секций уплотняются резиновыми шнурами 12.

Места выхода вала насоса из корпуса уплотняются сальниковой набивкой, пропитанной антифрикционным составом. Для насосов этого типа набивка выполняется многослойная плетеная ПП16,. Кольца набивки устанавливаются с относительным смещением зазоров на 1200. Кроме сальникового уплотнения в месте выхода вала из корпуса насоса со стороны всасывания устанавливается гидравлическое уплотнение (гидрозатвор), исключающее засасывание воздуха через сальник. Вода под давлением, созданным первым рабочим колесом, через отверстие в крышке всасывания подводится к втулке гидрозатвора.

Внутренние уплотнения насосов – щелевые, образованные поясами рабочих колес и уплотняющими чугунными кольцами 10, 11. Внутренние поверхности уплотняющих колец и пояски рабочих колес закалены до твердости соответственно HRC 30…35 и HRC 35…40.

Для уравновешивания осевого усилия применяется гидравлическое разгрузочное устройство. С целью повышения износостойкости гидравлическая пята 4, изготовленная из стали

Ст.5, снабжена кольцом из стали 40х13. Кроме того, кольца гидропяты, гидропята и дистанционная втулка 5 закалены до твердости HRC 30…35.

Принцип действия гидравлического разгрузочного устройства описан выше.

Насосы приводятся во вращение электродвигателем через упругую втулочно-пальцевую муфту. Направление вращения – правое, по часовой стрелке со стороны электродвигателя. Полумуфта 20 на валу насоса посажена по напряженной посадке до упора в заплечик вала.

Для безопасности обслуживающего персонала муфта защищена кожухом. Работа без кожуха запрещается.

4.2.4 **Насосы ЦНС(К)** в достаточно полной мере покрывают поля потребных водоотливных режимов шахт, рудников и открытых горных разработок. Широко применяются они и в различных смежных отраслях промышленности: металлургической, химической и других. Насосы были разработаны еще в 40-х гг. прошлого века (удостоены Государственной премии СССР за 1946 г.), и с того времени их гидравлическая схема не претерпела сколько-нибудь существенных изменений, несмотря на проводимые модернизации (АЯП - МС(К) - ЦНС(К)).

Поэтому данные насосы не удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к шахтным центробежным насосам, как с точки зрения их экономичности, так и надежности работы. Применяемое в них для компенсации осевой силы гидравлическое разгрузочное устройство, состоящее из вращающегося диска и неподвижных элементов, является источником значительных объемных потерь (до 5-6 % и более от номинальной подачи насоса) и обладает низкой эксплуатационной надёжностью (наработка до отказа составляет в среднем всего 110... 140 часов). На загрязнённой воде наработка до отказа снижается до 60...80 часов, что создает большие проблемы при техническом обслуживании насосов. На протяжении всего времени эксплуатации насосов в горной промышленности предпринимались многочисленные попытки совершенствования их разгрузочных устройств с целью снижения объемных потерь и повышения надежности работы [5, 6 и др.]. Однако принципиального улучшения работы разгрузочных устройств

добиться не удалось, и шахтные секционные насосы, несмотря на некоторые свои очевидные преимущества в сравнении с насосами других типов, продолжают эксплуатироваться с низким уровнем эффективности. Главная причина этого кроется в несовершенной гидравлической схеме насоса, неотъемлемой составной частью которой является наличие гидравлического разгрузочного устройства. В связи с этим необходима разработка принципиально других схем секционных насосов, в которых компенсация осевых сил осуществлялась бы наиболее эффективным способом - симметричным расположением на валу рабочих колес одностороннего всасывания и применением рабочих колес двухстороннего всасывания. Данному требованию отвечают секционные двухпоточные насосы, состоящие из двух одинаковых групп секций, расположенных симметрично по отношению друг к другу. Такие насосы по предложению авторов разрабатываются в настоящее время на кафедре горной механики УГГУ. На рис. 21 приведена схема секционного двухпоточного насоса. Насос имеет два всасывающих входа, два всасывающего патрубка 1, рабочие колеса одностороннего всасывания, зеркально расположенные по отношению друг к другу в обеих группах насоса 2, выходную секцию с рабочим колесом двустороннего всасывания 3.

При создании таких насосов в первую очередь необходимо выполнение следующих основных требований:

- обеспечение идентичных условий входа жидкости на первые рабочие колеса обеих групп секций насоса;
- обеспечение одинаковых условий прохождения жидкости через обе группы секций;
- обеспечение идентичных условий перевода жидкости из последних секций обеих групп насоса в нагнетательный патрубок и далее в нагнетательный трубопровод;
- расположение продольных осей нагнетательного и общего всасывающего патрубков насоса должно быть в одной плоскости, проходящей через середину его проточной части;
- рабочие колеса в обеих группах насоса должны быть повернуты относительно друг друга на 180°.
- Отличительной особенностью рассматриваемых двухпоточных секционных насосов является техническая возможность комплектования их на базе серийных унифицированных узлов однопоточных насосов, выпускаемых в настоящее время. Прежде

всего это касается комплектов отдельных секций (корпус, рабочее колесо с уплотнениями, направляющий аппарат), одинаково используемых в насосах обеих типов. При этом следует иметь в виду, что направление изгиба лопаток рабочих колес разных групп секций должно быть противоположным (при рабочем направлении вращения вала лопатки должны быть идентично отогнуты назад у обеих групп насоса).

- Из конструкции двухпоточного насоса помимо всего комплекта разгрузочного устройства устраняется также задняя крышка, которую заменяет передняя всасывающая крышка и,
- таким образом, насос будет иметь два одинаковых комплекта всасывающих крышек с гидрозатворами и сальниковыми уплотнениями, что повысит степень унификации его узлов и удешевит производство. Что касается валов и стяжных болтов, то они могут быть полностью идентичными аналогичным узлам однопоточных насосов. Таким образом, переход заводского производства с однопоточных насосов на двухпоточные может быть осуществлён с минимальными затратами на перевооружение производства. Конечно, при этом не исключается совершенствование (конструктивное или технологическое) каких-либо узлов насосов или их схем.

- Сравнительный типоряд двухпоточных секционных насосов, создаваемых на базе существующих однопоточных, приведен в таблице 3.14. Он разработан на основе использования существующей элементной базы заводов-изготовителей однопоточных насосов с учётом изложенных выше замечаний и предложений. При этом в качестве выходной секции двухпоточного насоса принята секция с рабочим колесом двустороннего всасывания. С учетом этого минимальный напор насоса (группы секций) будет соответствовать напору двух рабочих колес (первого одностороннего и второго двустороннего всасывания).

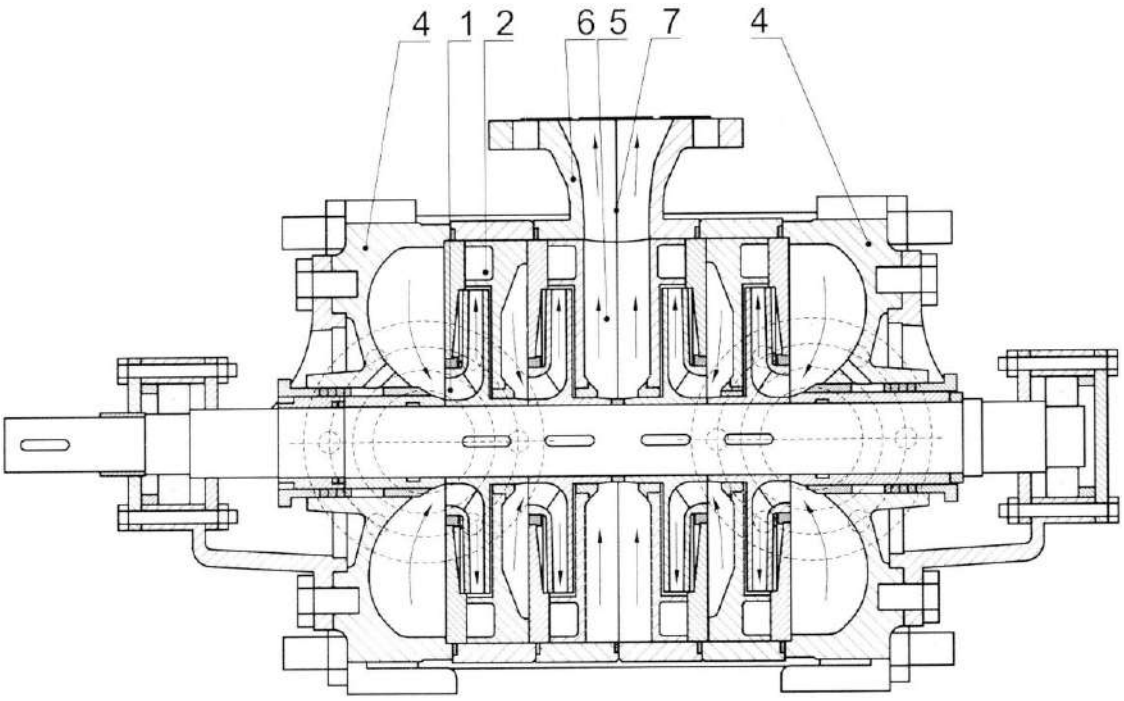


Рис. Секционный двухпоточный насос: стрелками показано движение воды от полости всасывания через рабочие колеса в полость нагнетания

- Таблица№

- Сравнительная оценка секционных насосов

Однопоточная схема			Двухпоточная схема		
Обозначение	номинальная подача, м'/ч	номинальный напор, мм вод. ст.	Обозначение	номинальная подача, мУч	номинальный напор, мм вод. ст.
ЦНС 13-70...350	13	70... 350	ЦНСЛ 26-70...175	26	70... 175
ЦНС 38-44...220	38	44...220	ЦНСД 76-44...110	76	44... 1 10
ЦНС 60-66...330	60	66...330	ЦНСД 120-66...165	120	66... 165
ЦНС 105-98...490	105	98...490	ЦНСД 210-98...245	210	98...245
ЦНС 180-85...425	180	85...425	ЦНСД 360-85...212	360	85...212
ЦНС 180-500...900	180	500... 900	ЦНСД360-300...500	360	300... 500
ЦНС 300-120...600	300	120... 600	ЦНСД600-120...300	600	120-300

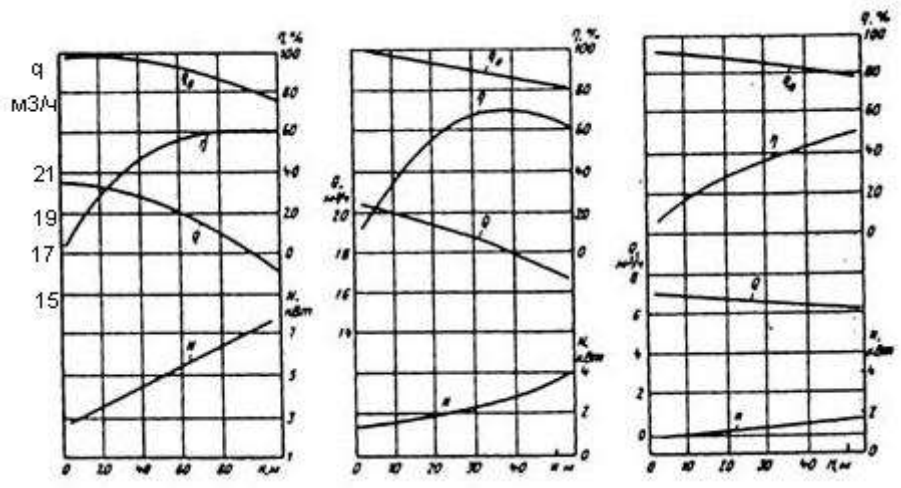
ЦНС 300-650... 1300	300	650... 1300	ЦНСД 600-260...650	600	260... 650
ЦНС 500-160...800	500	160... 800	ЦНСД 1000-160...400	1000	160- 400
ЦНСГ850-240...	850	240... 960	ЦНСД 1700-240... 480	1700	240-480
ЦНС 180-1050... 1900	180	1050... 1900	ЦНСД 360-380...950	360	380-950
ЦНС 630-1700	630	1700	ЦНСД 1260-850	1260	850

Анализ таблицы 2 показывает, что типоряд секционных двухпоточных насосов даже на существующей элементной базе заводов-изготовителей может покрывать основную часть потребных водоотливных режимов горных предприятий. По номинальной подаче секционные двухпоточные насосы (от 26 до 1700 $м^3$/ч) практически в полном объеме могут заменить менее совершенные в конструктивном отношении шахтные спиральные насосы типов ЦН, МД, НД и др., имеющие номинальные подачи 250...2000 $м^3$/ч при напоре, в большинстве случаев не превышающем 350...400 м.

Следует сказать, что спиральные насосы обладают повышенными массогабаритными показателями, невозможностью регулирования их напора изменением числа рабочих колес, низким уровнем технологичности и унификации. Замена их на более совершенные секционные двухпоточные насосы позволит существенно повысить эффективность насосного оборудования горных предприятий.

Винтовые насосы 1В20/10, 1В20/5 и 1В6/5

Одновинтовые насосы 1В20/10, 1В20/5 и 1В6/5 изготовляемые в соответствии с ГОСТ18863-73 и ТУ 26-06-526-70, предназначены для перекачивания чистой загрязненной нейтральной воды с содержанием механических примесей до 5% по массе при величине твердых частиц не более 2-3мм. Температура перекачиваемой жидкости не должна превышать 50^0С.



1В20/10 1В20/5 1В6/5

Рис. 21. Характеристики насосов.

При соблюдении правил эксплуатации и использовании насосов по назначению завод гарантирует ресурс насосов до капитального ремонта 750ч.

Насосы рекомендуются к использованию для участкового и местного водоотлива шахт, для водоотлива из зумпфов и водосборников при проведении уклонов, наклонных стволов и горизонтальных выработок с притоками неагрессивной воды до 5м^3/ч для насосов 1В6/5 и до 15м^3/ч для насосов 1В20/10, 1В20/5.

Обозначение насосов состоит из цифры 1 и буквы В, обозначающих сокращенное наименование (одновинтовой), и дроби, числитель которой указывает округленное значение подачи (л) на 100 оборотов винта, знаменатель – давление нагнетание (кгс/см^2).

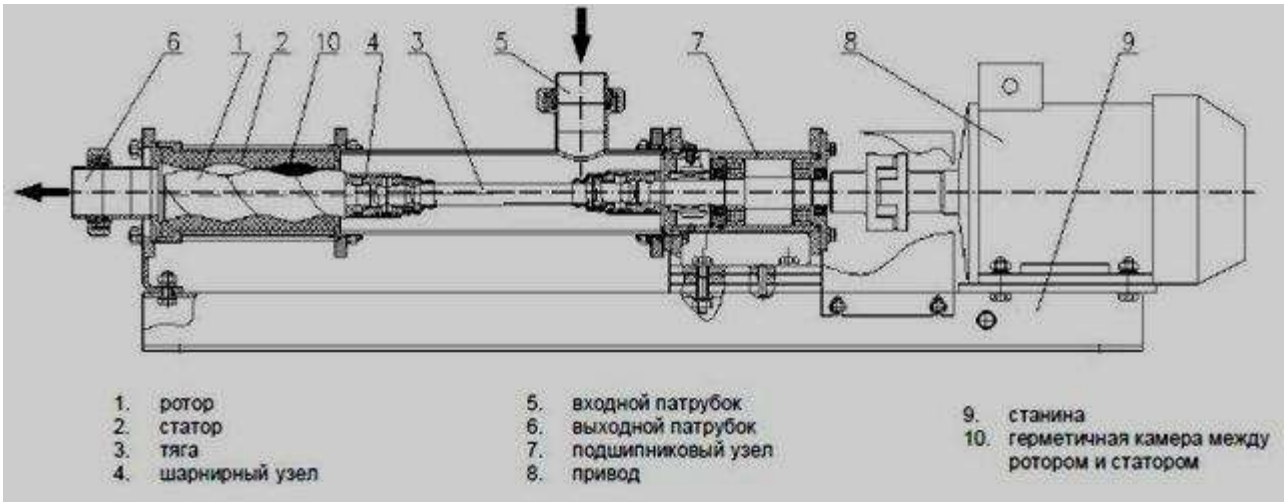


Рис. 22. Насос 1В20/10

На рис. 21. Приведены характеристики насосов.

Присоединительные параметры фланцев даны в таблице 1.

Конструкция всех трех типов насосов одинакова. Насос (рис. 22.) состоит из следующих основных узлов: рабочей и опорной частей, карданного вала, эластичной муфты со стопорным устройством и перепускного устройства.

Насос и электродвигатель смонтированы на раме 1. Рама насосов 1В20/10 и 1В20/5 изготовлена из швеллера №10, а насоса 1В6/5 – из швеллера №8 и для удобства транспортировки выполнена в виде салазок.

Рабочая часть насоса состоит из стального однозаходного винта 7, резиновой обоймы 6 и чугунного всасывающего корпуса 3.

Однозаходный винт и двухзаходная обойма является рабочими органами насоса, сообщающими энергию перекачиваемой жидкости.

Таблица 1

Присоединительные параметры	Насосы					
	1В20/10	1В20/5	1В6/5	1В20/10	1В20/5	1В6/5
	Подводящий патрубок			Напорный патрубок		
Диаметр, мм:						
Фланца внутренний	80	80	40	70	70	32
Фланца наружный	180	180	130	185	185	135
Отверстий под болты	18	18	14	18	18	18
Окружности по центрам болтов	145	145	100	150	150	100
Число отверстий под болты	4	4	4	4	4	4

Центры поперечных сечений (рис. 23.) рабочего винта находятся на винтовой линии, ось которой является осью вращения винта. Эксцентриситет е-расстояние центра сечения винта от его оси – для насосов 1В20/10 и 1В20/5 составляет 6мм, шаг винта – 80мм, для насоса 1В6/5 – составляет 5 и72мм.

Обойма состоит из стальной обрезиненной изнутри трубы диаметром 105мм у насосов 1В20/10 и 1В20/5 и диаметром 847мм у насоса 1В6/5. Для лучшего соединения резины с металлом внутренняя поверхность трубы имеет винтовую нарезку и латунное

покрытие. Внутренняя резиновая поверхность имеет двухзаходный винтовой профиль с шагом, в два раза больше шага винта.

Поперечные сечения полости обоймы одинаковы вдоль оси, но повернуты относительно друг друга и образованы двумя полуокружностями и двумя касательными к ним. Диаметр полуокружности (ширина полости) на 0,4-0,7мм меньше диаметра винта, что обеспечивает необходимое уплотнение рабочих органов и минимум объемных потерь.

Уплотнение стыков обоймы со всасывающим 3 (см. рис. 22.) и опорным 8 корпусами осуществляется прокладками из картона. Обойма зажата между корпусами с помощью стяжных шпилек.

Основные детали опорной части: опорный корпус и приводной вал 14. Чугунный опорный корпус закреплен на раме. Его передняя часть выполнена в виде нагнетательного корпуса с сальниковой коробкой и фланцем нагнетания, а задняя является камерой подшипников приводного вала.

В сальниковой коробке установлена плетеная хлопчатобумажная набивка, которая поджимается грундбуксой и смазывается солидолом с помощью колпачковой масленки. Стальное кольцо 12 с отверстием служит резервуаром для смазки сальника. Для предохранения от преждевременного износа поверхности вала под сальником установлена стальная защитная втулка 13. Затяжка сальника не должна быть чрезмерно во избежание сгорания сальниковой набивки и преждевременного износа защитной втулки. Нормальное количество просачивающейся через сальник воды – 0,5 л/ч.

Крутящий момент от электродвигателя передается приводному валу через упругую втулочно-пальцевую муфту. Ведомая полумуфта 20 посажена на приводном валу на шпонке и закреплена гайкой со стопорной шайбой. Приводной вал передает вращение от двигателя карданному валу 5.

Передней опорой 16 приводного вала в насосах 1В20/10 и 1В20/5 служит радиально упорный подшипник № 46310, в насосах 1В6/5 – подшипник такого же типа № 46308. Задняя опора 17 вала – радиальный однорядный подшипник № 409 в

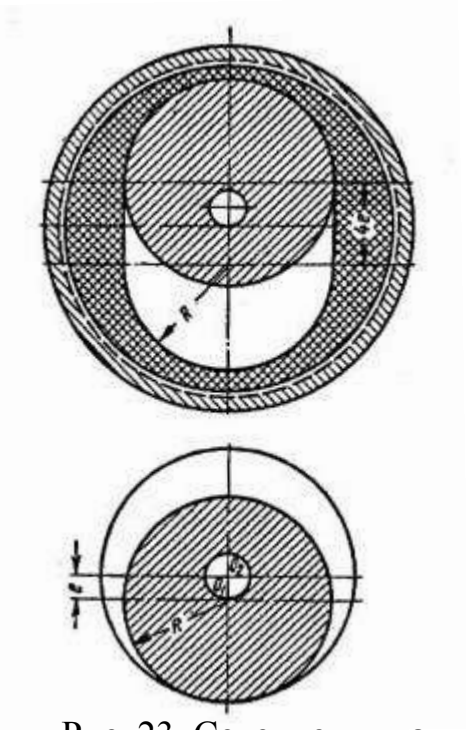


Рис. 23. Сечение винта и обоймы винтового насоса.

насосах 1В20/10 и 1В20/5 и подшипник № 308 в насосе 1В6/5. Камера подшипников герметизирована войлочным уплотнениями, установленными в стальных втулке 15 и крышке 18. Крышка имеет на ступице семь зубьев, в которые входят три шарика, размещенные в наклонных отверстиях ведомой полумуфты. При вращении вала по часовой стрелке ведомая полумуфта увлекает шарики, которые центробежной силой отбрасываются от поверхности зубьев и не препятствуют вращению приводного вала. При вращении вала против часовой стрелки шарики упираются в радиальные стенки зубьев стальной крышки и стопорят вал. Выпадение шариков из наклонных отверстий предупреждается предохранительным кольцом 19, закрепленным на ведомой полумуфте.

Карданный вал размещен внутри полого рабочего винта. Ведущая муфта 11 соединяет приводной вал с карданным, а ведомая 4 – карданный вал с рабочим винтом. Карданный вал имеет шары по концам. Ведущая и ведомая муфты закреплены на рабочем винте и приводном валу и имеют расточки, в которых установлены сферические вкладыши 10. Пальцы 2, соединяющие шары карданного вала и муфты, вместе с втулками муфт составляют шарнир карданного вала. Втулки и пальцы шарнира предохраняются от выпадения кольца, закрепленными на муфтах. Шарнирное соединение рабочего винта с карданным валом закрыто крышкой, предохраняющей его от попадания механических примесей перекачиваемой воды. Для герметизации шарнирного соединения карданного и приводного валов используется резиновый сильфон 9, закрепленный одной стороной на рабочем винте, другой – на ведущей муфте.

Винтовые насосы имеют жесткую характеристику; их подача мало меняется с изменением напора. При увеличении напора подача лишь незначительно уменьшается из-за увеличения объемных потерь. Поэтому для регулирования подачи применяется перепускное устройство, которое состоит из трубок и проходного крана, соединяющих всасывающий и опорный корпус.

При открытии крана часть перекачиваемой воды возвращается из полости нагнетания во всасывающий корпус, тем самым уменьшается подача насоса. Кроме того, при открытии крана на время пуска обеспечиваются постоянная циркуляция перекачиваемой воды внутри насоса и самовсасывание. После пуска кран перекрывается, чтобы избежать излишних потерь.

При перекачивании шлама или воды с большим содержанием взвешенных частиц необходимо по окончании работы промыть насос

чистой водой, так как осевший шлам может вызвать поломку при включении. Для очистки насоса от шлама в нижней части всасывающего корпуса имеет отверстие, закрываемое пробкой.

Винтовые насосы обладают рядом преимуществ, благодаря которым они нашли широкое применение в шахтном водоотливе.

Небольшая масса и габариты насосных агрегатов, а также наличие жесткой рамы, выполненной в виде салазок, облегчают их транспортировку по горным выработкам. Насосы не требуют установки на фундаменте и могут работать на неровной почве и в наклонном положении. Благодаря способности самовсасывания облегчается автоматизация насосных установок.

Рабочие органы насосов хорошо противостоят абразивному воздействию загрязненной воды. Простая конструкция и малое число составляющих деталей способствуют надежной работе насоса. Их обслуживание не требует квалифицированного персонала и систематического ухода.

Винтовые насосы серийно выпускаются заводом им. Гаджиев (г. Махачкала).

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение подвода и отвода?
2. Каково назначение уплотнения со стороны переднего и заднего дисков рабочего колеса?
3. Что произойдет, если засорится гидрозатвор?
4. Почему происходит повышенный износ съемных колец на разгрузочном диске?
5. Как осуществляется разгрузка осевого усилия в насосах типа К, Д и ЦНС? Покажите на насосе эти устройства.
6. Каково назначение сальниковой набивки?
7. Как маркируются центробежные насосы?
8. Перечислите и покажите на насосе все виды уплотнений, применяемых в центробежных насосах.
9. Из чего изготовлена и чем пропитана сальниковая набивка?
10. Зачем необходимо просачивание жидкости через сальниковую набивку?
11. Каково назначение отверстий в заднем диске рабочего колеса насоса типа К?
12. Какова причина возникновения осевого усилия в центробежных насосах?

13. Каково назначение направляющего аппарата в насосе типа ЦНС?

14. Перечислите основные элементы рабочего колеса.

15. Покажите движение жидкости по проточной части насосов.

16. Что достигается установлением рабочего колеса двухстороннего всасывания в насосах типа Д?

17. Назовите типы направляющих аппаратов в насосе типа ЦНС.

18. Перечислите детали, посаженные на вал насоса.

19. Из чего состоит статор насоса?

20. Каково назначение гидрозатвора? Покажите его на насосе.

21. Как проверяется правильность установки ротора насоса?

22. Как крепятся рабочие колеса на вал?

23. Перечислите состав отвода и покажите его составные элементы на насосе.

24. Каково назначение верхнего и нижнего отверстий на корпусе насоса типа К, покажите их.

25. Каким образом осуществляется смазка подшипников насоса типа К?

Станок-качалка

Станок-качалка — один из элементов эксплуатации нефтедобывающих скважин штанговым насосом. Операторы по добыче нефти и газа определяют это оборудование как: «Индивидуальный балансирный механический привод штангового насоса».

Станок-качалка является важным видом нефтегазового оборудования и используется для механического привода к нефтяным скважинным штанговым (плунжерным) насосам. Конструкция станка-качалки представляет собой балансирный привод штанговых насосов, состоящий из редуктора и сдвоенного четырехзвенного шарнирного механизма.

В России изготавливаются станки-качалки 13 типоразмеров по ГОСТ 5688-76. Изготовителями станков-качалок в России является ЗАО «ЭЛКАМ-Нефтемаш» (г. Пермь), АО «Ижнефтемаш» (г. Ижевск), ОАО «Уралтрансмаш» (г. Екатеринбург), ЗАО «Нефтепром-Сервис» (г. Ижевск), ОАО «Редуктор» (г. Ижевск). ОАО Альметьевский насосный завод / АЛНАС

Изготовители за рубежом: «Вулкан» (г. Бухарест, Румыния), «Lufkin» (США), Ирон-МЭН (Китай).

Конструкция:

Станок-качалка устанавливается на специально подготовленном фундаменте (обычно бетонном), на котором устанавливаются: платформа, стойка и станция управления. После первичного монтажа на стойку помещается балансир, который уравновешивает т. н. головкой балансира. К ней же крепится канатная подвеска (последняя соединяет балансир с полированным сальниковым штоком).

На платформу устанавливается редуктор и электродвигатель. Иногда электродвигатель расположен под платформой. Последний вариант имеет повышенную опасность, поэтому встречается редко. Электродвигатель соединяется с маслонаполненным понижающим редуктором через клиноременную передачу. Редуктор же, в свою очередь, соединяется с балансиром через кривошипно-шатунный механизм. Этот механизм преобразует вращательное движение вала редуктора в возвратно-поступательное движение балансира.

Станция управления представляет собой коробочный блок, в котором расположена электрика. Вблизи станции управления (или прямо на ней) выведен ручной тормоз станка-качалки. На самой станции управления расположен ключ (для замыкания электросети) и амперметр. Последний — очень важный элемент, особенно в работе оператора ДНГ (дистанционный нагнетательный газолифт). Нулевая отметка у амперметра поставлена в середину шкалы, а стрелка-указатель движется то в отрицательную, то в положительную область. Именно по отклонению влево - вправо оператор определяет нагрузку на станок - отклонения в обе стороны должны быть примерно равные. Если же условие равенства не выполняется,

значит, станок работает вхолостую.

Характеристики:

Характеристики различных видов станков-качалок представлены в таблице:

Станок-качалка	Число ходов балансира в мин.	Масса, кг	Редуктор
СКДЗ-1,5-710	5.15	3270	Ц2НШ-315
СКД4-2,1-1400	5.15	6230	Ц2НШ-355
СКД6-2,5-2800	5.14	7620	Ц2НШ-450
СКД8-3,0-4000	5.14	11600	НШ-700Б
СКД10-3,5-5600	5,12	12170	Ц2НШ-560
СКД 12-3,0-5600	5,12	12065	Ц2НШ-560

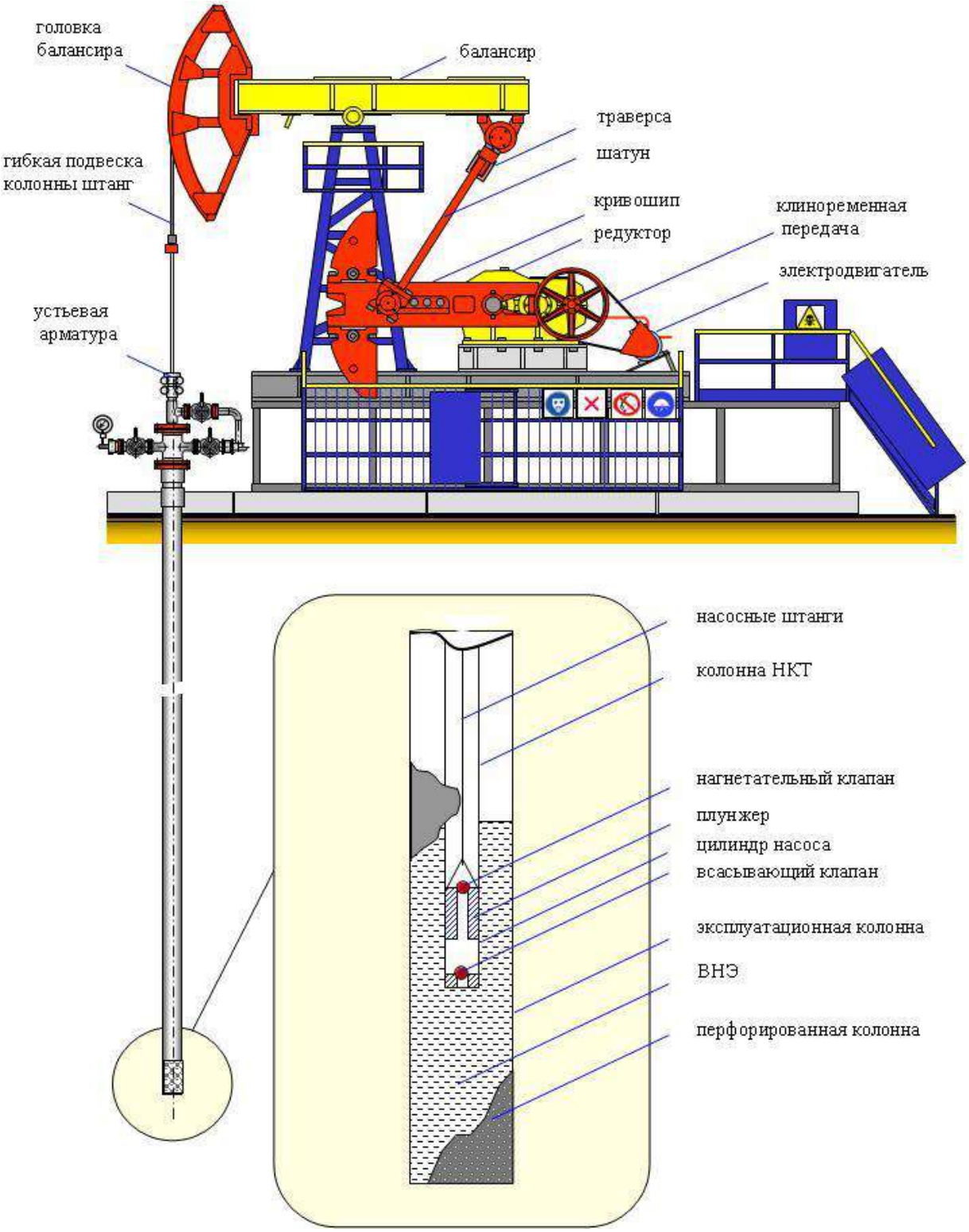


Рис. Конструкции станка насоса-качалки

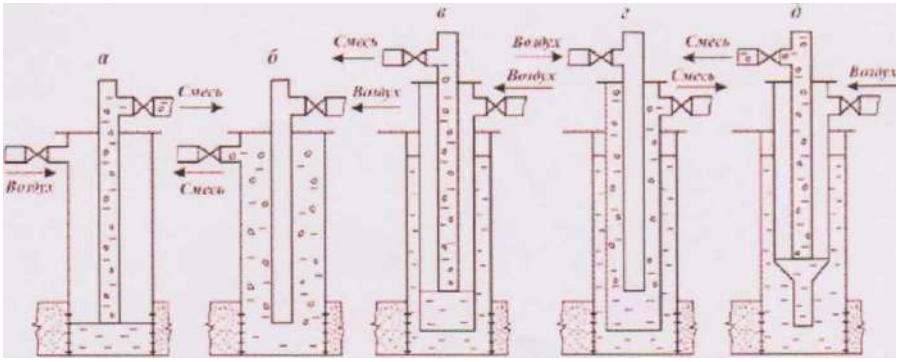


Рис. Схемы газлифта

вводят дополнительную энергию извне (с поверхности). Одним из таких способов, при котором вводят энергию в виде сжатого газа, является газлифт.

Газлифт (эрлифт) — система, состоящая из эксплуатационной (обсадной) колонны труб и опущенных в нее НКТ (насосно-компрессорные труба или напорная труба), в которой подъем жидкости осуществляется с помощью сжатого газа (воздуха). Иногда эту систему называют газовый (воздушный) подъемник. Способ эксплуатации скважин при этом называется газлифтным.

По схеме подачи от вида источника рабочего агента - газа (воздуха) различают компрессорный и безкомпрессорный газлифт, а по схеме действия — непрерывный и периодический газлифт.

В затрубное пространство нагнетают газ высокого давления, в результате чего уровень жидкости в нем будет понижаться, а в НКТ - повышаться. Когда уровень жидкости понизится до нижнего конца НКТ, сжатый газ начнет поступать в НКТ и перемешиваться с жидкостью. В результате плотность такой газожидкостной смеси становится ниже плотности жидкости, поступающей из пласта, а уровень в НКТ будет повышаться. Чем больше будет введено газа, тем меньше будет плотность смеси и тем на большую высоту она поднимется. При непрерывной подаче газа в скважину жидкость (смесь) поднимается до устья и изливается на поверхность, а из пласта постоянно поступает в скважину новая порция жидкости.

Дебит газлифтной скважины зависит от количества и давления нагнетаемого газа, глубины погружения НКТ в жидкость, их диаметра, вязкости жидкости и т.п.

Конструкции газлифтных подъемников определяются в зависимости от числа рядов насосно-компрессорных труб, спускаемых в скважину, и направления движения сжатого газа. По числу спускаемых рядов труб подъемники бывают одно- и

двухрядными, а по направлению нагнетания газа — кольцевыми и центральными (см. рис. 13.2).

При однорядном подъемнике в скважину спускают один ряд НКТ. Сжатый газ нагнетается в кольцевое пространство между обсадной колонной и насосно-компрессорными трубами, а газожидкостная смесь поднимается по НКТ, или газ нагнетается по насосно-компрессорным трубам, а газожидкостная смесь поднимается по кольцевому пространству. В первом случае имеем однорядный подъемник кольцевой системы (см. рис. 13.2,а), а во втором — однорядный подъемник центральной системы (см. рис. 13.2,6).

При двухрядном подъемнике в скважину спускают два ряда концентрически расположенных труб. Если сжатый газ направляется в кольцевое пространство между двумя колоннами НКТ, а газожидкостная смесь поднимается по внутренним подъемным трубам, то такой подъемник называется двухрядным кольцевой системы (см. рис. 13.2,в). Наружный ряд насосно-компрессорных труб обычно спускают до фильтра скважины.

При двухрядном ступенчатом подъемнике кольцевой системы в скважину спускают два ряда насосно-компрессорных труб, один из которых (наружный ряд) ступенчатый; в верхней части — трубы большего диаметра, а в нижней — меньшего диаметра. Сжатый газ нагнетают в кольцевое пространство между внутренним и наружным рядами НКТ, а газожидкостная смесь поднимается по внутреннему ряду.

Если сжатый газ подается по внутренним НКТ, а газожидкостная смесь поднимается по кольцевому пространству между двумя рядами насосно - компрессорных труб, то такой подъемник называется двухрядным

центральной системы (см. рис. 13.2,г).

Недостатком кольцевой системы является возможность абразивного износа соединительных труб колонн при наличии в продукции скважины механических примесей (песок). Кроме того, возможны отложения парафина и солей в затрубном пространстве, борьба с которыми в нем затруднительна.

Преимущество двухрядного подъемника перед однорядным в том, что его работа происходит более плавно и с более интенсивным выносом песка из скважины. Недостатком двухрядного подъемника является необходимость спуска двух рядов труб, что увеличивает металлоемкость процесса добычи. Поэтому в практике

нефтедобывающих предприятий более широко распространен третий вариант кольцевой системы — полуторарядный подъемник (см. рис. 13.2,д), который имеет преимущества двухрядного при меньшей его стоимости.

Использование газлифтного способа эксплуатации скважин в общем виде определяется его преимуществами.

Возможность отбора больших объемов жидкости практически при всех диаметрах эксплуатационных колонн и форсированного отбора сильнообводненных скважин.

Эксплуатация скважин с большим газовым фактором, т.е. использование энергии пластового газа.

Малое влияние профиля ствола скважины на эффективность работы газлифта, что особенно важно для наклонно-направленных скважин, т.е. для условий морских месторождений и районов освоения Севера и Сибири.

Отсутствие влияния высоких давлений и температуры продукции скважин, а также наличия в ней мехпримесей (песка) на работу скважин.

Гибкость и сравнительная простота регулирования режима работы скважин по дебиту.

Простота обслуживания и ремонта газлифтных скважин и большой межремонтный период их работы при использовании современного оборудования.

Возможность применения одновременной раздельной эксплуатации, эффективной борьбы с коррозией, отложениями солей и парафина, а также простота исследования скважин.

Указанным преимуществам могут быть противопоставлены недостатки

Большим недостатком установок глубинных штанговых насосов является наличие переменных упругих деформаций длинной колонны штанг, большая металлоемкость, необходимость строительства свайного поля и установки станка-качалки, быстрый износ оборудования и выход из строя насосной установки. Результатом является значительное снижение коэффициента подачи глубинного насоса, так как в пластовой жидкости всегда содержится газ. Повышение коэффициента подачи здесь возможно только за счет увеличения длины хода поршня, так как при этом уменьшается относительная величина вредного пространства по отношению к объему, описываемому поршнем. Основным их недостатком является

наличие механической связи между станком-качалкой и насосом в виде длинной колонны штанг, которая, не обладая достаточной прочностью и ограничивая передаваемую насосу мощность, снижает надежность и межремонтный срок работы установки и скважины. А основными причинами отказов ШСНУ, как правило, являются протёртости штанг и труб, утечки в клапанах, не герметичность плунжера, соле- и парафиноотложения, коррозия металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: Учеб. для вузов.-М.: Недра, 1987.-270 с.

2. Бондаренко А.Д., Дулин В.С. Шахтные вентиляторы: Серия плакатов.-М.: Недра, 1982.-11 листов.

3. Горохов Ю.Д., Раскин И.А., Иванов С.К. Новые конструкции вентиляторов местного проветривания и опыт их эксплуатации.-М.: ЦНИИЭИуголь, 1963.-54 с.

4. Картавый Н.Г. Стационарные машины: Учеб. для вузов.-М.: Недра,1981.-327 с.

5. Методические указания к серии плакатов ″Шахтные вентиляторы″ /Дулин В.С., Бондаренко А.Д..-М.: УМК по горному образованию Минуглепрома СССР, 1982.-55 с.

6. Методические указания по проектированию шахтных вентиляторных установок главного проветривания /Дулин В.С..-Донецк: ДПИ, 1986.-56 с.

7. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах.-М.: Недра, 1986.-447 с.

8. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания: Справочник /Бабак Г.А., Бочаров К.П., Волохов А.Т. и др.-М.: Недра, 1982.-296 с.

9. Методические указания к выполнению лабораторных работ по конструкциям насосов и вентиляторов (для студентов горных специальностей) /Сост. В.С.Дулин, Л.Н.Козыряцкий, В.Б.Малеев, А.Ф.Яценко.-Донецк: ДПИ, 1988.-56 с.

10. Касьянов В. М., Жукова Т. И. Насосы и компрессоры: Методическое пособие для студентов-заочников. МИНХ и ГП, 1968, 44 с.

11. Ивановский В. Н., Дарищев В. И., Каштанов В. С. Сабиров А. А., Пекин С. С. Оборудование для добычи нефти и газа. Часть 1. Учебное пособие. Нефть и газ, 2002.

12. Ивановский В. Н., Сабиров А. А., Пекин С. С. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти. М. Нефть и газ, 2003.

13. Вайншток С. М., Молчанов А. Г. Подземный ремонт и бурение скважин с применением гибких труб. Справочное пособие. Нефть и газ, 2003.

14. Стеклов О. А., Протасов В. Н. Физико-химическая механика металлов и конструкций. Конспект лекций. МИНГ, 1900, 96 с.

Авторы: **Потапов В. Я.,**
Белов С. В.,
Макаров Н. В.,
Горшкова Э. М.

КОНСТРУКЦИИ НАСОСОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ: Учебное пособие по выполнению лабораторных и практических работ для студентов специальностей 21.04.05 Горное дело, 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Корректура кафедры горной механики
Подписано к печати
Бумага офсетная. Формат бумаги 60x84 1/16 Гарнитура Times New Roman/
Печ.л. 5,375 Тираж 100 экз. Заказ

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30
Уральский государственнй горный университет
Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

А. В. Долганов

СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ

Рекомендовано УМО РАЕ
по классическому университетскому
и техническому образованию
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по специальности
21.05.04 «Горное дело»

Москва
2017

УДК 622.005.5 – 182.2
Д64

Рецензенты:

Суслов Н.М. – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «УГГУ»,

Морозов Ю.П. – доктор технических наук, профессор, директор ООО Таилс «КО»

Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Уральского государственного горного университета

Долганов А.В.

Д64 **Стационарные машины**: учебник / А.В. Долганов. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 281 с.
ISBN 978-5-91327-430-4

В учебнике изложены основные положения по стационарным машинам и установкам, эксплуатирующимся на горных предприятиях открытой и подземной добычи полезных ископаемых.

В учебнике представлены методики эксплуатационных расчетов водоотливных, вентиляторных, пневматических и подъемных установок горных производств.

Учебник по дисциплинам «Стационарные машины», «Горные машины и оборудование», «Грузоподъемные машины и механизмы» предназначен для студентов по направлению подготовки 21.05.04 – «Горное дело» всех форм обучения.

Рис. 100. Табл. 6. Библ. наим. 25.

© Долганов А.В., 2017
© Уральский государственный горный университет, 2017
© ИД «Академия Естествознания»
© АНО «Академия Естествознания»

ISBN 978-5-91327-430-4

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Стационарные машины» предусматривает изучение фундаментальных основ по теории и практике проектирования, эксплуатации и ремонта стационарных установок и машин, так как эффективность работы горных предприятий во многом зависит от их правильного выбора и эксплуатации.

Цели преподавания дисциплины «Стационарные машины»:

- формирование у студентов знаний по теории, конструкции, эксплуатации и проектированию стационарных машин и установок;
- усвоение комплекса подъемных, вентиляторных, водоотливных, пневматических установок и установок для охлаждения воздуха, применяемых на шахтах и рудниках горнодобывающей промышленности;
- обретение навыков современного состояния стационарных машин и установок России и других стран, основных тенденций развития данного вопроса и умение на основании этих знаний принимать решения по повышению эффективности работы горных предприятий.

В результате изучения дисциплины студент должен:

ЗНАТЬ:

- типаж, конструктивные схемы и основные характеристики стационарных машин;
- принципы действия и работы стационарных машин и установок;
- инженерные методики выбора, проверки и режимов нагружения стационарных машин.

УМЕТЬ:

- производить расчеты по выбору стационарных машин и электрооборудования;
- определять оптимальный режим работы стационарных машин;
- по индивидуальным характеристикам турбомашин уметь рассчитать и построить характеристику внешней сети.

ПОЛУЧИТЬ НАВЫКИ:

- использования полученных знаний в практической деятельности;
- самостоятельно приобретать, усваивать и применять полученные знания.

Грандиозные задачи, стоящие перед отечественной горной промышленностью, предусматривают прирост добычи твердых полезных ископаемых (угля, руд черных и цветных металлов и т. д.) путем повышения производительности труда за счет комплексной механизации и автоматизации всех процессов труда и интенсификации производства на основе всемерного использования достижений научно-технического прогресса. В увеличении производственных мощностей и повышении технико-экономических показателей горных производств важную роль играют стационарные машины и установки: водоотливные, вентиляторные, пневматические и подъемные.

На современных горных производствах эти машины и установки являются наиболее многочисленными, энергоемкими и металлоемкими.

Неисправная работа установок приводит к нарушению работы горного предприятия и существенно влияет на безопасность и условия труда обслуживающего персонала и горняков.

Программа дисциплины «Стационарные машины» предусматривает изучение фундаментальных основ теории и практики проектирования, эксплуатации и ремонта стационарных установок и машин, так как эффективность работы горных предприятий во многом зависит от их правильного выбора и эксплуатации.

В настоящее время появилась потребность в технической литературе, освещающей вопросы принципа работы, устройства, эксплуатационных расчетов стационарных установок шахт, карьеров и обогатительных фабрик. Наибольшие трудности в данном вопросе испытывают специалисты и обслуживающий эти машины персонал, а также студенты и учащиеся горных вузов и колледжей, так как нехватка литературы не позволяет получать базовые знания на нужном уровне и качественно выполнять курсовые и выпускные квалификационные работы.

В данном учебнике представлены общая теория турбомашин, совместная работа их на внешнюю сеть, эксплуатационный расчет карьерной и шахтной водоотливных установок, вентиляторные установки главного и местного проветривания, методика расчета и выбора вентилятора главного проветривания, пневматические установки шахт, мето-

дика расчета пневмоснабжения шахты, шахтный подъем и методики эксплуатационного расчета подъема.

В итоге студент должен знать принципы действия и работы стационарных машин и установок; уметь производить расчеты по выбору стационарных машин и электрооборудования, а также определять рациональный режим их работы.

При работе над учебником автором использованы материалы учебников, методических указаний, а также опыт передовых предприятий и опубликованные научные исследования авторов, которые приведены в библиографическом списке.

ЧАСТЬ 1
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО СТАЦИОНАРНЫМ МАШИНАМ

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН

Для обеспечения роста добычи полезных ископаемых важнейшими задачами являются улучшение условий труда горнорабочих, дальнейшая комплексная механизация и автоматизация процессов, рост производительности труда и снижение себестоимости единицы продукции. Решающее значение в увеличении производственной мощности и повышении технико-экономических показателей горных предприятий оказывают стационарные машины и установки. На современных горных предприятиях эти машины и установки являются наиболее многочисленными, энергоемкими и металлоемкими.

На современном горно-обогатительном комбинате, в состав которого входят – подземные рудники, шахты, карьеры, обогатительные фабрики и т. д., – потребление электроэнергии насосными, вентиляторными, компрессорными и подъемными установками достигает 75 – 80 % и более от всей энергии, потребляемой предприятием [1]. Большая энергоемкость стационарных машин предъявляет высокие требования, к их правильной эксплуатации и работе в оптимальном режиме, с одной стороны, а с другой стороны – к экономичности этих машин.

1.1. Общие сведения о стационарных машинах и краткая история их развития

Вентиляторная установка необходима для подачи воздуха в шахту. Различают главную установку, предназначенную для вентиляции всех выработок шахты, и установку частичного (местного) проветривания для вентиляции глухих забоев.

Главная вентиляторная установка ***1*** (рис. 1.1) соединяется каналом ***2*** с вентиляционным стволом ***3*** шахты, закрытым сверху клапаном ***4***.

При работе вентилятора создается разрежение, благодаря чему воздух под атмосферным давлением поступает в главный ствол ***5*** шахты, омывает, как показано стрелками, выработки и выбрасывается в атмосферу через вентиляционный ствол *3* и вентилятор ***1***. В рассмотренном случае вентилятор высасывает воздух из шахты; вентиляцию можно осуществлять и нагнетанием воздуха в шахту с помощью вентилятора.

Масса воздуха, транспортируемого в шахту вентиляторами, в 4 – 6, а иногда в 14 раз больше массы добываемого полезного ископаемого (угля, руды и т.д.).

Вентиляторная установка для глухих забоев (см. рис. 1.1) состоит из вентилятора ***6***, нагнетающего по трубопроводу *7* воздух в забой ***8***.

Развитие вентиляторных установок характеризуется следующими этапами: поршневые вентиляторы – центробежные вентиляторы с паровыми двигателями; – центробежные вентиляторы с асинхронными двигателями – осевые, турбоосевые и новые центробежные вентиляторы с синхронными двигателями.

Насосная установка необходима для откачки воды из шахты на поверхность. Различают участковую установку для откачки воды от участка или группы участков до уровня околоствольного двора шахты и главную установку для выдачи воды с уровня околоствольного двора на поверхность.

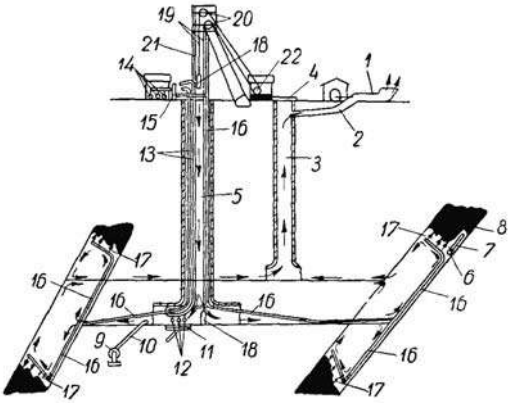


Рис. 1.1. Схемы шахтной, вентиляторной, насосной, пневматической и подъемной установок

Насос ***9*** участковой установки (см. рис. 1.1) транспортирует воду по трубопроводу ***10***, проложенному по уклону шахты, на уровень околоствольного двора. Далее по канавкам вода поступает в водосборник ***11*** главной установки, откуда одним из насосов ***12*** транспортируется по трубопроводу ***13*** на поверхность. В глубоких шахтах воду иногда откачивают с нижнего горизонта на промежуточный, а затем уже на поверхность, причем насосы устанавливают как на одном, так и на другом горизонте шахты. Масса транспортируемой из шахты насосами воды в 2 – 7, а иногда и до 40 раз более массы добываемого угля.

Развитие насосных установок проходило следующие этапы: поршневые насосы, помещенные под землей, с приводом через штангу, расположенную в стволе, от паровых машин, установленных на поверхности; поршневые насосы с расположенными под землей паровыми машинами – центробежные насосы с быстроходными электродвигателями.

Насосные установки применяются в горном деле для водоотлива из шахт, уклонов, карьеров, дренажных выработок, скважин, для водоснабжения обогатительных фабрик и при гидромеханизации на рудниках и угольных разрезах, а также для вспомогательных целей. Особенно важно значение насосов для подземных разработок, так как неисправная работа может вызвать затопление шахты, подземного рудника.

Пневматическая установка необходима для получения сжатого воздуха, используемого для работы перфораторов, отбойных и бурильных молотков, пневматических двигателей лебедок, участковых насосов и т. д.

Сжатый воздух имеет существенное преимущество в шахтных условиях – взрывобезопасность, но пневматическая энергия, по сравнению с электрической, во много раз дороже и ее труднее передавать на расстояние.

Пневматическая установка (см. рис. 1.1) состоит из компрессоров ***14***, вырабатывающих сжатый воздух, воздухосборника 15, воздухопровода 16, по которому транспортируется сжатый воздух, и потребителей сжатого воздуха ***17***.

Развитие основного элемента пневматической установки – компрессоров – шло по пути использования поршневых, ротационных и центробежных машин, но наибольшее применение в шахтных условиях нашли поршневые компрессоры с синхронными двигателями, а при большом потреблении сжатого воздуха – турбокомпрессоры.

Подъемная установка (см. рис. 1.1) необходима для транспорта по стволу шахты горной массы, людей, грузов и состоит из: подъемных сосудов ***18***, в которых помещается груз, подъемных канатов ***19***, направляющих шкивов ***20***, копра ***21***, подъемной машины ***22***.

Развитие подъемной установки проходило от бадьи до скипов, от пенькового до металлического канатов, от примитивных деревянных барабанов до бицилиндроконических барабанов и барабанов многоканатного подъема, от мускульного привода до электрического, от ручного управления до автоматического. Паровая машина вскоре после своего появления нашла широкое применение для подъемных установок. Электрический двигатель для шахтного подъема начал применяться в конце XIX века. Благодаря преимуществам электрического подъемного двигателя перед паровым (большая безопасность в работе, легкость и точность управления, экономичность), он сейчас получил исключительное распространение.

Таким образом, надежность работы – главнейшее требование, предъявляемое к насосам, вентиляторам, компрессорам и подъемным установкам, однако, при этом надо стремиться к наиболее рациональной работе с наименьшим расходом энергии и при наивысшем к.п.д. [2].

Простейшие типы насосов (поршневых) были известны и применялись еще во времена Аристотеля (IV век до н. э.). Водоподъемные машины, приводившиеся в действие силой людей и животных, применялись в Египте за несколько тысячелетий до н. э.

Машины для перемещения воздуха и газов появились значительно позднее. Изобретение воздушного поршневого насоса связано с именем германского физика Отто Герике (1640 г.).

Изобретателем центробежного насоса является, по-видимому, итальянец Джиованни Жордан, давший первый рисунок такого насоса; изготовление первого простейшего центробежного насоса приписывается Дени Папину (1703 г.).

Внедрение насосов в промышленность России было непосредственно связано с горно-рудным делом. Уже в XVIII веке К. Д. Фролов и другие мастера горного дела применяли установки с поршневыми насосами для водоотлива из шахт и промывания россыпей.

В России в 1631 г. построены первые водоподъемные машины.

По указу Петра I в 1718 г. построены водоподъемники для водоснабжения царского летнего сада, а 36 лет спустя Л. Эйлером была разработана струйная теория центробежных насосов.

В 1757 г. К. Д. Фроловым сооружается несколько насосных установок сначала на Урале, а затем на Алтае. Эти насосы были поршневыми, приводились в действие от водостолбовых или паровых машин (атмосферных).

Почти одновременно с К. Д. Фроловым в этой области работал русский изобретатель И. И. Ползунов, создатель первой паровой машины. Им построено несколько насосных установок на Змеиногорском и других рудниках. В работе М. В. Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных дел» (1763) находим описание водоотливных установок.

Основное уравнение центробежного колеса, сыгравшее большую роль в развитии турбомашин, было выведено в 1754 г. членом русской Академии наук Л. Эйлером.

В 1832 г. горный инженер А. А. Саблуков изобрел и применил на алтайском Чагирском медном и серебряном рудниках центробежный вентилятор, а в 1835 г. – центробежный насос. В XIX веке профессорами Петербургского горного института А. И. Узатисом, П. А. Олышевым, И. А. Тиме и другими разработаны основные положения горной механики как науки.

Особое значение имели работы Н. Е. Жуковского «Видоизменение метода Кирхгофа» и «Теория воздушных винтов», им определены и разработанные направления развития современной гидроаэромеханики.

Результатом работ академиков М. М. Федорова, А. П. Германа и других явились теоретические основы горной механики (вентиляторных, водоотливных, пневматических и подъемных установок).

На основе вихревой теории крыла проф. Н. Е. Жуковского советские ученые в ЦАГИ создали теорию осевых вентиляторов и рациональную их конструкцию.

В конструировании надежных центробежных насосов большую роль сыграли труды акад. Г. Ф. Проскуры, разработавшего вихревую теорию центробежных насосов, которая явилась дальнейшим развитием вихревой теории крыла Н. Е. Жуковского.

На основе теории пневматических установок, вклад в которую внес проф. А. С. Ильичев, в настоящее время созданы надежные конструкции поршневых и центробежных компрессоров.

В 1913 г. М. М. Федоров вывел основное динамическое уравнение подъемных систем и дал основу проектирования подъемных установок. В 1925-1930 гг. проведены исследования по нахождению эффективного режима работы подъемной машины, что дало возможность провести типизацию и стандартизацию подъемного оборудования. Позже важ-

ным становится вопрос об аппаратуре управления и защиты, об автоматизации управления подъемными машинами [3].

1.2. Классификация области применения и определение гидравлических и газовых машин

Из гидравлики известно, что жидкость перемещается всегда из областей с большей удельной энергией в область с меньшей удельной энергией, т. е. при наличии разности удельных энергий – давлений (напоров). Эта разность может возникнуть естественным путем, например, естественная тяга воздуха в шахте при разности его температур в подающем и вытяжном стволах; движение воды в руслах при уклоне дна и т. д. Однако для того, чтобы заставить жидкость перемещаться с преодолением высоты, противодавления и сопротивления движению ее потока, необходимо сообщить искусственное приращение удельной энергии. Последнее может быть осуществлено, если на пути движения жидкости будет установлена гидравлическая машина, рабочие органы которой, взаимодействуя с жидкостью, будут сообщать потоку жидкости энергию извне, равную сумме работ на подъем, на преодоление противодавления, сопротивления движению и на создание кинетической энергии. Таким генератором-источником энергии являются специальные гидравлические машины-нагнетатели [4].

Под жидкостью понимается текучее тело (среда), которое может быть в капельном и газообразном состояниях. Такое объединение обусловлено единством законов, которым подчиняется текучее тело.

Нагнетатели, применительно к горной промышленности, – это машины, прежде всего для транспортирования жидкости и воздуха. Машины для транспортирования текучего являются основной частью вентиляторных, водоотливных и пневматических установок. К этой группе машин относятся насосы, вентиляторы, воздуходувки, компрессоры, вакуум-насосы.

Насосами называют машины, предназначенные для перемещения жидкостей и сообщения им энергии.

Работающий насос превращает механическую энергию, подводимую от двигателя, в потенциальную, кинетическую и тепловую энергию потока жидкости.

Вентиляторами называют машины, перемещающие газовые среды при степени повышения давления до 1,15.

Компрессоры – машины с искусственным, обычно водяным, охлаждением, со степенью повышения давления газа более 1,15.

Машины, работающие со степенью повышения давления газа более 1,15, но без искусственного охлаждения, называют нагнетателями.

В противоположность насосам машины, превращающие гидравлическую энергию потока жидкости в механическую энергию, называют гидравлическими двигателями.

Используя величины подач и напоров выполненных конструкций насосов и нанося их в координатной системе $Q - H$, можно получить график областей применения различных типов насосов. Такой график для водяных насосов представлен в логарифмической координатной сетке на рис. 1.2.

Основными параметрами каждого насоса являются его подача и давление. Насосы принято подразделять на группы по величинам этих параметров. Каждому типу насосов соответствуют определенные области подач и давлений.

Так, например, насосы поршневые и роторные применяются при высоком давлении и относительно низкой подаче.

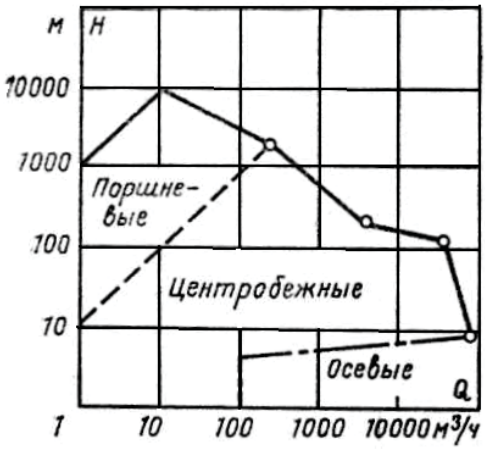


Рис. 1.2. График подач и напоров водяных насосов различных типов

На рис. 1.3 приведена классификация насосов по конструктивным признакам.

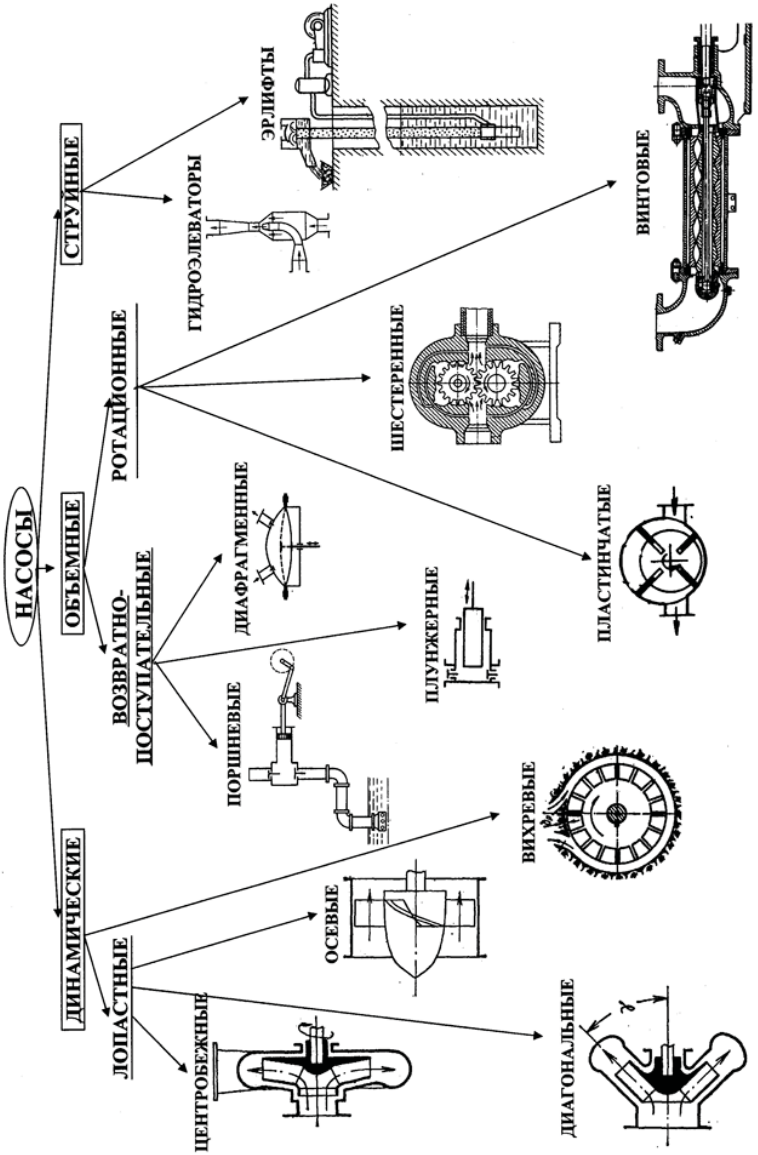


Рис. 1.3. Классификация насосов по конструктивным признакам

Это объясняется принципом действия таких насосов, позволяющих получать малую подачу даже при весьма высоком давлении. Этого нельзя сказать об осевых насосах, специально приспособленных для подачи больших количеств жидкостей при низких давлениях.

Лопастные насосы

Эти машины представлены в современной промышленности тремя основными группами – центробежными, осевыми и вихревыми насосами. Большое распространение их объясняется достаточно высоким к.п.д., компактностью и удобством комбинирования их с приводными электродвигателями [4].

Схема центробежного насоса представлена на рис. 1.4. Рабочее колесо насоса, несущее лопасти ***1***, заключено в корпус ***2*** спиральной формы.

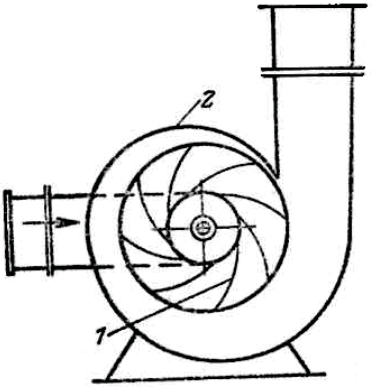


Рис. 1.4. Схема устройства центробежного насоса

При вращении колеса жидкость перемещается от центра под действием центробежной силы к периферии, выбрасывается в спиральную камеру и поступает вследствие разности давлений на входе в насос и на выходе их него в напорный трубопровод. Через приемное отверстие происходит всасывание жидкости.

На рис. 1.5 дана схема осевого насоса. Его лопасти ***1*** закреплены на втулке ***2*** под некоторым углом к плоскости, нормальной к оси. При вращении лопасти взаимодействуют с потоком жидкости, сообщая ей энергию и перемещая ее вдоль оси насоса.

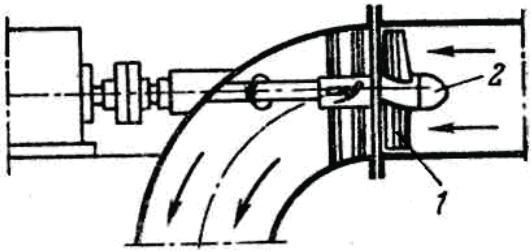


Рис. 1.5. Схема осевого насоса

Схема и способ действия вихревого насоса представлены на рис. 1.6. Жидкость поступает через патрубок ***1*** на периферию рабочего колеса с лопатками ***2*** и, получая от них энергию при движении по концентрическому каналу ***3***, отводится в напорный патрубок ***4***.

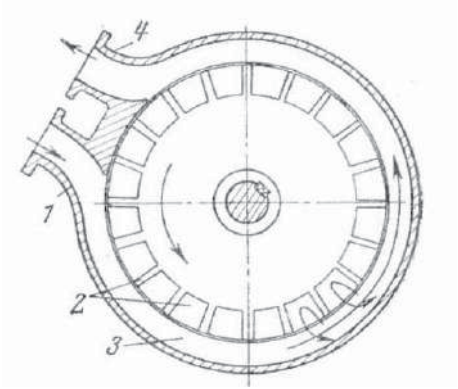


Рис. 1.6. Схема вихревого насоса

Характерными особенностями вихревого насоса являются подвод и отвод жидкости на периферии рабочего колеса.

Объемные насосы

Работа таких насосов основана на всасывании и вытеснении жидкости твердыми телами (поршнями, пластинами, зубцами), движущимися в рабочих полостях.

На рис. 1.7 показана схема поршневого насоса.

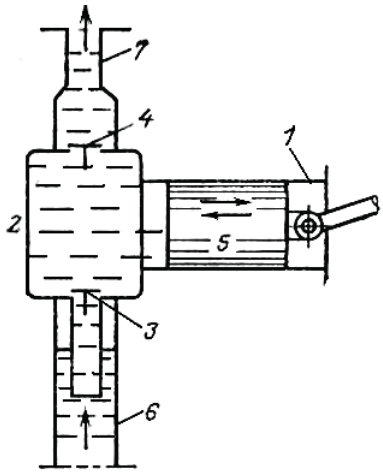


Рис. 1.7. Схема поршневого насоса

Цилиндр ***1*** сопряжен с клапанной коробкой ***2***, в гнездах которой расположены всасывающий и нагнетательный клапаны ***3*** и ***4***. Поршень ***5***, движущийся в цилиндре возвратно-поступательно, производит попеременно всасывание из трубы ***6*** и нагнетание в трубу ***7***.

Привод поршня осуществляется от двигателя через кривошипно-шатунный механизм или непосредственно. Скорость поршня таких насосов ограничена действием инерционных сил, поэтому соединение их с высокооборотными электродвигателями затруднено. Кроме того, поршневые насосы обладают неравномерностью подачи, обусловленной периодичностью движения поршней. Эти обстоятельства привели к появлению насосов вытеснения вращательного типа, называемых роторными. Типичным представителем этой группы насосов является пластинчатый насос (рис. 1.8). Массивный цилиндр ***1*** с радиальными прорезями постоянной ширины помещается эксцентрично в корпусе ***2***. Вал цилиндра ***1*** через сальник выводится из корпуса для соединения с валом двигателя. В прорези цилиндра ***1*** вставляются прямоугольные пластинки ***3***, отжимаемые от центра к периферии действием центробежной силы.

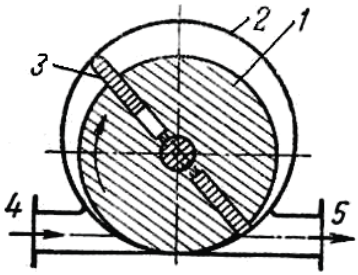


Рис. 1.8. Схема пластинчатого роторного насоса

При вращении цилиндра ***1*** пластинки ***3*** производят всасывание через приемный патрубок ***4*** и нагнетание через на-

порный патрубок ***5***. Насос является реверсивным: при изменении направления вращения его вала изменяется направление движения жидкости в трубопроводах, присоединенных к насосу. Вал такого насоса может соединяться непосредственно с валом электродвигателя [4].

Струйные насосы и пневматические подъемники для жидкостей

Широкое применение в промышленности имеют насосы струйного типа.

Принципиальная схема насоса струйного типа представлена на рис. 1.9. Поток рабочей жидкости проходит через сопло ***1***. Сечение сопла ***1*** по длине уменьшается, поэтому постепенно увеличивается скорость потока. Кинетическая энергия потока при этом возрастает, достигая наивысшего значения на выходе его из сопла ***1*** в камеру ***2***. Повышение кинетической энергии потока обусловливает понижение давления в камере ***2***, под влиянием разности атмосферного давления и давления в камере ***2*** жидкость поднимается от уровня ***3*** в камеру ***2***, где она захватывается струей рабочей жидкости, вытекающей с большой скоростью из сопла ***1***.

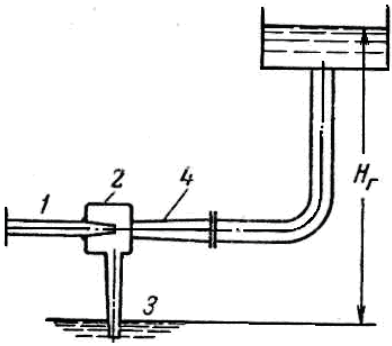


Рис. 1.9. Схема насоса струйного типа

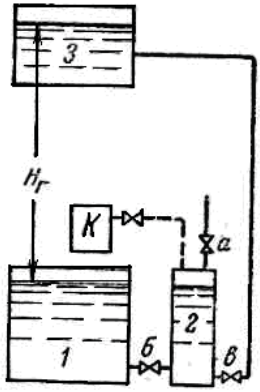


Рис. 1.10. Схема пневматического подъемника для жидкостей

Смесь рабочей и перемещаемой жидкостей поступает в расширяющийся патрубок ***4*** и далее по трубопроводу в бак на высоту $H_г$.

Коэффициент полезного действия струйных насосов низок, но простота конструкции и отсутствие движущихся частей привели к их ши-

рокому применению. Насосами такого типа можно перемещать жидкости и газы.

Для подъема и перемещения жидкостей применяют иногда пневматические подъемники, в которых используется сжатый воздух или технический газ.

Пневматическое устройство периодического действия для подъема жидкости показано на рис. 1.10.

Подъем жидкости из резервуара ***1*** в бак ***3*** на высоту $H_г$ осуществляется при помощи компрессора ***К*** и пневматического баллона ***2***.

При отключенном компрессоре и открытых кранах ***а*** и ***б*** пневматический баллон ***2*** заполняется жидкостью из резервуара ***1***. Закрыв краны ***а*** и ***б*** и включив компрессор ***К*** вытесняют жидкость через открытый кран ***в*** из баллона ***2*** в бак ***3***. Цикл подачи осуществляется периодически.

В промышленности применяется воздушный (газовый) подъемник для жидкостей – эрлифт или газлифт. Подъемники этого типа применяют, например, для подачи воды и нефти из буровых скважин. Схема такого подъемника дана на рис. 1.11.

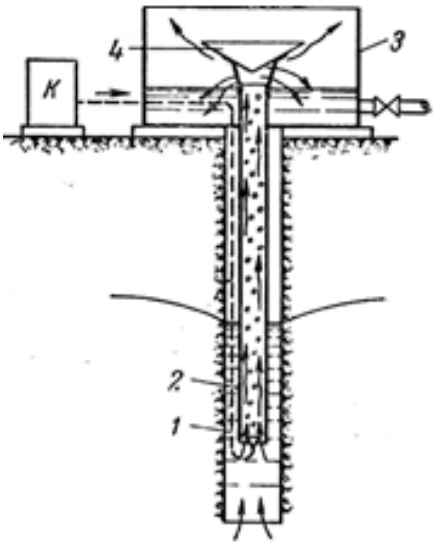


Рис. 1.11. Схема работы эрлифта

В обсадную трубу ***1*** опущена водоподъемная труба ***2***. Воздух из компрессора ***К*** по воздухопроводной трубке (показана пунктиром) поступает в самую нижнюю часть водоподъемной трубы. Пройдя через рассеивающий фильтр, воздух смешивается с водой, образуя в водоподъемной трубе водо-воздушную смесь. Удельный вес этой смеси меньше, чем удельный вес воды в кольцевом цилиндрическом пространстве между стенками обсадной и подъемной труб. По закону сообщающихся сосудов между столбами тяжелой жидкости в обсадной трубе и легкой смеси в подъемной трубе стремится установиться равновесие. Глубина погружения подъемной трубы под уровень жидкости может быть подобрана так, что высота столба смеси в подъемной трубе будет достигать верхнего конца этой трубы или несколько превышать его. Столб тяжелой, чистой воды в обсадной трубе будет выдавливать вверх столб смеси по подъемной трубе. При ударе об отбойный конус ***4*** смесь выделяет воздух, а вода, освобожденная от воздуха, собирается в резервуаре ***3*** [4].

2. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ТУРБОМАШИН

Рабочий орган радиальной (центробежной) машины представляет собой круговую решетку, а у осевой машины – прямолинейную решетку, непрерывно обтекаемую текучим потоком.

С целью выяснения закономерности процесса их взаимодействия с потоком первоначально изучим его на отдельном изолированном крыле (лопасти), когда оно обтекается безвихревым плоско-параллельным потоком, удаленным на достаточно большом расстоянии от крыла.

При набегании потока на крыло, расположенное под некоторым углом α к направлению скорости текучего, происходит раздваивание потока и в первый момент движение за крылом имеет вид, показанный на рис. 2.1, *а*. Затем за ним образуется вихрь ***Б*** (рис. 2.1, *б*), отделяющийся от крыла [5].

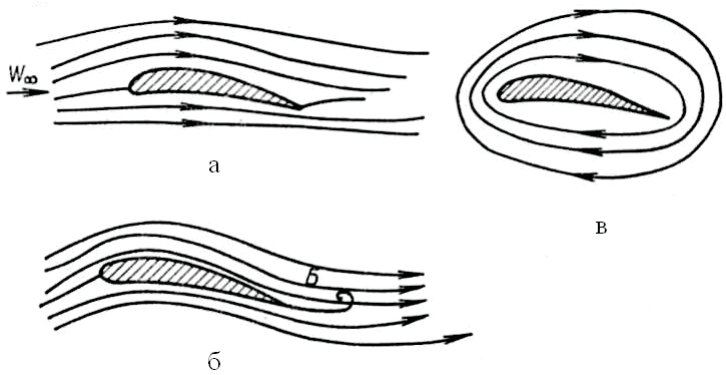


Рис. 2.1. Картина обтекания профиля потоком:
а – первый момент;
б – спустя некоторое время при образовании начального вихря;
в – циркуляционное движение

Вследствие вышеуказанного явления вокруг крыла возникает круговое движение (рис. 2.1, *в*), накладывающееся на основной поток. Поэтому на верхней стороне крыла происходит совпадение течений и скорость потока увеличивается, в то время как на нижней стороне направление течений оказывается встречным и суммарная скорость обтекания уменьшается. Благодаря этому давление потока с нижней стороны лопасти

оказывается больше, чем в верхней, и возникает подъемная сила крыла ΔP, направленная перпендикулярно скорости текучего W (рис. 2.2).

Вследствие вязкости потока текучее стекает по касательной к крылу и несколько отклоняет поток от первоначального направления, одновременно стремясь сдвинуть крыло вместе с потоком, что обусловливает появление силы сопротивления ΔQ.

Таким образом, на крыло постоянно и одновременно действует результирующее усилие ΔR (рис. 2.2), равное геометрической сумме сил ΔP и ΔQ [5].

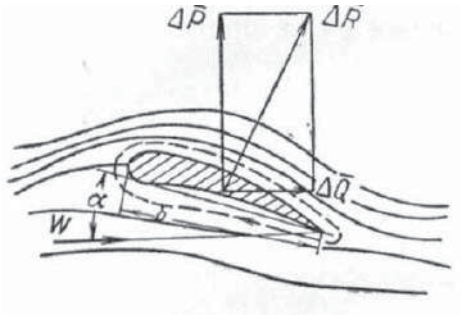


Рис. 2.2. Схема распределения усилий, действующих на крыло

Теоретическую величину подъемной силы крыла ΔP впервые определил проф. Н. Е. Жуковский:

$$\Delta P = \rho \cdot W \cdot \Delta l \cdot \Gamma, \qquad (2.1)$$

где ρ – плотность текучего, кг/м^3; W – скорость невозмущенного потока, или скорость перемещения тела в потоке, м/с; Δl – длина элемента лопасти; Γ – циркуляция скорости вокруг лопасти, характеризующая интенсивность кругового потока вокруг крыла, м^2/с.

Величина циркуляции Γ определяется также по формуле Жуковского:

$$\Gamma = \frac{C_y \cdot b \cdot W}{2}, \qquad (2.2)$$

где C_y – коэффициент подъемной силы; числовое значение его зависит от угла α (угол, заключенный между хордой профиля и направлением скорости) и размаха крыла $b/\Delta l$; b – хорда профиля.

После подстановки значения Г в формулу (2.1) получаем подъемную силу крыла

$$\Delta P = \frac{C_{\text{у}}}{2} \cdot \rho \cdot W^2 \cdot b \cdot \Delta l, \qquad (2.3)$$

Основной причиной появления подъемной силы является вязкость текучего, и если она равна нулю, то и ΔP равна нулю.

Из уравнения следует, что если при движении тела в потоке или, наоборот, при движении потока вдоль лопасти не образуется циркуляция, то подъемная сила также равна нулю и передача энергии от лопасти к текучему невозможна. Поэтому движение крыла в реальном текучем всегда обусловлено возникновением циркуляционного течения вокруг лопасти, приводящего к созданию повышенного давления на набегающей стороне лопасти и пониженного давления на ее противоположной стороне.

Одновременно с подъемной силой ΔP (вследствие вязкости среды) возникает сила лобового сопротивления крыла ΔQ, определяемая по уравнению

$$\Delta Q = \frac{C_X}{2} \cdot \rho \cdot W^2 \cdot b \cdot \Delta l, \qquad (2.4)$$

где C_X – коэффициент лобового сопротивления, зависящий от тех же факторов, что и C_y.

Отношение коэффициента C_y к C_X называется качеством профиля лопасти и показывает, во сколько раз подъемная сила больше силы лобового сопротивления.

До сих пор все приведенные закономерности относились к взаимодействию одной лопасти с потоком, в случае перемещения решетки лопастей в потоке жидкости происходит искривление последнего и за решеткой поток приобретает иное направление, чем до решетки.

Для определения подъемной силы решетки, как это показал Чаплыгин, необходимо вместо скорости невозмущенного потока подставлять величину скорости $W_{\text{Т}}$, равную геометрической полусумме скоростей потока перед и за решеткой.

$$W_{\text{Т}} = \frac{W_1 + W_2}{2} \ . \qquad (2.5)$$

Направление подъемной силы, как и для одиночной лопасти, остается перпендикулярным к скорости $W_{\text{Т}}$ и направлено в сторону, противоположную циркуляции вокруг лопасти.

Вихрем называется движение частиц жидкости в пространстве вокруг некоторой мгновенной, неподвижной или перемещающейся оси подобно твердому телу.

В любой вязкой среде вокруг вихря образуется поле скоростей, интенсивность которого измеряется циркуляцией Г, последняя равна

$$\Gamma = \oint C \cdot \cos\varphi \cdot ds = \oint C_{\text{И}} \cdot ds\,, \tag{2.6}$$

где C – скорость жидкости в данной точке контура; $C_{\text{и}}$ – проекция скорости на касательную контура в данной точке; ds – элемент длины контура; φ – угол между направлением скорости C и элементом ds.

Таким образом, циркуляция – это кинематическая характеристика течения жидкости, представляет собой работу вектора скорости по контуру.

В частном случае, когда во всех точках контура скорость одинакова и направлена по касательной к нему, а сам контур представляет собой окружность радиуса R, циркуляция вычисляется по формуле:

$$\Gamma = C_{\text{И}} \oint ds = 2\pi R C_{\text{И}} = 2\pi R^2 \omega = 2\omega F\ , \tag{2.7}$$

Следовательно, циркуляция или напряжение вихря по некоторому контуру, где вихрь не меняется, равна удвоенному произведению площади вихря на его угловую скорость, что имеет место при вращении рабочего колеса.

За положительное значение циркуляции принято считать движение по контуру в направлении часовой стрелки, а за отрицательное – при обходе контура против часовой стрелки (рис. 2.3).

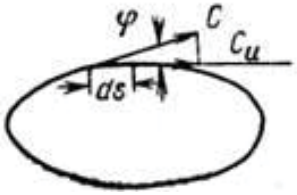


Рис. 2.3. Схема циркуляции по контуру

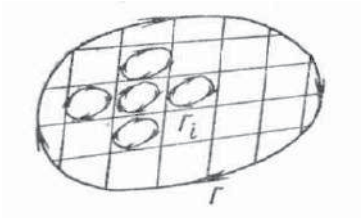


Рис. 2.4. Схема суммирования циркуляций

Для определения циркуляции по какому-то контуру разобьем его внутреннюю поверхность на бесконечное множество элементарных

площадок и изобразим циркуляцию в каждой из них в виде вихря, вращающегося по часовой стрелке. При определении суммы всех циркуляций замечаем, что по линиям, разграничивающим смежные площади, циркуляции взаимно исключаются, так как они равны по величине и противоположны по направлению (рис. 2.4).

Таким образом, останется лишь внешняя циркуляция, равная сумме циркуляций внутри контура

$$\Gamma = \sum_{0}^{i} \Gamma_i. \qquad (2.8)$$

Если контур не охватывает вихрь, то циркуляция скорости вокруг него равна нулю [5].

2.1. Турбоустановки, турбомашины и их внешние сети

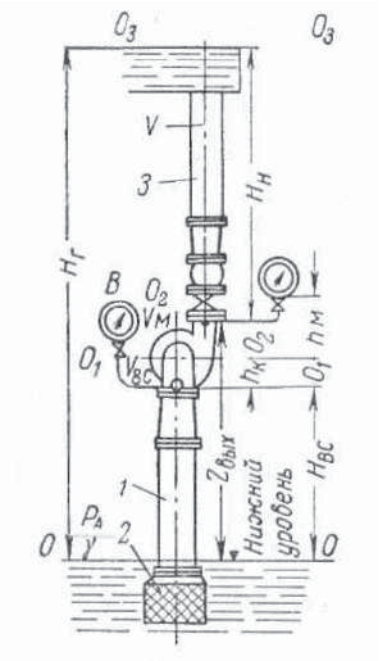


Рис. 2.5. Схема насосной установки

Турбоустановка любого типа представляет собой совокупность источника движения (турбомашины) и внешней сети, по которой происходит движение текучего в заданном направлении. Это движение вызвано разностью удельных давлений в потоке текучего между входным и выходным отверстиями турбомашины, возникающей только при вращении рабочего колеса. Этот перепад давлений расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений при движении текучего в сети, подъем его на требуемую высоту и сообщение некоторой скорости потоку.

Физические процессы машин, вызывающих движение текучего (вода, воздух) вследствие силового взаимодействия их ра-

бочего органа с обтекающим его потоком текучего, плотность которого практически не меняется. Этот тип машин называют турбомашинами. Совокупность подобной машины с сетью, по которой перемещается текучее, называют турбоустановкой.

Внешней сетью насосной установки (рис. 2.5) для перемещения текучего (воды, гидросмеси, воздуха) является подводящий (всасывающий) трубопровод ***1*** с приемной сеткой ***2*** и клапаном (нужен только для жидкостей) и напорный трубопровод ***3***. Первый обеспечивает подвод текучего в машину, а второй – отвод его в заданном направлении [5].

Следовательно, турбомашина всегда работает на определенную сеть, и режим ее работы обусловлен взаимным влиянием сети и машины друг на друга. Режим работы турбоустановки на сеть характеризуется следующими основными параметрами: подачей (производительностью), напором (давлением), развиваемым турбомашиной, мощностью на валу турбомашины и ее коэффициентом полезного действия (к.п.д.), скоростью вращения рабочего органа турбомашины и для турбомашин, перекачивающих жидкости, вакуумметрической высотой всасывания.

Подачей турбомашины Q называют объем текучего, подаваемый машиной в единицу времени (размерность подачи л/с, м^3/с, м^3/ч).

В некоторых случаях вместо объемного расхода употребляют весовой расход G, имеющий размерность Н/ч, Н/с, кг/с. При этом

$G = \gamma \cdot Q$ (здесь γ – удельный вес текучего, Н/м^3 или кг/м^3).

Напор турбомашины – это давление, сообщенное 1 кг текучего при прохождении через машину, или разность полных удельных энергий текучего при выходе из машины E_H и при входе в нее E_B, каждая из которых складывается из трех величин:

$$H = E_{\text{Н}} - E_{\text{В}} = \left(\frac{P_{\text{Н}}}{\gamma} + Z_{\text{ВЫХ}} + \frac{v_{\text{н}}^2}{2g}\right) - \left(\frac{P_{\text{В}}}{\gamma} + Z_{\text{В}} + \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\right) =$$

$$= \left(\frac{P_{\text{Н}} - P_{\text{В}}}{\gamma} + Z_{\text{ВЫХ}} - Z_{\text{В}}\right) + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g} = H_{\text{СТ}} + H_{\text{ДИН}} \qquad (2.9)$$

где $P_{\text{н}}$, $v_{\text{н}}$, $Z_{\text{вых}}$ – соответственно абсолютное давление, скорость текучего и координата сечения относительно зеркала воды в приемном резервуаре на выходе из турбомашины; $P_{\text{в}}$, $v_{\text{в}}$, $Z_{\text{в}}$ – соответственно абсолют-

ное давление, скорость текучего и координата сечения относительно зеркала воды в приемном резервуаре на входе в машину; g – ускорение силы тяжести, $g = 9{,}81$ м/с^2.

Сумма первых четырех членов, заключенных в скобки, характеризует собой потенциальную энергию текучего и называется **статическим напором** $H_{ст.}$

Разность квадратов скоростей характеризует приращение кинетической энергии текучего при прохождении через турбомашину и называется **динамическим напором** $H_{дин}$.

Напор турбомашины H измеряется в метрах столба текучего, проходящего через машину, и не зависит от плотности текучего.

Между напором турбомашины и развиваемым ею давлением имеется следующая зависимость,

$$P = \gamma \cdot H = \rho \cdot g \cdot H, \text{ Н/м}^2 \qquad (2.10)$$

где ρ – плотность текучего, кг/м^3.

Следовательно, давление, развиваемое турбомашиной, зависит от плотности текучего.

Напор турбомашины можно определить по показаниям манометра М и вакуумметра В, используя формулу

$$H = (\rho \cdot g \cdot \frac{\text{М}}{\gamma} \pm h_{\text{м}}) + (\text{В} \pm h_{\text{в}}) + \frac{v_{\text{м}}^2 - v_{\text{вс}}^2}{2g}, \text{ м.вод.ст.}, \qquad (2.11)$$

где М – показания манометра, кг/см^2 (1 кг/см^2 = 0,1 Н/м^2); $h_{\text{м}}$ – вертикальное расстояние от оси турбомашины до манометра (при расположении манометра над осью машины берется со знаком плюс, а ниже оси ее – со знаком минус), м; В – показания вакуумметра в метрах столба текучего; $h_{\text{в}}$ – расстояние от оси турбомашины до вакуумметра (при расположении выше оси берется отрицательное, ниже – положительное), м; $v_{\text{м}}$ и $v_{\text{вс}}$ – соответственно скорость движения текучего в месте присоединения манометра и вакуумметра, м/с.

Давление, развиваемое вентилятором, выражают в Н/м^2 или мм вод. ст. (9,81 Н/м^2 = 1 кг/м^2 = 1 мм вод. ст.).

Мощность турбомашины N – это работа, проведенная машиной в единицу времени. Ее принято разделять на полезную мощность, непосредственно сообщенную текучему и подведенную к валу турбомашины $N_{\text{в}}$:

$$N = G \cdot H, \text{ Нм/с}; \qquad N_{в} = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{1000}, \text{ кВт.} \tag{2.12}$$

К.п.д. турбомашины – величина, равная отношению полезной мощности к мощности на валу

$$\eta = \frac{N}{N_{в}} \ . \tag{2.13}$$

Скорость вращения рабочего органа турбомашины указывает максимальное число его оборотов в единицу времени, которое не может быть увеличено без согласования с заводом-изготовителем, и ему соответствуют величины подач, напора и к.п.д.

Помимо вышеуказанных параметров для характеристики режима турбомашин, перекачивающих жидкости, вводится вакуумметрическая высота всасывания. Она определяется по показанию вакуумметра.

Вакуумметрическая высота всасывания показывает разрежение при входе в насос, м:

$$H_{вак} = H_{вс} + \Delta H_{вс} + \frac{v_{вс}^2}{2g}, \tag{2.14}$$

где $H_{вс}$ – расстояние по вертикали от нижнего уровня воды (см. рис. 2.5) до места подключения трубки вакуумметра, м; $\Delta H_{вс}$ – сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе при движении жидкости вследствие трения о его стенки и прохождения местных сопротивлений, м; $v_{вс}$ – скорость движения жидкости в месте присоединения вакуумметра, м/с.

Внешняя сеть турбоустановки

Внешняя сеть турбоустановки для перемещения текучего состоит из подводящего и напорного трубопроводов.

Для определения удельной работы на перемещение реального текучего в условиях установившегося движения применим уравнение Бернулли в сечениях 0 – 0, $0 – 0_1$, $0_2 – 0_2$, и $0_3 – 0_3$ (см. рис. 2.5).

Плоскость сравнения 0 – 0 совпадает с зеркалом воды в приемном резервуаре ($z_o = 0$) и в процессе откачки воды уровень в нем не опускается. Следовательно, скоростью потока $v_o = 0$ можно пренебречь. Поэтому удельная энергия E_o жидкости в сечении 0 – 0 равна атмосферному давлению P_A/γ и под его воздействием жидкость перемещается по подводящему патрубку в насос.

Энергия E_0 расходуется на подъем текучего на высоту $H_{вс}$, преодоление сопротивлений $\Delta H_{вс}$, обеспечение скорости движения текущего $v_{вс}$ и на создание остаточного давления $P_в/\gamma$ в сечении $0_1 - 0_1$, тогда

$$E_0 = \frac{P_A}{\gamma} = \frac{P_B}{\gamma} + \Delta H_{вс} + \frac{v_{вс}^2}{2g} + H_{вс} \quad . \tag{2.15}$$

Энергия (напор) E_2 на выходе из насоса в сечении $0_2 - 0_2$

$$E_2 = \frac{P_н}{\gamma} + Z_н - Z_{вс} + \frac{v_н^2}{2g} \quad . \tag{2.16}$$

Она расходуется на подъем текучего на высоту $H_{вс}$, преодоление сопротивления в трубопроводе $\Delta H_{вс}$ и давления воздуха на сливе P'_A/γ, а также на создание скорости движения текучего в нем.

Суммарная энергия системы равна сумме E_0 и E_2. Произведя сложение E_0 и E_2 и некоторые преобразования, получим:

$$\frac{P_н - P_в}{\gamma} + Z_н - Z_{вс} + \frac{v^2{}_н - v^2{}_{вс}}{2g} =$$

$$= \frac{P_A - P'_A}{\gamma} + H_{вс} + \Delta H_{вс} + H_н + \Delta H_н + \frac{v^2}{2g} \quad . \tag{2.17}$$

Левая часть уравнения есть энергия, необходимая для перемещения текучего, и она численно равна напору насоса.

Абсолютное давление воздуха на свободной поверхности текучего в резервуаре и на сливе практически одинаково:

$$\frac{P'_A - P_A}{\gamma} = 0 \, .$$

Вертикальное расстояние от нижнего уровня до верхнего называется геометрической высотой установки $H_г$. Эта величина равна сумме $H_н + H_{нс} = H_г$.

Общие потери во входном и выходном трубопроводах ΔH равны сумме $\Delta H_{вс} + \Delta H_н$ и определяются по формуле гидравлики

$$\Delta H = \lambda \cdot (\frac{l + l_{эк}}{d}) \cdot \frac{v^2}{2g} \, , \tag{2.18}$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений труб; l – суммарная длина трубопроводов; $l_{ЭК}$ – длина прямого участка труб, эквива-

лентная местным сопротивлениям; d – внутренний диаметр трубопровода. С учетом вышеуказанных положений уравнение приобретает вид

$$H = H_{г} + (\lambda \frac{l + l_{эк}}{d} + 1) \frac{v^2}{2g} =$$

$$= H_{г} + (\lambda \frac{l + l_{эк}}{d} + 1) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} = H_{г} + R_{Т} Q^2 \ , \qquad (2.19)$$

где Q – подача турбомашины, м^3/с; $R_{т}$ – удельное сопротивление трубопровода, с^{2}м$^{-5}$.

Анализируя уравнение, приходим к выводу, что напор, развиваемый турбомашиной, расходуется на подъем текучего на высоту $H_{г}$ и преодоление сопротивлений, включая создание скоростного напора.

Специфической особенностью работы вентиляторных установок на шахтах и карьерах является поступление воздуха из атмосферы, прохождение его через машину и выход из нее на прежней отметке, поэтому $H_{г} = 0$. В этих условиях влияние естественной тяги практически не сказывается на сопротивлении вентиляционной сети.

Уравнение внешней сети (пневматической установки) для газа, удельный вес которого γ, получаем из характеристики сети умножением ее на объемный вес газа, Н/м^2.

$$\Delta P = H\gamma = (H_{г} + R_{т} \cdot Q^2) \cdot \gamma \ . \qquad (2.20)$$

В отличие от водоотливной и вентиляторной сетей, пневматическая сеть является силовой и служит для передачи энергии от компрессорной станции потребителям сжатого воздуха. Объемный вес воздуха в сети непрерывно меняется в процессе его расхода и в моменты нулевого потребления. Тем не менее, характеристика сети непрерывно изменяется и в какой-то момент времени может быть представлена уравнением (2.20).

На рис. 2.6, *а* представлена характеристика внешней сети водоотливной установки. Когда подача в сети равна нулю, кривая $Q - H$ отсекает на оси ординат отрезок, соответствующий $H_{г}$ – геометрической высоте установки. Ординаты, заключенные между кривой $Q - H$ и $H_{г}$ – постоянное, есть потери напора в сети ΔH.

На рис 2.6, *б* построена характеристика внешней сети вентиляторной установки. Она представляет собой параболу, вершина которой находится в начале координат.

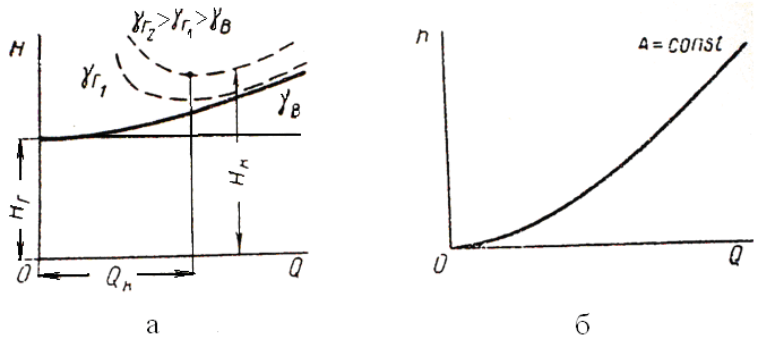


Рис. 2.6. Характеристика внешней сети

Характеристика внешней сети пневматической установки в координатах Q и ΔP представляет собой параболу, смещенную относительно начала координат, как и для водоотливной сети.

2.2. Виды турбомашин

Турбомашины по назначению делятся на:

1) двигатели, превращающие энергию текучего в механическую энергию; к ним относятся турбины. В настоящее время гидродвигатели получили широкое применение на различных горных машинах (экскаваторах, буровых станках, бульдозерах и др.), обеспечивая высокую надежность, простоту управления и реверсирования, бесступенчатое регулирование и легкую автоматизацию горных работ;

2) рабочие машины – генераторы, использующие механическую энергию двигателей для перемещения текучего (насосы, грунтонасосы, вентиляторы) или для сжатия воздуха или газа (турбокомпрессоры, воздуходувки).

Рабочие турбомашины называются иначе лопастными машинами, так как их рабочий орган состоит из нескольких лопастей, непрерывно находящихся во вращении и воздействующих на поток, преобразующих при этом механическую энергию двигателя в движение текучего.

В зависимости от направления движения текучего по отношению оси лопастной машины последние подразделяются на: центробежные (радиальные и диагональные) и осевые.

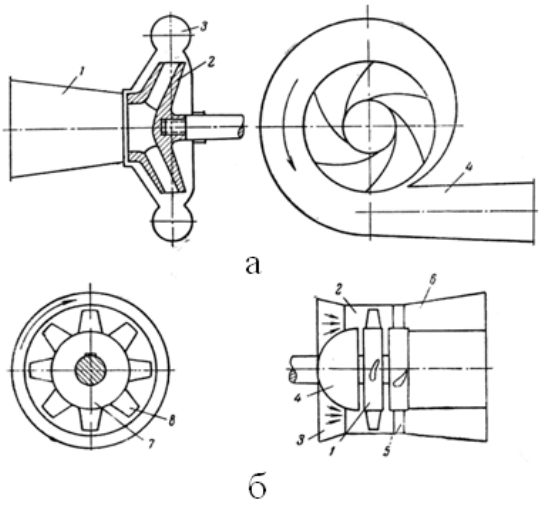


Рис. 2.7. Схема лопастной машины:
а – центробежно-радиального типа; *б* – осевого типа

В центробежных машинах (рис. 2.7, *а*) текучее входит в лопастное колесо ***2*** параллельно его оси и далее движется в нем в радиальных машинах в плоскости его вращения, а в диагональных – по поверхности, наклонной к плоскости вращения последнего [5].

Текучее получает приращение энергии в колесе, а в остальных неподвижных элементах машины лишь происходит в большей или меньшей степени преобразование скоростной составляющей полного напора в статическую составляющую, т. е. давление.

Центробежная турбомашина состоит из подводящей трубы ***1***, лопастного колеса ***2***, собирающее-отводящего устройства ***3*** и конического диффузора ***4***.

Лопастным (рабочим) колесом называют вращающуюся круговую решетку, а ее ребра – лопастями.

Лопастное колесо состоит из ведущего (заднего) диска вместе с втулкой, укрепляемой на валу машины, ведомого (переднего) диска с уплотнительным пояском и лопастей.

В насосах все эти детали отливаются вместе и образуют единое целое, в вентиляторах соединение перечисленных выше элементов вместе

осуществляют путем приклепывания лопастей к переднему и заднему дискам заклепками.

Обычно лопасти изогнуты по цилиндрическим поверхностям, образующая которых параллельна оси колеса, а в плоскости колеса лопастям придается обтекаемая форма, несколько напоминающая профиль крыла самолета. Поэтому скорость обтекания текучего по обе стороны лопастей оказывается различной и возникает разность давлений по обе стороны каждой лопасти, вызывающая приращение полного напора текучего. Благодаря этому устанавливается сквозное движение текучего от входа к выходу колеса.

В осевых машинах движение текучего происходит на всем протяжении машины параллельно оси вращения лопастного колеса, т. е. от входа текучего в машину до выхода из нее.

Осевая машина состоит из лопастного колеса ***1***, насаженного на вал и размещенного в цилиндрическом корпусе (кожухе) ***2***. Входной части кожуха придана форма расширяющегося раструба-коллектора ***3***, а для плавного входа текучего в колесо перед ним помещен обтекатель ***4***.

Поток, выходящий из колеса, поступает на неподвижные лопатки спрямляющего аппарата ***5*** и раскручивается в нем, двигаясь снова параллельно оси машины к кольцевому диффузору ***6***. В последнем совершается преобразование скоростной составляющей полного напора в статическое давление. Лопастное колесо осевой машины состоит из цилиндрической втулки *7* (диаметр ее достигает 0,6 диаметра колеса), к которой прикреплены лопасти ***8***. Конструкция крепления лопастей к втулке позволяет поворачивать их после остановки агрегата. Каждая лопасть в отдельности является телом несимметричной формы крылового профиля. Ее поперечное сечение постепенно возрастает от конца лопасти по направлению к месту крепления во втулке. Для повышения напора машины и ее экономичности лопасть в пространстве закручена под некоторым углом.

При обтекании лопасти потоком текучего происходит силовое взаимодействие между ним и лопастью и, как следствие этого, появление силы, действующей со стороны потока на лопасть, и наоборот.

В первом случае лопасть стремится переместиться вместе с потоком, а во втором – при набегании лопасти на поток текучего возникающая сила взаимодействия приводит в движение текучее, сообщая ему то или иное количество энергии.

2.3. Кинематика потока в рабочем колесе центробежной и осевой идеальной турбомашины

Идеальной турбомашиной принято называть турбомашину, имеющую бесконечное количество лопастей, которые при вращении рабочих колес передают энергию текучему без потерь (рис. 2.8).

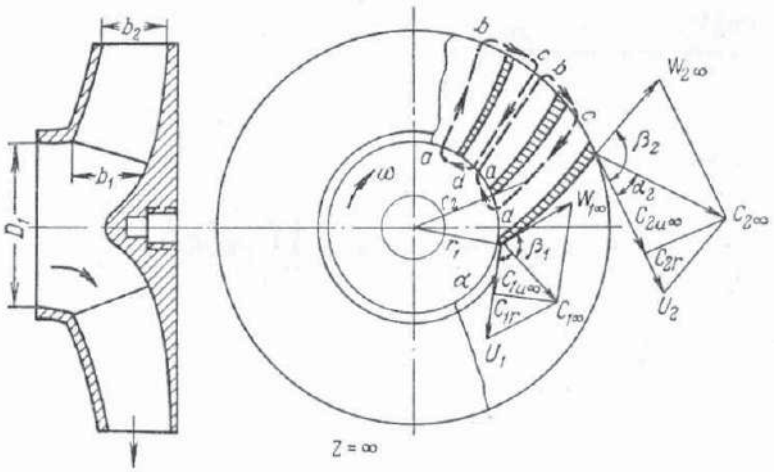


Рис. 2.8. План скоростей на входе и выходе из рабочего колеса идеальной центробежной турбомашины

Рабочее колесо турбомашины непрерывно вращается и текучее, проходя через него, находится одновременно в двух движениях: переносном (вместе с рабочим колесом) со скоростью, равной окружной скорости U, и относительном (вдоль лопастей колеса) со скоростью W [5].

Абсолютная скорость движения C любой частицы текучего относительно неподвижного корпуса турбомашины равна геометрической сумме скоростей переносного U и относительного W движений. Скорости U и W направлены по касательным – первая к окружности входа или выхода колеса, а вторая – к лопасти рабочего колеса.

Все размеры рабочего колеса, скорости, давления и другие величины, относящиеся к входу, обозначим с индексом ***1***, а к выходу из колеса – с индексом ***2***, а для указания на бесконечное число лопастей в колесо ставить индекс ∞.

Абсолютная скорость входа частицы C_1 находится как диагональ параллелограмма скоростей U_1 и W_1. Абсолютную скорость C_1 разложим на две составляющие: радиальную C_{1r} (меридиональную), направленную вдоль радиуса r_1, и тангенциальную C_{1u}, направленную по окружной скорости U_1. Поэтому при проекциях абсолютной скорости ставится индекс u или r.

Аналогичным способом строится параллелограмм на выходе из колеса и находятся абсолютная скорость потока C_2 и ее составляющие C_{2u} и C_{2r} (скорость закручивания на выходе).

Пользуясь доказанным положением относительно циркуляции вдоль контура (формула (2.2)), можем записать формулу циркуляции для круговой решетки:

$$\Gamma = \sum_0^i \Gamma_i = \Gamma_{ab} + \Gamma_{bc} + \Gamma_{cd} + \Gamma_{da} + \Gamma_{ab} + \Gamma_{dc} +$$

$$+ \Gamma_{cd} + \Gamma_{da} + \ldots = \Gamma_2 \pm \Gamma_1 = z\Gamma_л, \qquad (2.21)$$

где Γ_1 – циркуляция на входе в колесо:

$$\Gamma_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot C_{1u}; \qquad (2.22)$$

z – число лопастей в колесе; $\Gamma_л$ – циркуляция вокруг лопасти; Γ – циркуляция вокруг решетки; Γ_2 – циркуляция на выходе из колеса:

$$\Gamma_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot C_{2u}; \qquad (2.23)$$

C_{1u}, C_{2u} – окружные составляющие абсолютных скоростей жидкости в рабочем колесе с конечным числом лопаток.

Так как $\Gamma_{ab} = -\Gamma_{cd}$, то циркуляция вокруг лопастей центробежной турбомашины равна

$$z \cdot \Gamma_л = \Gamma_2 \pm \Gamma_1 = 2 \cdot \pi \cdot (r_2 \cdot C_{2u} \pm r_1 \cdot C_{1u}). \qquad (2.24)$$

Знаки «плюс» и «минус» ставятся в зависимости от направления закручивания потока на входе (по вращению колеса – «минус», против вращения колеса – «плюс»).

На рис. 2.9 приведен план скоростей в осевой турбомашине.

В отличие от центробежной машины, здесь жидкость движется параллельно оси и окружная скорость U при этом остается неизменной, в то время, как относительная скорость W изменяется от входа к выходу [5].

Разрезав цилиндр по образующей и развернув его на плоскость, получаем так называемую плоскую решетку профилей (см. рис. 2.9).

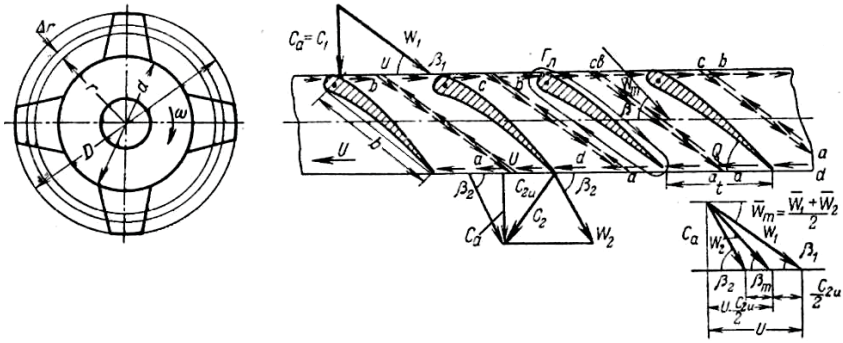


Рис. 2.9. План скоростей в осевой турбомашине

Основными параметрами, характеризующими такую решетку, являются фронт решетки, линия, соединяющая задние или передние точки профилей в решетке, а нормаль к нему – осью решетки.

Применительно к рассматриваемой решетке определим циркуляцию вокруг нее, выделив вокруг каждой лопасти контур ***abcd***, стороны которого ***ab*** и ***cd*** параллельны фронту решетки, а ***bc*** и ***da*** – хорде лопасти, располагаясь посередине пространства смежных лопастей.

Таким образом, циркуляция по контуру ***abcd*** равна циркуляции вокруг лопасти для идеального текучего и определится по формуле:

$$\Gamma_{л} = \Gamma_{abcd} = \Gamma_{ab} + \Gamma_{bc} + \Gamma_{cd} + \Gamma_{da} = \Gamma_{bc} + \Gamma_{da}. \qquad (2.25)$$

Так как циркуляция $\Gamma_{ав}$ равна по величине и противоположна по направлению Γ_{cd}, то для всей решетки получаем

$$z\Gamma_{л} = z\Gamma_{bc} + z\Gamma_{da} = \Gamma_2 \pm \Gamma_1, \qquad (2.26)$$

где $z{\cdot}\Gamma_{BC} = \Gamma_1$ – циркуляция на переднем фронте решетки; $z{\cdot}\Gamma_{DA} = \Gamma_2$ – циркуляция на заднем фронте решетки.

Переходя от циркуляции к скоростям закручивания, используя формулы (2.22) и (2.26), получаем для осевой машины при $r_1 = r_2 = r$ – радиус решетки

$$z\Gamma_{л} = 2\pi \cdot (r_2 C_{2u} \pm r_1 C_{1u}) - 2\pi r (C_{2u} \pm C_{1u}). \qquad (2.27)$$

В случае отсутствия закручивания на входе $C_{1u} = 0$ и формула (2.27) существенно упростится.

Сопоставляя формулы (2.24) и (2.27), видим, что суммарная циркуляция вокруг круговой и осевой решеток одинакова и не зависит от их конструктивного выполнения. Это еще раз доказывает общность процессов всех турбомашин, а из этого следует, что циркуляция вокруг решетки $z\Gamma_л$ при прочих равных условиях не зависит от рода перемещаемого текучего (вода, воздух, газ) [5].

2.4. Теоретический напор и производительность идеальной турбомашины

Теоретический напор идеальной турбомашины (величина приращения удельной энергии текучего при прохождении через колесо) зависит от геометрических и кинематических параметров рабочего колеса.

Для вывода этой зависимости вновь воспользуемся решеткой профилей (рис. 2.10) для случая, когда вязкость текучего равна нулю, т. е. при отсутствии силы лобового сопротивления лопасти ($\Delta Q = 0$).

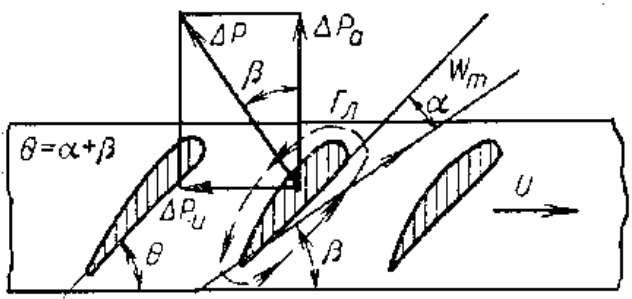


Рис. 2.10. Решетка профилей с усилиями на лопасти

Проф. К. А. Ушаков применительно к турбомашине предложил подъемную силу ΔP разложить в направлении оси решетки ΔP_a и окружной скорости ΔP_u. Первая обусловливает движение текучего по оси и создает тягу турбомашины, а вторая – сопротивление вращению колеса ΔP_u.

Усилие ΔP_u на элементе одной лопасти

$$\Delta P_{uz} = \Delta P \cdot \sin\beta. \qquad (2.28)$$

Вместо ΔP в формулу (2.28) подставляем его значение из формулы (2.1) и получим

$$\Delta P_{uz} = \rho \cdot W_{\text{т}} \cdot \Delta l \cdot \Gamma_{\text{л}} \cdot \sin\beta, \tag{2.29}$$

где $\Delta l = \Delta r$ – длина элемента лопасти; $\Gamma_{\text{л}}$ – циркуляция вокруг одной лопасти; ρ – плотность текучего, кг/м^3; $W_{\text{т}}$ – средняя скорость потока, м/с.

Усилие, необходимое для перемещения всей решетки,

$$\Delta P_u = z\Delta P_{uz} = \rho \cdot z \cdot W_{\text{т}} \cdot \Delta r \cdot \Gamma_{\text{л}} \cdot \sin\beta. \tag{2.30}$$

Из треугольника скоростей (см. рис. 2.10) следует, что и формула (2.29) несколько упростится

$$\Delta P_u = \rho \cdot z \cdot C_a \cdot \Delta r \cdot \Gamma_{\text{л}}. \tag{2.31}$$

где $C_a = \dfrac{q}{2\pi r \cdot \Delta r}$ – осевая скорость незакрученного потока через элементарный расход – q, м/с;

Крутящий момент для вращения решетки профилей, расположенных на расстоянии r от оси турбомашины,

$$\Delta M = \Delta P_u \cdot r. \tag{2.32}$$

Мощность, затрачиваемая на создание этого крутящего момента, выражается зависимостью

$$\Delta N = \Delta M \cdot \omega = \rho \cdot z \cdot C_a \cdot \omega \cdot \Delta r \cdot \Gamma_{\text{л}}. \tag{2.33}$$

С другой стороны, мощность на валу теоретической идеальной турбомашины составляет

$$\Delta N = \gamma \cdot q \cdot H_{\text{т}} = \rho \cdot g \cdot q \cdot H_{\text{т}}, \tag{2.34}$$

где q – элементарная подача машины; её находим в соответствии с формулой (2.31).

Произведя подстановку в формулу (2.34) значения q, имеем

$$\Delta N = \rho \cdot q \cdot 2\pi \cdot r \cdot \Delta r \cdot C_a \cdot H_{\text{т}}. \tag{2.35}$$

Так как потерь в турбомашине нет, то, приравнивая друг другу значения мощности, получим

$$\rho z C_a \Delta r \omega r \Gamma_{\text{л}} = \rho g 2\pi r \Delta r C_a H_{\text{т}}. \tag{2.36}$$

Отсюда теоретический напор турбомашины

$$H_{\text{т}} = \frac{z \cdot \Gamma_{\text{л}} \cdot \omega}{2\pi \cdot g}. \tag{2.37}$$

Теоретический напор турбомашины, выраженный в метрах столба текучего, не зависит от рода текучего. Он всецело определяется циркуляцией вокруг лопастей, числом лопастей и угловой скоростью вращения решетки [5].

В случае отсутствия вязкости жидкости циркуляция вокруг лопасти $\Gamma_л$ равна нулю и теоретический напор турбомашины также равен нулю. Следовательно, передача энергии от решетки к потоку возможна только в реальных вязких жидкостях.

Напор центробежной турбомашины:

$$H_T = \frac{\omega r_2 C_{2u} \pm \omega r_1 C_{1u}}{g} = \frac{U_2 C_{2u} \pm U_1 C_{1u}}{g}. \qquad (2.38)$$

Напор осевой турбомашины:

$$H_T = \frac{\omega r}{g}(C_{2u} \pm C_{1u}) = \frac{U}{g}(C_{2u} \pm C_{1u}). \qquad (2.39)$$

Так как напор осевой турбомашины пропорционален окружной скорости, а последняя изменяется по длине лопасти, то для предупреждения перетекания потока вдоль лопасти необходимо, чтобы $\Gamma_л$ была постоянной величиной. Следовательно, для сохранения $\Gamma_л$ произведение bC_y должно расти, так как W снижается с уменьшением радиуса r. Это обеспечивается использованием крученых лопастей, у которых по мере уменьшения радиуса r возрастает ширина лопасти b и одновременно изменяется угол их установки θ.

Основное уравнение идеальной машины

$$H_{T_\infty} = \frac{U_2 \cdot C_{2u_\infty} \pm U_1 \cdot C_{1u_\infty}}{g}, \qquad (2.40)$$

где $C_{2u\infty}$ и $C_{1u\infty}$ – проекции абсолютных скоростей текучего в рабочем колесе с бесконечным числом лопастей.

В теоретической турбомашине отсутствуют утечки текучего через зазоры между подвижными и неподвижными частями машины из полостей повышенного давления в полости пониженного давления и не принимается во внимание толщина самих лопастей. Поэтому производительность такой машины определяется количеством текучего, проходящего через ее рабочее колесо. Расход текучего через любое сечение, м^3/с:

$$Q = F \cdot C, \tag{2.41}$$

где C – средняя скорость текучего, м/с; F – сечение потока, нормальное к скорости C, м^2.

Теоретическая производительность центробежной машины

$$Q_{\text{T}} = \frac{\pi D_1^2}{4} C_0 = \pi D_1 b_1 C_{1r} = \pi D_2 b_2 C_{2r}, \tag{2.42}$$

где C_0 – скорость входа воды в колесо, м/с; C_{1r} и C_{2r} – радиальная скорость на входе и выходе, в современных турбомашинах $C_{1r} = C_{2r}$, м/с; D_1 и D_2 – диаметр входа и выхода колеса, м; b_1 и b_2 – ширина лопаток колеса на входе и выходе, м.

Теоретическая производительность осевой машины, м^3/с

$$Q_{\text{T}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot C_a, \tag{2.43}$$

где D – внешний диаметр колеса, м; d – диаметр втулки, м; $\pi/4 \cdot (D^2 - d^2)$ – отметаемая площадь лопастями колеса, м^2.

2.5. Теоретическая напорная характеристика турбомашины

Теоретической напорной характеристикой турбомашины называется зависимость ее напора от производительности при постоянной скорости вращения рабочего колеса.

Для вывода этой зависимости воспользуемся теоретическим напором турбомашины (2.40) для незакрученного потока на входе в колесо ($C_{1u\infty} = 0$) и уравнением теоретической производительности турбомашин (2.42).

Для связи этих уравнений необходимо выразить $C_{2u\infty}$ через C_{2r}, для чего обратимся к параллелограмму скоростей на выходе из колеса (см. рис. 2.8).

При неизменной окружной скорости турбомашины и нулевой ее производительности напор турбомашины зависит только от U_2^2/g.

Выясним, какое влияние оказывает угол выхода лопасти β_2 на напорную характеристику турбомашины и составляющие полного напора колеса.

Отношение $C_{2u\infty}/U_2$ обозначают через φ_2 и называют коэффициентом закручивания.

Зависимость $H_{т\infty}$ от $Q_т$ представляет собой прямую линию в системе координат $Q_т - H_{т\infty}$, наклон которой всецело зависит от угла β_2 (рис. 2.11).

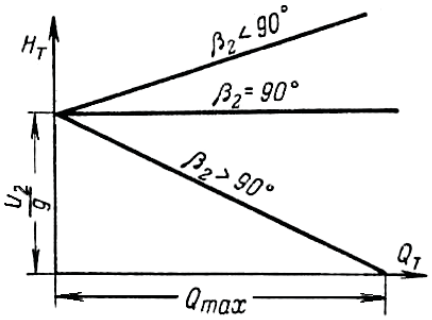
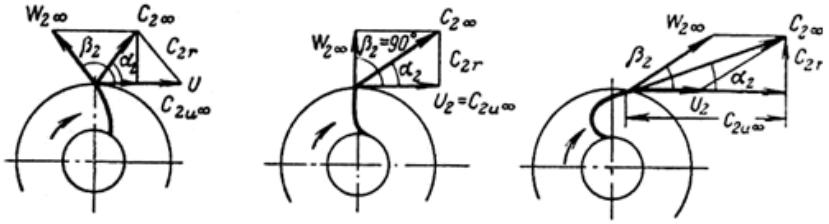


Рис. 2.11. Теоретические напорные характеристики турбомашины

Для угла $\beta_2 = 90°$ лопасти на выходе направлены по радиусу (рис. 2.12), $C_{2u\infty}$, $\varphi_2 = 1$, $ctg\beta_2 = 0$ и $B = 0$.

Поэтому $H_{т\infty}$ не зависит от $Q_т$ и представлен прямой, параллельной оси $Q_т$.



а б в

Рис. 2.12. Схемы рабочих колес центробежной турбомашины при $\beta_2 > 90°$ (*а*), $\beta_2 = 90°$ (*б*) и $\beta_2 < 90°$ (*в*)

Для углов $\beta_2 < 90°$ (лопасти загнуты вперед) величина $ctg\beta_2$ положительна, $C_{2u\infty} > U_2$ и $\varphi_2 > 1$, $ctg\beta_2 > 0$ и $B > 0$.

Следовательно, $H_{т\infty} = -(U_2^2/g) + B \cdot Q_т$ и напор машины возрастает с увеличением $Q_т$ (прямая направлена наклонно вверх).

Если $\beta_2 > 90°$ (лопатки загнуты назад, рис. 2.11, *а*) и $C_{2u\infty} < U_2$, $\varphi_2 < 1$, при этом $\mathrm{ctg}\beta_2 < 0$ и $B < 0$. В этом случае

$$H_{T_\infty} = \frac{U_2^2}{g} - BQ_T. \tag{2.44}$$

Прямая линия наклонена вниз и пересекает ось подач, отсекая на ней отрезок $Q_{T\max}$ при $H_{T\infty}=0$.

$$Q_{T\max} = \frac{U_2^2}{gB} = \frac{U_2 \pi D_2 b_2}{\mathrm{ctg}\beta_2}. \tag{2.45}$$

В рассматриваемой турбомашине напор снижается по мере возрастания ее подачи.

В процессе работы турбомашины происходит увеличение полного ее напора, который состоит из статического и динамического напоров [5].

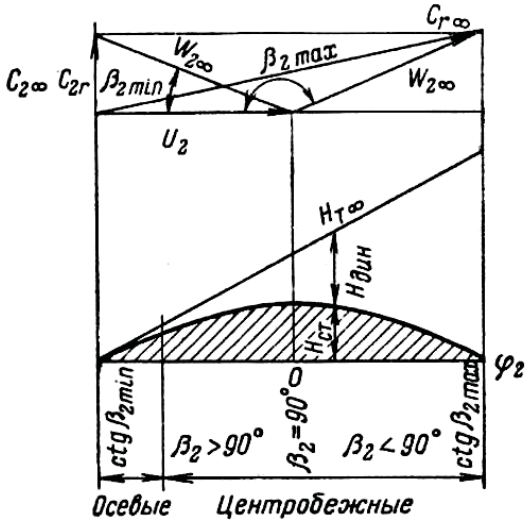


Рис. 2.13. Изменение статического, динамического и полного напоров турбомашин в зависимости от угла β_2

Статический напор расходуется на преодоление сопротивлений во внешней сети и на подъем текучего на высоту $H_г$, поэтому чем он больше, тем лучше используется турбомашина.

На рис. 2.13 построен график значений $H_т$, $H_{ст}$ и $H_{дин}$ в зависимости от угла β_2. На оси ординат отложены напоры, а на оси абсцисс – углы β_2 или коэффициенты φ_2.

Зависимость $H_т$ от φ_2 представляет собой прямую линию, и когда $\varphi_2 = 0$, то $H_т$, $H_{ст}$ и $H_{дин}$ равны нулю.

Если $\varphi_2 = 1$ ($\beta_2 = 90°$), то $H_{ст} = H_{дин}$ и, наконец, при $\varphi_2 = 2$ $H_{ст} = 0$ и $H_т = H_{дин} = 2U^2_2/g$.

Турбомашины с лопатками, загнутыми назад *(*$\varphi_2 > 90°$), в основном создают статический напор и относительно небольшой динамический напор, легко преобразуемый в давление при различных типах диффузоров без больших потерь энергии.

Наоборот, рабочие колеса с лопатками, загнутыми вперед, создают, в основном, скоростной напор; преобразование последнего в статический напор связано с большими потерями энергии, и они тем выше, чем больше скорость на выходе из колеса. В результате этого к.п.д. машины снижается.

Следовательно, центробежные насосы необходимо изготовлять с лопатками, загнутыми назад, обеспечивая высокие напоры путем последовательного включения колес.

Получение высоких напоров у осевых вентиляторов достигается за счет увеличения окружной скорости, так как у них коэффициент закручивания невелик.

2.6. Потери в турбомашинах

Поток текучего в каналах рабочего колеса с бесконечным числом лопастей существенно отличается от потока в турбомашине с конечным числом лопастей.

На рис. 2.14 показана схема движения текучего в рабочем колесе при конечном числе лопастей и построен параллелограмм скоростей на выходе из колеса.

В рабочих колесах турбомашин с конечным числом лопаток скорость в канале непостоянна и возникает разность давлений по обе стороны лопатки, что приводит к появлению относительного вихревого движения в каналах колеса, направленного в сторону, противоположную вращению колеса. При этом происходит наложение вихревого и сквозного течений потока в колесе, вследствие чего скорость у набегающей стороны лопасти понижается, а у тыльной возрастает. В этих усло-

виях поток отклоняется в сторону, противоположную вращению колеса, и скорость W_2 не оказывается касательной к лопасти.

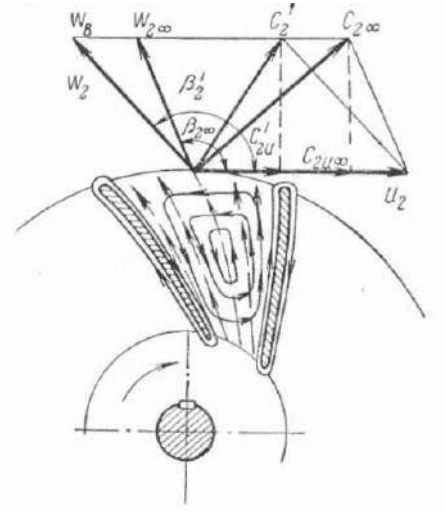


Рис. 2.14. Схема движения текучего в канале рабочего колеса центробежной турбомашины при конечном числе лопастей

Абсолютная скорость потока в колесе C'_2 значительно меньше $C_{2\infty}$. В соответствии с этим проекция $C'_{2u} > C'_{2u\infty}$, а угол $\beta'_2 > \beta_{2\infty}$. Поэтому теоретический напор турбомашины с конечным числом лопастей $H_т$ всегда меньше такового при бесконечном числе лопастей $H_{т\infty}$.

$$H_т = \frac{U_2 \cdot C_{2u}'}{g} = \frac{U_2 \cdot C_{2u_\infty}}{g} \cdot \frac{G_{2u}}{G_{2u_\infty}} = H_{т_\infty} \cdot k_ц, \qquad (2.46)$$

где $k_ц$ – коэффициент циркуляции.

Следовательно, колесо с конечным числом лопастей не в состоянии передать потоку столько энергии, сколько могло бы передать колесо с бесконечным числом лопастей.

Таким образом, из теоретической характеристики турбомашины с $z = \infty$ нужно вычесть потери напора от конечного числа лопастей $(1 - k_ц) \cdot H_{т\infty}$. Это вычитание проделано графически на рис. 2.15, кривая $H_т$.

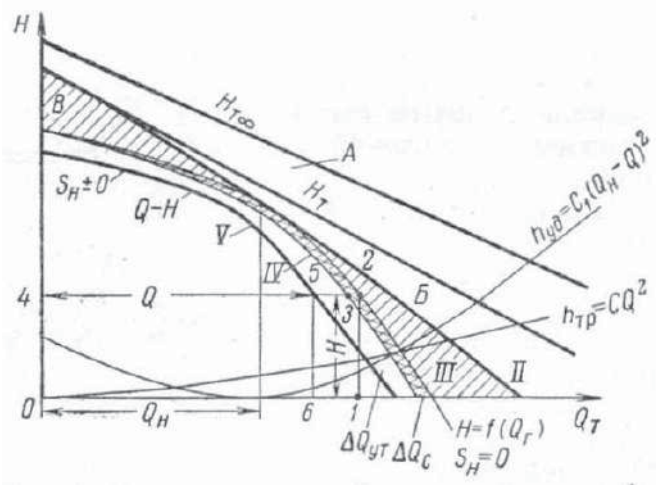


Рис. 2.15. Построение напорной характеристики турбомашины теоретическим методом: *А*, *Б*, *В* – области гидравлических потерь соответственно от конечного числа лопастей, трения и потерь на удар

При работе любой реальной турбомашины имеют место три вида потерь: гидравлические, объемные и механические, которые проявляются одновременно и оказывают взаимное влияние друг на друга.

С целью упрощения картины потерь и невозможности в настоящее время учесть их взаимное влияние произведем оценку этих потерь на напор машины порознь, отражая их на напорной характеристике машины.

Гидравлические потери в турбомашине возникают от трения текучего о стенки в каналах колеса и кожуха, в различных местных сопротивлениях и на поворотах, а также обусловлены ударом потока при входе на лопасти колеса и лопатки направляющего аппарата.

Потери напора на трение $h_{тр}$ пропорциональны квадрату расхода и представляют собой параболу с вершиной в начале координат. Вычитая из ординат напорной характеристики турбомашин ординаты кривой $h_{тр}$ при одних и тех же значениях подач, получим кривую *II*.

Потери напора на удар $h_{уд}$ изменяются также по параболе, но ее вершина смещена от начала координат вправо на величину $Q_н$, соответствующую безударному входу. При отклонении фактической подачи машины от $Q_н$ в любую сторону неизбежен ударный вход текучего. Вели-

чина этих потерь пропорциональна квадрату разности $(Q_н - Q)^2$. Эти потери также нанесены на рис. 2.15 и вычтены аналогично $h_{тр}$ из напорной характеристики *II*.

Кривая *III* дает нам изменение действительного напора турбомашины в функции теоретической подачи $Q_т$ при отсутствии зазоров s_a между подвижными и неподвижными частями турбомашины. При износе концов лопастей рабочих колес одновременно снижаются напор рабочего колеса $H_т$ и гидравлический к.п.д.

В реальной турбомашине лопасти рабочего колеса имеют толщину, поэтому происходит сужение выходного сечения рабочего колеса и уменьшение подачи напора на величину

$$\Delta Q_с = (1 - k_с) \cdot Q_Т, \tag{2.47}$$

где $k_с$ – коэффициент сужения на выходе колеса, $k_с = 0{,}9 - 0{,}98$:

$$k_с = \frac{(\pi \cdot D_2 \cdot b_2 - \delta \cdot z \cdot b_2)}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2} = 1 - \frac{\delta \cdot z}{\pi \cdot D_2}, \tag{2.48}$$

где b_2 – ширина лопаток колеса на выходе; δ – толщина лопасти на выходе; D_2 – диаметр колеса на выходе.

Следовательно, $\Delta Q_с = \dfrac{z \cdot \delta}{\pi \cdot D_2} \cdot Q_Т$ или прямо пропорционально теоретической подаче $Q_т$.

Для нахождения напорной характеристики *IV* турбомашины с учетом сужения берем на кривой *III* (см. рис. 2.15) несколько произвольных точек и от них смещаемся влево параллельно оси абсцисс на соответствующую величину $\Delta Q_с$. После соединения всех точек плавной линией получим кривую *IV* [5].

Объемные утечки в турбомашине возникают вследствие наличия зазоров между подвижными и неподвижными частями, а также через разгрузочное устройство. Они обусловлены разностью давлений по обе стороны зазоров, которые исключают трение ротора турбомашины о неподвижные узлы.

Уменьшение утечек текучего через зазоры обеспечивают путем устройства различного рода уплотнений и лабиринтов на уплотнительном пояске переднего диска рабочего колеса.

Наличие щелевых (объемных) утечек $\Delta Q_{ут}$ приводит к тому, что кривая *IV* сместится в сторону меньших расходов (кривая *V*). Получен-

ная кривая *V* (*Q* – *H*) называется действительной напорной характеристикой турбомашины при заданном постоянном числе оборотов *n*.

При возрастании зазоров в уплотнении колес в процессе эксплуатации машины происходит увеличение объемных утечек и характеристика турбомашины еще больше смещается в сторону начала координат. Одновременно с этим снижаются объемный и общий к.п.д. турбомашины. Следовательно, в процессе эксплуатации машин необходимо контролировать утечки и общий к.п.д. турбомашины.

Механические потери не оказывают влияния на напорную характеристику турбомашины и не вызывают смещения кривой *Q* – *H*. Они складываются из потерь мощности от трения вала турбомашины в подшипниках, сальниках переднего и заднего дисков колеса о текучее.

Величина всех видов потерь в турбомашинах оценивается своим к.п.д. [5].

Гидравлический к.п.д.:

$$\eta_{\text{г}} = \frac{H}{H_{\text{т}}}, \tag{2.49}$$

где *H* – напор действительной турбомашины при отсутствии утечек (см. рис. 2.15, ордината 5 – 6), м; $H_{\text{т}}$ – напор турбомашины при конечном числе лопаток (см. рис. 2.15, ордината 1 – 2), м.

Объемный к.п.д.

$$\eta_{\text{об}} = \frac{Q}{Q + Q_{\text{ут}}}, \tag{2.50}$$

где *Q* – подача машины (см. рис. 2.15, абсцисса 4 – 5 кривой *V*); $Q_{\text{ут}}$ – утечка текучего в машине (см. рис. 2.15, отрезок абсциссы 3 – 5 между кривыми *IV* и *V*).

Механический к.п.д.

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{N_{\text{в}} - (N_{\text{с}} + N_{\text{п}} + N_{\text{д.т.}})}{N_{\text{в}}}, \tag{2.51}$$

где $N_{\text{в}}$ – мощность на валу турбомашины; $N_{\text{с}}$ – мощность, расходуемая на трение в сальниках; $N_{\text{п}}$ – мощность, затрачиваемая на трение в подшипниках; $N_{\text{д.т.}}$ – мощность дискового трения.

Общий к.п.д. турбомашины определяется как произведение

$$\eta = \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{об}} \cdot \eta_{\text{мех}}. \tag{2.52}$$

К.п.д. турбомашины меняется с производительностью ее и имеет максимум, которому отвечает нормальная (расчетная) производительность турбомашины $Q_н$. При отклонении подачи турбомашины от нормальной в обе стороны от нее происходит снижение к.п.д.

Действительные параметры центробежной турбомашины:

напор по формулам (2.45) – (2.48):

а) насоса

$$H = k_ц H_{T_\infty} \eta_г = k_ц \eta_г \frac{U_2 C_{2u_\infty}}{g} = k_ц \eta_г \varphi_2 \frac{U_2^2}{g}; \qquad (2.53)$$

б) вентилятора

$$h = k_ц \cdot \eta_г \cdot \rho \cdot U_2 \cdot C_{2u_\infty}. \qquad (2.54)$$

Подача (производительность) с учетом $k_ц$ и $\eta_{об}$

$$Q = k_с \cdot \eta_{об} \cdot \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot C_{2r}. \qquad (2.55)$$

Мощность по формуле:

а) насоса

$$N = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{1000 \cdot \eta}; \qquad (2.56)$$

б) вентилятора

$$N = \frac{Q \cdot h}{102 \cdot \eta}, \qquad (2.57)$$

где H и h – напор насоса и вентилятора соответственно м. вод. ст. и мм вод. ст.

2.7. Действительные (индивидуальные) характеристики турбомашин

Действительная напорная характеристика турбомашины, полученная методом последовательного исключения потерь, значительно отличается от реальной напорной характеристики турбомашины как следствие взаимного влияния различных видов потерь друг на друга, так и изменения поправочных коэффициентов и к.п.д., величина которых колеблется в значительных пределах.

Расхождение между вышеназванными характеристиками оказывается тем больше, чем значительнее отклоняются фактическая подача и напор от расчетных.

Для оценки гидроаэродинамических и эксплуатационных качеств турбомашины необходимо кроме зависимости напора от подачи знать изменение мощности на валу и к.п.д.

Гидроаэродинамические и эксплуатационные качества машины определяются только опытным путем испытанием на стенде завода-изготовителя (после этого характеристика прилагается к паспорту машины) либо на месте ее установки.

При снятии опытной характеристики турбомашины производится изменение режима ее работы при постоянной скорости вращения машины путем изменения открытия и закрытия задвижки, установленной на нагнетательной линии. При этом необходимо произвести как можно больше замеров режима работы машины, так как особенно велик разброс данных замеров при изменении сопротивления на выходе турбомашины при переходе от закрытия задвижки к открытию и наоборот.

Результаты измерения расхода Q и напора H по приборам оформляются в виде опытной кривой $Q = f(H)$ (рис. 2.16).

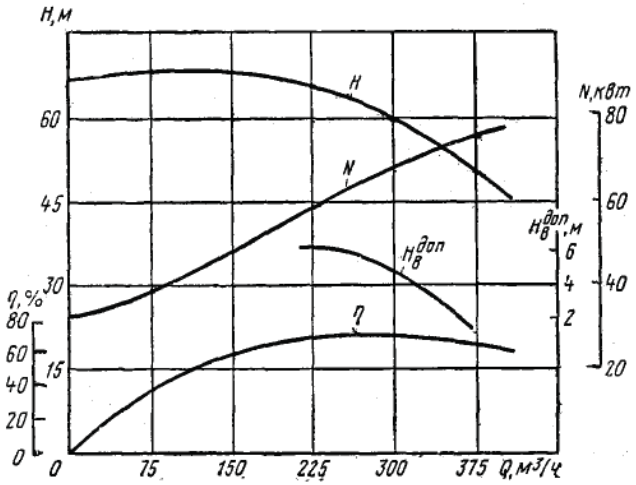


Рис. 2.16. Индивидуальная характеристика центробежного насоса ЦНС 300-120-600 при n = 1450 об/мин, D_2 = 230 мм

Одновременно с замером Q и H определяют мощность $N_в$, расходуемую на валу машины, и для насосов разрежение при входе $H_{вак}$. Далее откладываем значение $N_в$ на вертикалях, проходящих через соответствующие им подачи Q, и проводим плавную кривую так, чтобы отклонение всех точек относительно нее примерно было одинаковым.

Для каждой точки кривой $Q = f(H)$ находим полезную мощность на валу $N_в$, и по уравнению (2.56) вычисляем значение общего к.п.д. насоса.

Полученные расчеты к.п.д. наносят на график, и отдельные точки соединяют вместе плавной кривой $Q = f(\eta)$, дающей к.п.д. насоса η.

Совокупность этих трех кривых $Q = f(H)$, $Q = f(N_в)$ и $Q = f(\eta)$ при n = const называется рабочей характеристикой турбомашины для постоянного числа оборотов. Ее называют еще индивидуальной, так как она присуща только данной машине и никакой иной.

2.8. Типовые характеристики турбомашин

Каждая турбомашина имеет свою определенную, присущую только ей, индивидуальную характеристику для постоянного числа оборотов. Поэтому распространять эту характеристику на другие машины нельзя, если даже между ними имеется внешнее сходство.

Однако, если турбомашины будут подобны друг другу, то всем им будет присуща одна единая характеристика, которую называют безразмерной или типовой, так как она обезличена и непосредственно не связана ни с одной из машин.

Турбомашины называются типовыми или серийными, если они геометрически подобны друг другу (отношение элементов проточной части колеса постоянно, например, b_2/D_2, одинаковые углы наклона лопастей и т. д.), кинематически подобны (скоростные треугольники входа и выхода подобны, т. е. происходит пропорциональное изменение всех скоростей в одном отношении) и число Рейнольдса сохраняется в этих машинах неизменным или отклоняется не более чем в 3 раза [5].

$$\frac{C_{2_2}}{C_{2_1}} = \frac{W_{2_2}}{W_{2_1}} = \frac{C_{2_{2u}}}{C_{2_{1u}}} = \frac{C_{2r_2}}{C_{2r_1}}. \qquad (2.58)$$

Теоретический напор идеальной турбомашины, согласно формуле (2.40), можно представить в виде соотношения

$$H_{T_\infty} = \frac{U_2^2}{g}\left(1 + \frac{\mathrm{ctg}\beta_2}{\pi \cdot U_2 \cdot D_2^2 \cdot \varphi} \cdot Q_T\right) = \mu_\infty \cdot \frac{U_2^2}{g} \qquad (2.59)$$

или

$$\mu_\infty = \frac{g \cdot H_{T_\infty}}{U_2^2} = 1 + \frac{\mathrm{ctg}\beta_2 \cdot Q_T}{\pi \cdot \varphi \cdot U_2 \cdot D_2^2}, \qquad (2.60)$$

где φ – коэффициент, равный отношению ширины колеса на выходе к его диаметру, $\varphi = b_2/D_2$; μ_∞ – теоретический коэффициент напора при $z = \infty$. Достаточно в формулу (2.59) подставить значение входящих в нее величин, чтобы убедиться что μ_∞ является безразмерным коэффициентом, не зависящим от размеров машины и скорости ее вращения.

Обозначив в формуле (2.60) $\mathrm{ctg}\beta_2/\pi\cdot\varphi$ через B_1 и $Q/U_2\cdot D_2^2$ через ξ (соответственно B_1 – конструктивный параметр серии и ξ – типовая характеристика расхода турбомашины), получим

$$\mu_\infty = 1 + B_1 \cdot \xi. \qquad (2.61)$$

$$H = k_ц \cdot \eta_г \cdot \varphi_2 \cdot \frac{U_2^2}{g} = \mu \cdot \frac{U_2^2}{g} = \frac{\mu}{g} \cdot \left(\frac{\pi D_2 n}{60}\right)^2. \qquad (2.62)$$

$$\mu = k_ц \cdot \eta_г \cdot \varphi_2. \qquad (2.63)$$

В отдельности установить опытным путем каждый из этих коэффициентов затруднительно, но сравнительно просто найти их произведение μ, которое можно вычислить, измерив напор машины и число ее оборотов при данном диаметре рабочего колеса D_2. В этом случае безразмерный (типовой) коэффициент напора μ для насосов [5]

$$\mu = \frac{g \cdot H}{U_2^2}, \qquad (2.64)$$

а в случае вентиляторов, когда h дается в кг/м^2,

$$\mu = \frac{h}{\rho \cdot U_2^2}. \qquad (2.65)$$

$$Q = (4\pi k_c \eta_{об} \varphi_2 \psi tg\alpha_2) K_0 U_2 \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 = \delta K_0 U_2 \left(\frac{D_2}{2}\right)^2, \qquad (2.66)$$

где ψ – коэффициент, равный отношению ширины колеса на выходе к его диаметру, $\psi = b_2 / D_2$.

Произведение коэффициентов, заключенное в скобки, является безразмерной величиной, одинаковой для типовых турбомашин на сходственных режимах и не зависящей от D_2 и U_2, называемой типовым коэффициентом подачи δ турбомашины. Отсюда типовой коэффициент подачи

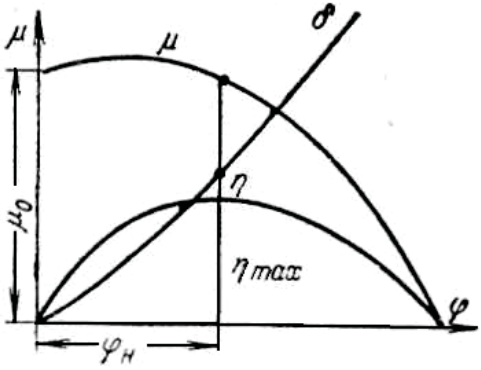


Рис. 2.17. Типовые характеристики турбомашины

$$\delta = \frac{Q}{K_0 \cdot U_2 \cdot (\frac{D_2}{2})^2}. \qquad (2.67)$$

Для связи параметров серийной турбомашины с внешней характеристикой сети акад. М. М. Федоров ввел безразмерный коэффициент отнесенного отверстия сети φ, численно равный отношению

$$\varphi = \frac{\delta}{\sqrt{\mu}}. \qquad (2.68)$$

Типовая характеристика турбомашины в прямоугольных координатах φ – μ, φ – δ и φ – η показана на рис. 2.17.

Располагая этой характеристикой и задаваясь желаемым значением к.п.д. машины, легко найти μ, δ или φ.

Для построения типовой характеристики необходимо по индивидуальной характеристике турбомашины (для соответствующих Q, H и η), используя формулы (2.62), (2.67) и (2.68), вычислить μ, δ и φ, а затем построить по точкам кривые $\varphi = f(\mu)$, $\varphi = f(\delta)$ *и* $\varphi = f(\eta)$.

2.9. Законы пропорциональности и универсальная характеристика турбомашин

Закономерность изменения напора, производительности и потребляемой мощности на валу одной и той же турбомашины (или разных турбомашин, образующих серию) от размеров рабочих колес и скорости вращения или того и другого одновременно называют законами пропорциональности. Они впервые были теоретически обоснованы акад. А. П. Германом [5].

Воспользовавшись формулами (2.62) и (2.67) и формулой мощности (2.12), можем написать для ряда турбомашин соотношения:

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{\mu_2 \cdot (n_2 \cdot D_2)^2}{\mu_1 \cdot (n_1 \cdot D_2')^2}; \tag{2.69}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\delta_2}{\delta_1} \cdot (\frac{n_2}{n_1}) \cdot (\frac{D_2}{D_2'})^3; \tag{2.70}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Q_2 H_2 \eta_1}{Q_1 H_1 \eta_2} = \frac{\mu_2 \delta_2 \eta_1}{\mu_1 \delta_1 n_2} \cdot (\frac{n_2}{n_1})^3 \cdot (\frac{D_2}{D_2'})^5. \tag{2.71}$$

Для одной и той же турбомашины не меняются размеры рабочего колеса ($D_2 = D_2'$), остаются неизменными типовые коэффициенты ($\mu_2 = \mu_1$ и $\delta_2 = \delta_1$) и общий к.п.д. машины ($\eta_2 = \eta_1$). Поэтому законы пропорциональности получат следующую запись;

$$\frac{H_2}{H_1} = (\frac{n_2}{n_1})^2; \tag{2.72}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \tag{2.73}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = (\frac{n_2}{n_1})^3. \tag{2.74}$$

Следовательно, при изменении скорости вращения турбомашины ее подача, напор и мощность изменяются соответственно первой, второй и третьей степеням скорости вращения рабочих колес.

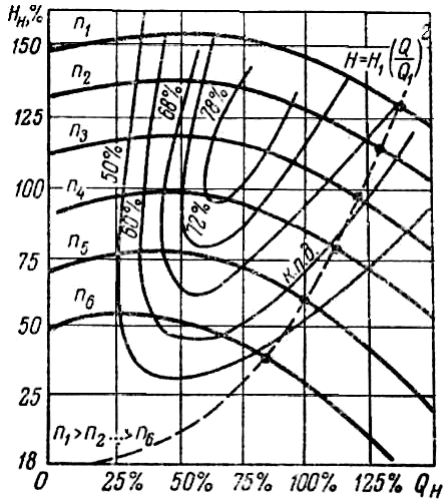


Рис. 2.18. Универсальная характеристика турбомашины

В этих формулах характеристика насоса $Q = f(H)$ остается по форме неизменной, но располагается выше основной характеристики при возрастании числа оборотов и, наоборот, смещается ниже основной характеристики при уменьшении числа оборотов, каждая точка которой при изменении числа оборотов перемещается по параболе $H_2=H_1\cdot(Q_2/Q_1)^2$ (рис. 2.18).

Ее уравнение получается в результате исключения из формул (2.72) и (2.73) значений чисел оборотов. Применительно к типовым турбомашинам формулы (2.69) – (2.71) примут вид:

$$\frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\cdot\left(\frac{D_2}{D_2'}\right)^2; \tag{2.75}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{n_2}{n_1}\cdot\left(\frac{D_2}{D_2'}\right)^3; \tag{2.76}$$

$$\frac{N_2}{N_1}=\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3\cdot\left(\frac{D_2}{D_2'}\right)^5. \tag{2.77}$$

Типовые коэффициенты напора ($\mu_2 = \mu_1$) и расхода ($\delta_2 = \delta_1$) остаются одинаковыми, так же как и к.п.д. машин.

В случае одинаковой скорости вращения в этих формулах отношение $n_2/n_1=1$ и они соответственно упрощаются.

Совокупность кривых зависимости напора H от подачи Q с кривыми равных значений к.п.д. для различных чисел оборотов (приведены на рис. 2.18) называются ***универсальной характеристикой турбомашины***. Она полностью отражает эксплуатационные свойства турбомашины при работе на данную сеть, если таковую построить в том же масштабе, который принят для Q и H.

Необходимо заметить, что полный к.п.д. турбомашины не остается постоянным при изменении чисел оборотов турбомашины, как это мы предполагали при выводе формул (2.74) и (2.77). Это вызвано увеличением относительной величины механических потерь в подшипниках, сальниках, изменение которых не оказывается пропорциональным кубу числа оборотов машины. Помимо этого, возрастание числа оборотов турбомашины может привести к снижению ее к.п.д. вследствие ухудшения условий всасывания текучего [5].

2.10. Быстроходность центробежных насосов

Для возможности сравнения между собой турбомашин, изготовленных для различных напоров и производительностей, широко используют понятие коэффициента быстроходности (удельного числа оборотов).

Удельным числом оборотов $n_{уд}$ называют число оборотов воображаемой турбомашины, геометрически подобной с сопоставляемой машиной, но имеющей такие размеры, что она при расходе $Q_{уд}$ создает напор $H_{уд}$.

Если из формул (2.75) и (2.76) исключить диаметры колес и решить их относительно числа оборотов $n_{уд}$, то получим

$$n_{уд} = n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \cdot \frac{H_{уд}^{3/4}}{Q_{уд}^{3/4}}. \qquad (2.78)$$

Величины $Q_{уд}$ и $H_{уд}$ для модельной (эталонной), одноколесной машины приняты следующими:

для насосов $Q_{уд}$ =0,075 м^3/с и $H_{уд}$ = 1 м вод. ст.;

для вентиляторов $Q_{уд}$ =1 м^3/с и $H_{уд}$ = 30 мм вод. ст.

После подстановки в формулу (2.78) значений $Q_{уд}$ и $H_{уд}$ получим удельные числа оборотов:

для насосов

$$n_{уд} = 3{,}65 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}; \qquad (2.79)$$

для вентиляторов

$$n_{уд} = 12{,}9 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}. \qquad (2.80)$$

Из формул (2.79) и (2.80) следует, что чем больше производительность и число оборотов машины и меньше напор, тем выше коэффициент быстроходности (удельное число оборотов). При этом в случае многоколесной машины вместо H подставляем напор одного колеса, а вместо Q – производительность колеса одностороннего входа. Для определения $n_{уд}$ машин с двусторонним входом текучего подставляют половину производительности колеса.

Типы рабочих колес и их характеристики показаны на рис. 2.19.

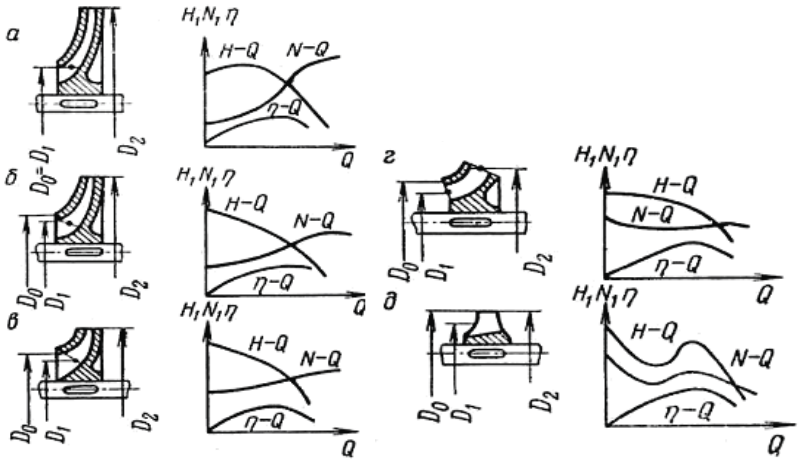


Рис. 2.19. Типы рабочих колес и их характеристики:
а – тихоходное колесо ($n_{уд}$ = 40 – 80; D_2 = 2,5; η = 0,72);
б – нормальное колесо ($n_{уд}$ = 80 – 150; D_2/D_1 = 2, η = 0,8);
в – быстроходное колесо ($n_{уд}$ =150- 300; D_2/D_1 = 1,8 – 1,4; η = 0,86);
г – диагональное колесо ($n_{уд}$ = 300 – 600; D_2/D_1 = 1,2 – 1,1);
д – осевое колесо ($n_{уд}$ = 600 – 1200; D_2/D_1 = 0,8)

В зависимости от величины $n_{уд}$ меняются форма рабочего колеса, его эксплуатационная характеристика и к.п.д., причем с ростом $n_{уд}$ возрастает к.п.д. машины, но уменьшаются ее габаритные размеры, вес, а в насосе еще и допустимая вакуумметрическая высота всасывания. Одновременно с этим возрастает мощность, потребляемая колесом при нулевой подаче (закрытой задвижке на нагнетании), и повышаются горбы и впадины на кривой $Q = f(H)$ [5].

Напорные характеристики по внешнему виду бывают с максимумом (горбатые) (рис. 2.19, *а*), крутые (рис. 2.19, *б, в*), пологие (рис. 2.19, *г*) и седлообразные (рис. 2.19, *д*).

Крутизна характеристики оценивается коэффициентом $k_ф$, %

$$k_ф = \frac{H_0 - H_н}{H_н} \cdot 100, \qquad (2.81)$$

где H_0 и $H_н$ – соответственно напор турбомашины при нулевой и нормальной подачах.

При пологой характеристике $k_ф$ = 8 – 12 %, при крутой 15 – 18 % и при горбатых $k_ф$ отрицателен.

Насосы, применяемые в горной промышленности, характеризуются небольшими производительностями, но высокими напорами, поэтому их быстроходность и к.п.д. невелики. Необходимость присасывания воды еще в большей степени снижает быстроходность насосов, так как их производительность теперь ограничивается требованием отсутствия кавитации при их работе. Создание высокоэкономичных насосов возможно путем снижения напоров на колесо и увеличения числа их с переходом от горизонтального расположения вала на вертикальное (чтобы исключить прогиб вала и задевание колес за направляющие аппараты) или за счет отказа от присасывания воды и получения высоких значений $n_{уд}$ (при небольших габаритах машин, при скорости вращения свыше 3000 об/мин).

При максимальном к.п.д. турбомашины имеют следующие значения коэффициента быстроходности: центробежные насосы главного водоотлива 65-100 об/мин, вентиляторы главного проветривания (центробежные) 40-80 об/мин, осевые 100-140 об/мин.

3. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ТУРБОМАШИН НА ВНЕШНЮЮ СЕТЬ

Совместная работа нескольких турбомашин требуется в тех случаях, когда при одиночной их работе на данную сеть не удается получить необходимых параметров. Если развиваемый напор оказывается недостаточным, то прибегают к последовательному включению двух или нескольких машин. Если же недостаточной оказывается производительность, включают в совместную одновременную работу две или несколько турбомашин, но уже параллельно [5].

При совместной последовательной работе турбомашин их соединяют так, чтобы текучее поступало во всас первой машины, а затем последовательно проходило через все машины и далее во внешнюю сеть. Подобная схема включения встречается при откачке воды из карьера или скважины.

При параллельной работе каждая турбомашина самостоятельно забирает текучее, а затем подает совместно со всеми машинами в одну сеть.

При совместной работе встречаются случаи размещения одинаковых и разных турбомашин в одном помещении или камере и на значительном расстоянии друг от друга.

Методику нахождения режима турбомашин при совместной их работе рассмотрим для всех вышеперечисленных способов.

3.1. Последовательная работа турбомашин, расположенных рядом и на значительном расстоянии друг от друга

Последовательная работа турбомашин с одинаковыми характеристиками, расположенными рядом. Режим последовательной работы двух и более турбомашин находится графическим путем как точка пересечения характеристики трубопровода и общей совместной характеристики насосов. Последняя определяется сложением напоров отдельных машин для одинаковых значений подач.

Последовательная работа двух турбомашин, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. В практике эксплуатации водоотливных установок с центробежными насосами на карьерах и дренажных шахтах, при эксплуатации землесосов нередко приходится прибегать к последовательному включению машин, находящихся на значительном расстоянии друг от друга.

Для нахождения режима работы таких машин необходимо привести характеристику более удаленной турбомашины к точке подключения ближайшей турбомашины, далее к следующей и т. д. Оно состоит в вычитании из ординат характеристики машины ординат характеристики сети при одних и тех же подачах (результирующие ординаты заключены в промежутке между характеристиками машины и трубопровода).

На рис. 3.1 произведено нахождение режима работы последовательно включенных насосов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга.

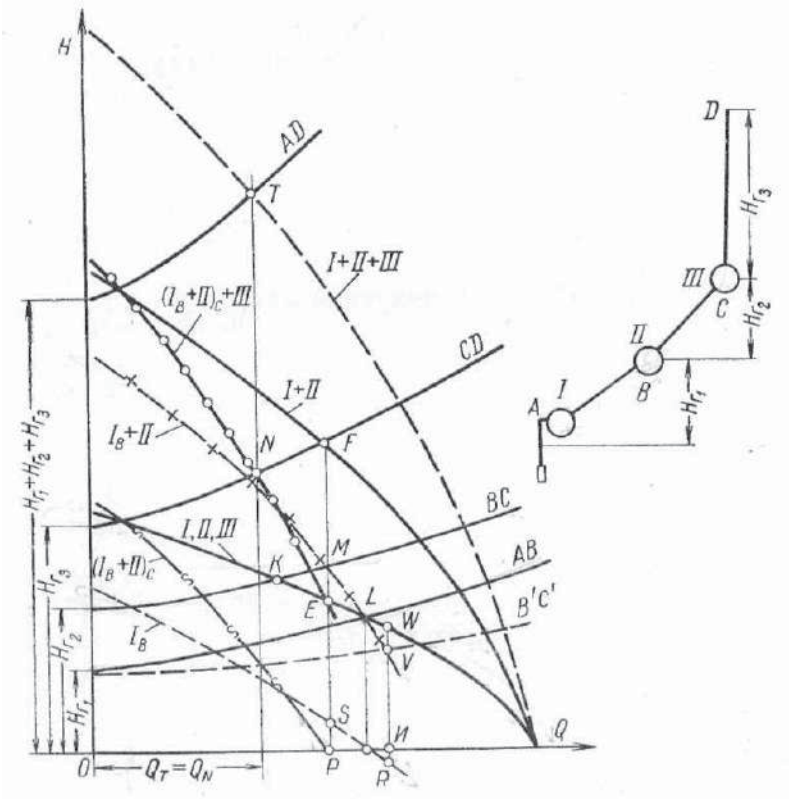


Рис. 3.1. Последовательная работа турбомашин, находящихся на значительном расстоянии друг от друга

Насос *I* подает воду по трубопроводу *AB* в насос *II*, поэтому приводим его в точку *B*, вычитая из ординат характеристики *I* ординаты характеристики сети *AB*; приведенная характеристика показана в виде кривой *I*в. Результирующая характеристика машины *II* и *1*в получена путем сложения их ординат для одних и тех же подач и представлена кривой *II* + *I*в.

Если бы работали только две машины и участка *CD* вместе с насосом *III* не было, то режим работы машин на сеть *BC* определялся точкой *M*. При независимой работе машин *I* и *II* на свои сети их режим был бы соответственно в точках *K* и *L*. Если бы обе машины располагались рядом, то их совместная характеристика будет *I+II*, а суммарная характеристика трубопровода – *CD*. Режим работы машин в этом случае на сеть *CD* окажется в точке *F*, при этом абсциссы точек *M* и *F* одинаковы и находятся на одной вертикали, т. е. суммарная подача машин не зависит от места размещения машин по нагнетательной линии. Все отличие вызвано только тем, что давление в нижней части трубопровода будет значительно выше (*PF*), в то время как в первом случае каждая машина развивала напор *EP*. Остаток давления первой машины на входе во вторую равен *PS*, т. е. вода подается под давлением и все точки *F*, *M*, *E*, *S, P* располагаются на одной вертикали.

В случае последовательной работы трех машин необходимо привести их к точке *C* или самостоятельно сложить отдельно характеристики машин и трубопроводов. В последнем случае режим работы машин окажется в точке *T*.

Суммируя (*I*в + *II*) с *III*, получаем их общую характеристику (*I*в + *II*)с + *III* и режим работы машин на сеть *CD* окажется в точке *N* (абсциссы точек *N* и *T* одинаковы).

В практике эксплуатации последовательно включенных насосов наблюдаются случаи, когда вместо давления в точке *B*, а в ряде случаев и в точке *C*, имеет место разрежение и, как следствие этого, неустойчивая работа машин. Последнее вызвано тем, что разрежение перед насосом превышает допустимое для данного типа машин и происходит срыв работы. Подобный случай возможен и в рассматриваемом нами случае, если предположить, что геометрическая высота участка *BC* равна не $H_{г2}$, а $H_{г1}$ и потери трубопровода значительно меньше, т. е. характеристика сети расположена положе *B'C»*. Режим работы машин *I* и *II* на сеть *B'C'* будет в точке *V*. Проведя через нее прямую, параллельную оси ординат, встречаем характеристику *I*в в точке *R*, а машин *I* и *II* в

точке *W*. Следовательно, при входе воды во второй насос возникает разрежение *IR*, а на выходе из насосов будут развиты напоры *IW*. Устойчивый режим будет создан только при прикрытии задвижек на трубопроводе *B'C'*.

В случае значительного превышения напора последовательно включенных машин при нулевой их подаче в сравнении с геометрической высотой установки нередко встречается перераспределение давлений по ступеням насоса и один из них на выходе даст вместо давления разрежение.

Режим последовательной работы машин с разными характеристиками в практике встречается довольно редко, а методика нахождения суммарной характеристики ничем не отличается от разобранной ранее.

Совместную работу нескольких последовательно включенных колес и их характеристику можно рассматривать аналогично характеристике одного колеса и все последующие рассмотрения в этом направлении провести применительно к работе отдельных колес.

Это тем более важно, что несоответствие числа колес в турбомашине геометрической высоте установки $H_г$ часто порождает неэкономичную работу турбомашин (насоса в особенности) [5].

3.2. Параллельная работа турбомашин, расположенных рядом и на значительном расстоянии друг от друга

Одинаковые турбомашины располагаются на незначительном расстоянии друг от друга.

Режим их совместной работы на сеть показан на рис. 3.2. Совмещаем характеристику первого насоса *I* с внешней сетью *KL*, построенных в одном масштабе, находим точку их пересечения *A*. Через нее проводим две прямые – одну параллельно оси абсцисс и другую оси ординат и определяем подачу машины Q_A, напор ее H_A, мощность на валу N_A и к.п.д. η_A.

Режим работы второй машины *II* тот же самый, так как ее характеристика идентична первой. В связи с недостаточной подачей воды одной машиной включаем их параллельно на прежнюю сеть *KL*. Для определения режима совместной работы найдем суммарную характеристику турбомашин путем сложения подач при равных напорах. В результате построений получаем суммарную характеристику машин *I +II*. Режим их работы на сеть *KL* характеризуется точкой *B*. Совместная по-

дача машин равна Q_B, а напор их H_B. Для нахождения подачи, к.п.д. и мощности каждой машины, через точку *B* проводим прямую, параллельную оси подач, до встречи с индивидуальной напорной характеристикой машин (точка *C*), а затем через нее проводим вертикальную прямую, пересечение которой с графиками $N=f(Q)$ и $Q=f(\eta)$ позволяет определить искомые величины *N* и η. В этом случае подача каждой машины при совместной работе будет (Q_C) несколько меньше, чем при одиночной работе машины на сеть *KL*. Напор же машин в этом режиме повысился и достиг величины H_B, т. е. стал больше, чем H_A, а мощность каждой машины достигла значения N_C.

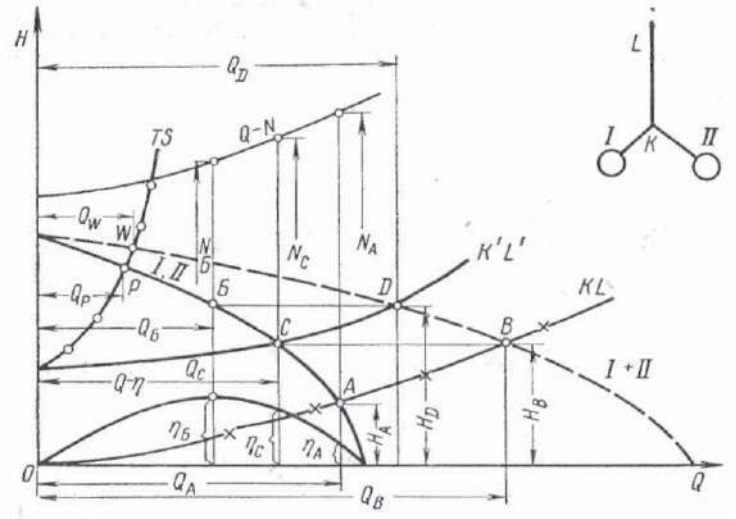


Рис. 3.2. Параллельная работа одинаковых турбомашин, расположенных рядом

В случае совместной работы насосов на внешнюю сеть с $H_Г$ режим их работы будет в точке *D*, подача составляет Q_D (находится ранее рассмотренным способом).

В случае возрастания сопротивления сети *K'L'* до *TS* эффективность совместной работы понизится до *Qw*, т. е. в еще большей степени, так как подача двух машин незначительно превышает подачу одной машины.

Следовательно, параллельная работа машин всегда менее выгодна, чем независимая откачка воды турбомашинами по своим трубопроводам.

Параллельная работа двух турбомашин, находящихся на значительном расстоянии друг от друга. Нахождение режима работы турбомашин, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, требует предварительного приведения этих машин к точке разветвления, как это делалось раньше, т. е. вычитанием из ординаты характеристики турбомашины ординаты характеристики сети при одних и тех же подачах. Последовательность решения видна на рис. 3.3.

Предположим, что характеристика первой турбомашины отлична от характеристики второй и работают они на сети с разными значениями $H_{Г}$. В этом случае приведенная характеристика турбомашин будет $I_{В}$ и $II_{В}$. В результате суммирования их получаем характеристику $I_{В}+II_{В}$. Режим работы этих машин на сеть BD характеризуется точкой K. Суммарная подача окажется $Q_{К}$ и напор $H_{К}$.

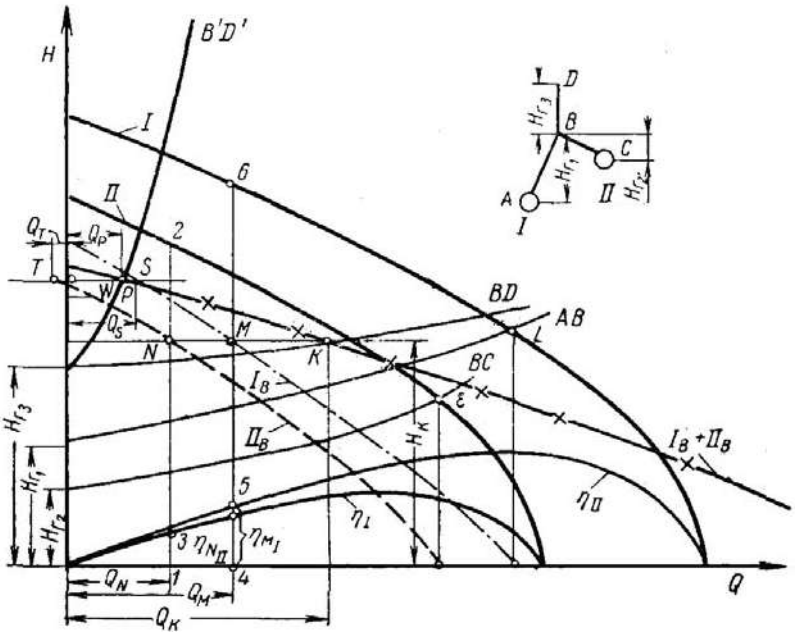


Рис. 3.3. Параллельная работа турбомашин, расположенных на значительном расстоянии друг от друга

Если проведем через точку *K* прямую, параллельную оси абсцисс, то точки встречи ее с характеристиками I_B и II_B дадут соответственно подачу первой Q_M и второй Q_N турбомашин при параллельной работе. Проведя через точки *N* и *M* вертикальные линии, найдем в точке *C* напор машины *1 – 2* и к.п.д. *1 – 3* и в точке *A* соответственно *4 – 6* и *5 – 4*.

В случае засорения трубопровода или прикрытия задвижки характеристика сети займет положение *B'D'*, и тогда режим работы машин I_B+II_B будет в точке *P*. Суммарная подача турбомашин равна Q_P (отрезок *WP*). В то время как первая машина подает в сеть текучего Qs(*WS*), вторая машина Q_T(на графике рис. 3.3 отрезок *WT*), т. е. пропустит обратно воду из сети через машину в приемный резервуар. Следовательно, совместная работа машин окажется невозможной.

Прежде чем решать вопрос о переходе на совместную работу нескольких турбомашин, необходимо произвести графическое решение данной задачи и только в случае положительного результата принять вариант совместной работы.

Для совместной работы лучше всего использовать машины с одинаковыми характеристиками.

4. ВОДООТЛИВНЫЕ УСТАНОВКИ

4.1. Назначение, классификация и область применения насосных установок на горных предприятиях

Водоотливные установки – это сложный комплекс горных выработок и электромеханического оборудования, которое состоит из насосов, двигателей, всасывающих и нагнетательных трубопроводов, пусковой аппаратуры автоматического управления для удаления воды и выдачи ее на поверхность (см. рис. 4.4.).

На горных предприятиях нашли наибольшее применение водоотливные установки, оборудованные центробежными насосами.

Классификация центробежных насосов обычно производится по признакам, приведенным ниже [5]:

1. По числу ступеней или рабочих колес – одноступенчатые и многоступенчатые.

2. По способу сбора и отвода воды после рабочего колеса – насосы с направляющими аппаратами и переводными каналами, насосы со спиральной камерой и коническим диффузором, насосы с кольцевым отводом, спиральной камерой и коническим диффузором.

3. По месту преобразования скоростного напора, выходящего из рабочего колеса насоса в статическое давление – в направляющем аппарате, кольцевом отводе-диффузоре и коническом диффузоре.

4. По числу всасывающих отверстий в рабочем колесе – с одно- или двусторонним всасыванием.

5. По расположению вала – горизонтальные и вертикальные.

6. По конструкции корпуса – цельнокорпусные, с разъемным корпусом и секционные. У разъемных насосов корпус имеет один разъем вдоль вала машины, у секционных корпус разделен на несколько одинаковых частей – секций, перпендикулярных валу машины. Все секции корпуса стягиваются вместе болтами.

7. По назначению – шахтные, скважинные, углесосы, грунтонасосы и т. п. Они изготовляются для откачки пресной и кислотной воды, для перекачивания чистых жидкостей и насыщенных различного рода механическими примесями, гидросмесей.

4.2. Технологические схемы стационарного водоотлива

Технологические схемы водоотлива определяются глубиной и числом разрабатываемых горизонтов, способом и порядком отработки месторождений. При отработке одного горизонта (рис. 4.1, ***а***) наиболее приемлемой является схема бесступенчатого водоотлива, когда вода собирается в водосборник главного водоотлива и насосы непосредственно откачивают ее на поверхность.

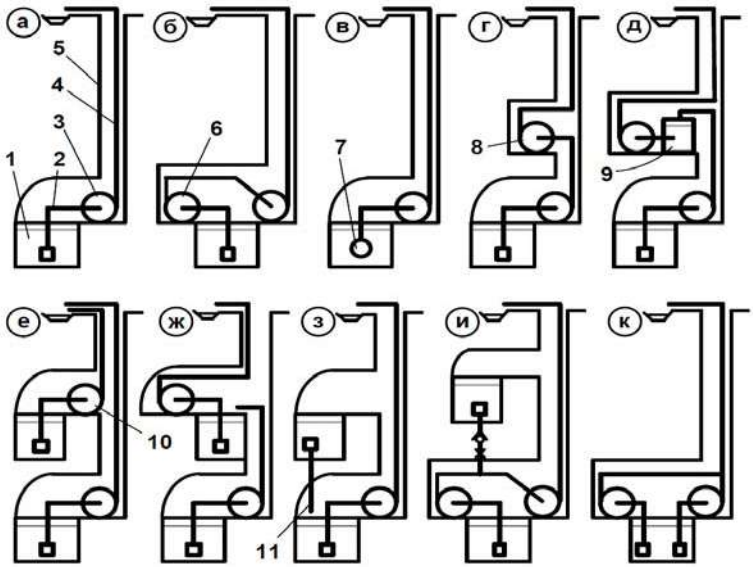


Рис. 4. 1. Схемы водоотлива при разработке одного и более горизонтов шахт:
а – одноступенчатая; ***б*** – одноступенчатая с двумя насосами, включенными последовательно; ***в*** – одноступенчатая с бустерным насосом; ***г*** – каскадная замкнутая; ***д*** – каскадная замкнутая с промежуточной емкостью;
е – раздельная; ***ж*** – каскадная разомкнутая; ***з*** – одноступенчатая с перепуском воды верхнего горизонта на нижний; ***и*** – одноступенчатая с перепуском воды верхнего горизонта в рассечку между основным и дополнительным насосом;
к – одноступенчатая, с параллельным включением насосов;
1 – приемный колодец; ***2*** – всасывающий трубопровод; ***3*** – насос;
4 – нагнетательный трубопровод; ***5*** – ствол; ***6*** – насос; ***7*** – бустерный насос;
8 – насос вышележащего горизонта; ***9*** – закрытый бак;
10 – насос вышележащего горизонта; ***11*** – перепускной трубопровод

При применении этой схемы уменьшается объем горных работ, требуемых для водоотлива, упрощается электромеханическое оборудование и понижается безопасность труда, но возрастает напор, растут капитальные затраты на изготовление насосов и арматуры высокого давления, увеличивается мощность двигателей. Тем не менее, эта схема является предпочтительной, поэтому стремятся увеличить возможную глубину бесступенчатого водоотлива созданием высоконапорных насосов.

Если напора одного насоса недостаточно, то применяют последовательную работу насосов (рис. 4.1, ***б***), устанавливаемых в одной камере, или используют ступенчатые схемы (рис. 4.1, ***г, д, е***, ***ж)*** с размещением насосов на разных горизонтах. При этом насосы могут быть включены без и с промежуточным водосборником.

Ступенчатая схема с промежуточным водосборником допускает меньшие давления, что повышает безопасность и надежность труда, но при этой схеме требуется сооружение и поддержание промежуточного водосборника, стоимость которого значительна.

При разработке двух и более горизонтов с самостоятельными притоками возможен бесступенчатый водоотлив отдельно с каждого горизонта (рис. 4.1, ***е***) или с перекачкой (рис. 4.1, ***г, д, ж, з, и***).

Выбор последних схем определяется водопритоками на отдельных горизонтах.

Например, если водопритоки верхних горизонтов велики, то рациональной является схема, показанная на рис. 4.1, ***ж***. Если водопритоки нижних горизонтов велики, то лучше использовать схемы рис. 4.1, ***з*** и рис. 4.1, ***и*** с перепуском воды с верхних горизонтов на нижний, при которой не требуется устанавливать мощные насосные станции на разных горизонтах. Напор воды с верхнего горизонта можно частично использовать (рис. 4.1, ***и***), если воду с этого горизонта подводить по трубам непосредственно к всасывающему тракту насосов.

В случае значительного удаления участка шахты от участковой или главной водоотливной установок вода на поверхность откачивается по трех ступенчатой схеме.

Прогрессивным направлением является применение бескамерного водоотлива, при котором не требуется специальная насосная камера и значительно упрощается водоотливное хозяйство шахт. При бескамерном водоотливе используются погружные насосы, например, типа ЭЦВ, устанавливаемые в трубных отделениях стволов и ниже уровня воды в водосборниках.

Выбор технологической схемы водоотлива осуществляется на основе технико-экономического сопоставления вариантов в зависимости от местных горно-геологических условий горного предприятия, последовательности отработки горизонтов и других факторов.

4.3. Насосные установки шахт, карьеров и обогатительных фабрик

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых, залегающих ниже уровня подземных вод, необходимо тем или иным способом снизить уровень подземных вод ниже подошвы карьера для обеспечения устойчивости бортов карьера и безопасной работы в нем. Осушение месторождения возможно организовать одним из трех способов [5]:

1) подземный способ (см. рис. 4.1) применяется в породах, плохо отдающих воду (глины, глинистые пески, мелкозернистые пески и т. п.).

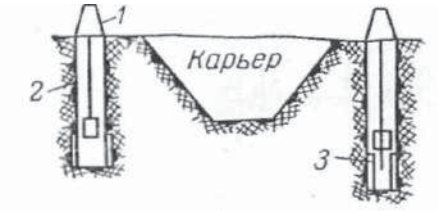


Рис. 4.2. Схема осушения скважинными установками

2) глубокое водоосушение с помощью скважинных насосных установок ***1*** (рис. 4.2), поднимающих воду с большой глубины на поверхность, можно применять при наличии пород, хорошо отдающих воду (крупнозернистые пески, галечники, трещиноватые известняки и т. п.). Водопонизительные скважины ***2*** оборудованные приемными фильтрами ***3*** для предупреждения выноса осушаемых пород, закладываются по периметру карьера в один или несколько рядов для преграждения притоков воды в карьер из окружающих пород. В тех случаях, когда подземные воды поступают в карьер только с одной стороны, то против этого места устанавливают заградительный дренаж из ряда скважин, располагаемых параллельными рядами с шахматным расположением скважин относительно соседних рядов.

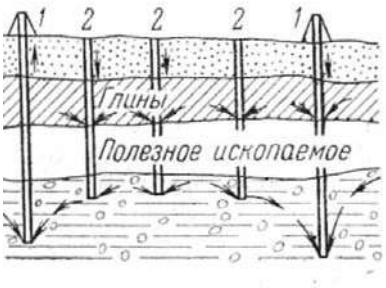


Рис. 4.3. Схема осушения глубокими скважинами
и поглощающими колодцами

Осушение карьера посредством глубоких вертикальных скважин с насосами делает ненужной проходку сложной сети дорогих подземных дренажных выработок, насосных камер и т. п. При непрерывной откачке воды из скважины создается депрессионная воронка вокруг них и снижается уровень воды в карьере до нужной отметки. По мере продвижения добычных работ часть скважин погашается, взамен их пробуривают новые скважины, а оборудование из первых переносят в последующие.

3) комбинированное осушение применяется на карьерах, у которых водонасыщенные породы изолированы породами с плохой водоотдачей (рис. 4.3*)*. Оно является комбинацией двух предыдущих способов, когда верхняя часть пород карьера осушается дренажными выработками, а остальная скважинными насосами ***1*** или осушение ведется глубинными скважинами с искусственным сбросом части воды из изолированных пластов через специальные скважины – поглощающие колодцы ***2***.

Поглощающие колодцы – это дополнительные скважины, пробуренные с поверхности и оборудованные фильтрами в местах прохождения через водоносный слой. Они предназначены для искусственной связи всех водоносных горизонтов между собой с перепуском воды через них в нижерасположенные породы с хорошей водопроницаемостью.

Из них скважинные насосы откачивают воду на земную поверхность.

Удаление атмосферных вод, выпадающих непосредственно в карьер, производят специальными горизонтальными насосами, установленными в карьере над водосборниками стационарно или на салазках, передвигая их вслед за перемещением забоев очистных работ и прохождения временных водосборников (отстойников). В одной их половине

происходит предварительное осветление воды от частиц породы, а в другой – сбор чистой воды и забор ее насосами.

В зависимости от протяженности карьера и его конфигурации в плане проходят один или несколько водосборников (отстойников) и в них вода направляется со всего карьера по специальным канавкам.

Составными частями водоотливных установок при осушении карьеров являются различные конструкции насосов с электроприводом, установленным в карьере, скважине или дренажной шахте, трубопроводы для забора и подъема воды, скважины того или иного назначения и фильтры к ним, дренажные канавы.

Для правильного выбора водоотливных средств по осушению карьера нужно знать величину притока воды, которая будет поступать в карьер как в процессе вскрыши (подготовки карьера), так и в период его эксплуатации, качество воды и насыщенность ее минеральными солями и примесями, сокращающими срок службы оборудования или закупоривающими проходные отверстия фильтров, приемных сеток насосов и т. д.

4.4. Шахтные насосы. Типаж, конструктивное исполнение

Главные шахтные насосные установки расположены в специальной насосной камере, вблизи околоствольного двора на свежей струе воздуха. По ПБ главные водоотливные установки и установки капитальных уклонов с притоком воды более 50 м^3/ч должны иметь не менее трех насосных агрегатов. Производительность каждого агрегата должна обеспечить откачку нормального суточного притока воды не более чем за 20 ч [6].

Насосные камеры. Насосы и аппаратура автоматизации водоотливных установок размещаются обычно в специальных горных выработках – насосных камерах. Насосная камера ***1*** наклонным ходком ***8*** соединяется с околоствольным двором и трубно-кабельным ходком ***4*** – со стволом ***5***, а с помощью труб с задвижками – с водосборником (рис. 4.4).

На рис. 4.4. представлена типовая технологическая схема главного водоотлива шахты (***а***) и план горных выработок (***б***):***1*** – насосная камера; ***2*** – водосборник; ***3*** – всасывающий колодец; ***4*** – трубный ходок; ***5*** – ствол; ***6*** – отстойник шахтных вод; ***7*** – подземная электроподстанция; ***8*** – ходок в околоствольный двор; ***9*** – насосы; ***10*** – трубопровод.

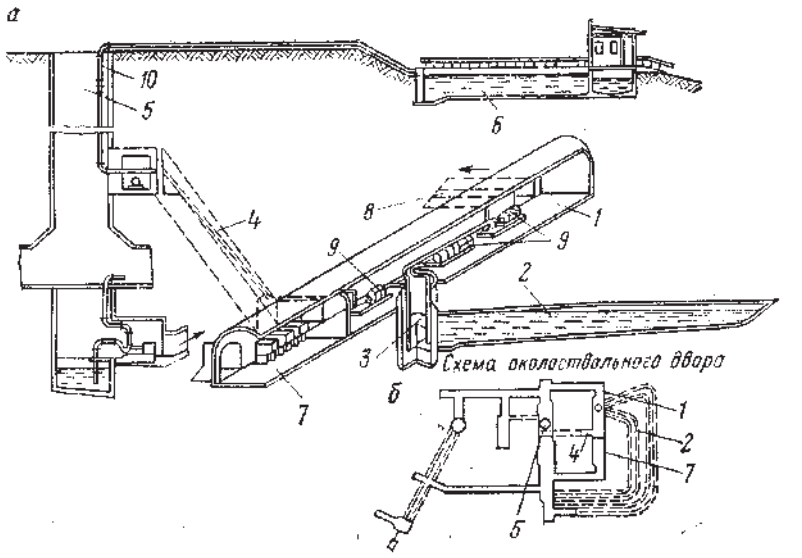


Рис. 4.4. Технологическая схема главного водоотлива шахты

Обычно насосная камера располагается на свежей струе в околоствольном дворе и примыкает к подземной подстанции. Размеры насосной камеры определяются числом и размерами применяемых насосных агрегатов, которых по правилам безопасности должно быть не менее трех (один в работе, один в резерве и один в ремонте). Устройство насосной камеры должно обеспечивать безопасную эксплуатацию оборудования, удобную его доставку и монтаж, а также свободный доступ при обслуживании насосных агрегатов. Для предотвращения затопления насосной камеры пол ее следует располагать на 0,5 м выше отметки околоствольного двора.

Для размещения всасывающих трубопроводов насосная камера оборудуется групповыми или индивидуальными колодцами ***3***, соединенными с водосборником ***2*** через приемный коллектор или непосредственно.

Насосные камеры могут располагаться выше и ниже уровня воды в водосборнике. В первом случае насосы имеют положительную, а во втором – отрицательную высоту всасывания, т. е. работают с подпором, что является благоприятным обстоятельством, так как исключает появление кавитации в насосах и необходимость их заливки. Однако недо-

статками камер, располагаемых ниже уровня воды в водосборнике (погружных), являются трудность обеспечения их герметичности (вода из водосборника попадает в камеру) и большие капитальные затраты. Насосные камеры в зависимости от местных условий, располагаются выше или ниже уровня воды в водосборнике [6].

Главная водоотливная установка шахты (рис. 4.5) должна иметь не менее двух водоотливных трубопроводов: один – рабочий, другой – резервный. Нагнетательный трубопровод из насосной камеры к стволу прокладывают по наклонному ходку ***4*** и соединяют со стволовым трубопроводом на высоте 12 – 15 м над отметкой околоствольного двора. Нагнетательные трубопроводы в насосной камере соединяют в кольцо и устанавливают задвижки так, чтобы каждый из насосных агрегатов мог работать на любой из трубопроводов.

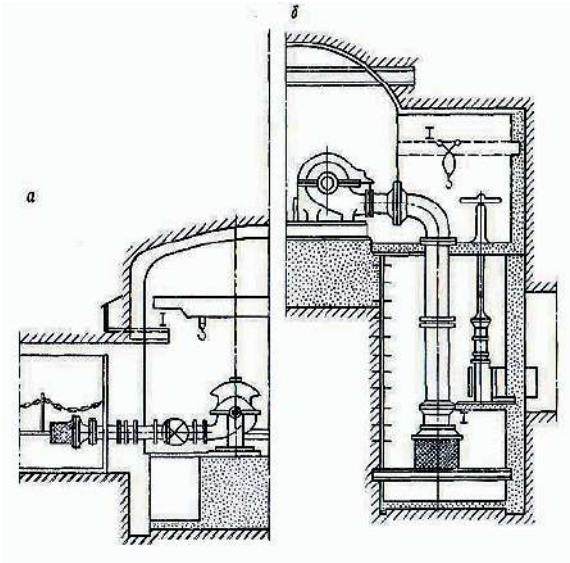


Рис. 4.5. Шахтные насосные станции:
а – заглубленная; ***б*** – нормального типа

Главные и участковые водоотливные установки должны иметь водосборники, состоящие из двух и более горных выработок. Вода по канавам поступает в крылья водосборника ***6***, откуда по каналу течет в коллектор и далее – во всасывающие (водосливные) колодцы *7*.

Всасывающие колодцы делают круглого сечения с диаметром 1 м и располагают не ближе 2 м от фундамента насосной установки. В стенки колодца заделывают скобы для удобного спуска в колодец.

Расположение насосных установок в камере

Насосная камера должна быть соединена с околоствольным двором двумя ходками с герметически закрывающимися дверями и наклонным ходком под углом 25 – 30^0 со стволом, на высоте не менее 7 м от уровня пола насосной камеры. По наклонному ходку выводятся в ствол трубы и кабели, а также осуществляется связь камеры с поверхностью при затоплении.

Заглубленные водоотливные установки, расположенные ниже уровня воды в водосборнике

Водоотливные установки с расположением ниже уровня воды в водосборнике широко используют в горнорудной промышленности в условиях притоков шахтных вод от 1000 до 20000 $м^3$/ч. Применяют три типа установок: заглубленные насосные камеры; установки с вертикальными насосами и с подкачивающим насосом.

К достоинствам установок относятся: надежность в работе; отсутствие сбросов нагрузки или подсосов воздуха во всасывающей системе насоса; значительная наработка на отказ сальниковых уплотнении при воздействии на них незначительного избыточного давления вместо вакуума. Расширяется область применения высокооборотных и спиральных насосов с высоким к.п.д. и малой высотой всасывания.

К недостаткам установок следует отнести большой объем проходки горных выработок во всем водоотливном комплексе, сложность строительства и монтажа оборудования.

При строительстве и эксплуатации заглубленных водоотливных установок необходимо руководствоваться положениями Ростехнадзора РФ [7].

Основные детали центробежных насосов

Рабочее колесо (рис. 4.6) образовано двумя стенками – дисками криволинейной формы (закрытое) и одной стенкой криволинейной формы (открытое), к которым прикреплены лопасти ***3,*** составляющие одно целое с его стенками. Лопасти колеса начинаются у входного отверстия и продолжаются до его наружного диаметра. Задний диск ***1*** в центральной части заканчивается утолщенной втулкой (ступицей) ***2,*** которая служит для закрепления колеса на валу [5].

Открытые колеса применяются при небольших напорах и перекачивании густых и загрязненных жидкостей. Роль переднего диска выпол-

няет стенка корпуса насоса. Изменяя расстояние между торцами лопастей и стенкой корпуса, регулируют производительность насоса.

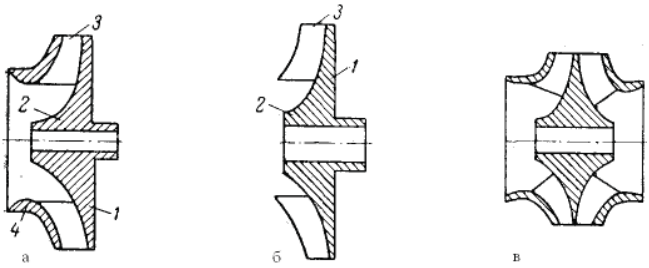


Рис. 4.6. Рабочие колеса закрытого типа:
а – с односторонним входом; ***б*** – с двусторонним входом; ***в*** – открытого типа;
1 – задний диск; ***2*** – втулка; ***3*** – лопасти; ***4*** – передний диск

Большинство центробежных насосов изготовляют с рабочими колесами закрытого типа. На наружной поверхности их переднего диска имеется кольцевой выступ для сведения до минимума объемных утечек в зазор между расточкой корпуса и наружной поверхностью этого кольцевого выступа.

В колесах с удельной быстроходностью до 100 лопастям придается цилиндрическая форма, а при большей быстроходности их выполняют в виде лопастей двоякой кривизны.

Рабочие колеса в большинстве случаев отливают из чугуна, стали, бронзы, капрона или других материалов, при этом для перекачивания кислотных вод они отливаются из хромистой или хромоникелевой стали.

Всасывающий подвод предназначен для обеспечения равномерного заполнения входа жидкости во всасывающие отверстия колеса с минимальными потерями давления. В случае неравномерного его заполнения в насосах с двусторонним входом появляется усилие вдоль оси колеса, стремящееся сместить колесо в этом направлении.

В настоящее время всасывающие подводы изготовляют в виде прямолинейного конического патрубка (рис. 4.7, ***а***), кольцевого подвода (рис. 4.7, ***б***) и полуспирального подвода (рис. 4.7, ***в***).

Конический патрубок обычно применяется в одноступенчатых консольных насосах.

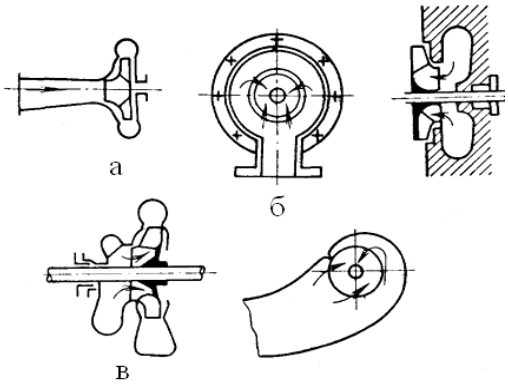


Рис. 4.7. Формы всасывающих подводов воды:
а – прямолинейный конический патрубок; ***б*** – кольцевой; ***в*** – полуспиральный

В кольцевом подводе равномерное заполнение нарушается за счет вращения потока перед колесом и вследствие этого вокруг вала образуется вихревая зона. Подобный подвод встречается только в насосах с разъемом в плоскости, перпендикулярной валу машины.

Для устранения вихревой зоны подвод воды осуществляют патрубками полуспирального типа, снабженными «языком». Он делит всасывающее отверстие как бы на две зоны. Половина всей жидкости поступает сразу в колесо, а вторая ее часть движется с постоянной скоростью вдоль спиральной камеры и вытекает тоже в колесо. Этот подвод применяется во всех многоступенчатых насосах со спиральным отводом воды после колеса и в одноколесных насосах с двусторонним всасыванием.

Вал насоса изготовляется из кованой мартеновской или нержавеющей стали. Рабочие колеса на нем закрепляются либо на резьбе, либо на шпонках, а весь ротор в единое целое стягивается с помощью двух гаек на его концах. Между рабочими колесами устанавливаются дистанционные втулки. Они упираются в торец втулок рабочих колес. Для обеспечения спокойного хода и безопасного перехода через критическое число оборотов ротора насоса подвергается статической и динамической балансировкам.

Сальники устанавливаются в пространство между кожухом и валом для герметизации места его выхода. В качестве набивки применяют пеньку, хлопок, бумажную пряжу, пропитанные салом вместе с графитом.

Подшипники насоса служат для поддержания ротора насоса в рабочем положении и обеспечения его беспрепятственного вращения. В большинстве случаев центробежные насосы имеют подшипники скольжения с чугунными вкладышами с баббитовой заливкой и жидкостной смазкой либо шариковые или роликовые подшипники с жидкой или густой смазкой.

В ряде скважинных насосов применяют подшипники с водяной смазкой – резиновые, пластиковые, текстолитовые и из других материалов.

Аппараты для отвода воды из рабочего колеса. В связи с тем, что скорость движения воды в трубопроводе обычно значительно меньше скорости на выходе из колеса, излишек кинетической энергии в насосах преобразовывают в давление (статический напор) в специальных аппаратах, устанавливаемых сразу же после рабочего колеса. В качестве таких аппаратов применяют спиральный корпус, конический диффузор, кольцевой диффузор, направляющий аппарат.

В таких аппаратах жидкость, покидая рабочее колесо ***1*** (рис. 4.8, ***а***), сразу же поступает в спиральную камеру ***2***. В этой схеме преобразование динамического напора в статический связано с большими потерями энергии, поэтому в современных конструкциях насосов спираль играет только роль резервуара для сбора и отвода воды и скорость в ней всюду остается постоянной. Преобразование скорости в давление с незначительными потерями в настоящее время осуществляют в прямолинейном коническом диффузоре ***3*** за насосом. Если между спиральной камерой ***2*** и колесом ***1*** расположить кольцевой диффузор ***4,*** охватывающий рабочее колесо по внешней окружности, то в нем скорость движения воды по мере прохождения через кожух будет постепенно понижаться, так как площадь его вдоль радиуса возрастает от входа к выходу. Потери на преобразование динамического напора в статический в рассматриваемой схеме (рис. 4.8, ***б***) будут меньше, чем в предыдущей схеме.

Вместо кольцевого диффузора в рудничных насосах широко применяют диффузоры с направляющими лопатками, показанные на рис. 4.8, ***в***. Направляющий аппарат ***5*** состоит из ряда неподвижных лопаток, образующих между собой каналы, имеющие форму, соответствующую действительному направлению воды, выбрасываемой из вращающегося рабочего колеса.

Корпус насоса отливается из чугуна при давлении до 40 ат и из стали при больших давлениях.

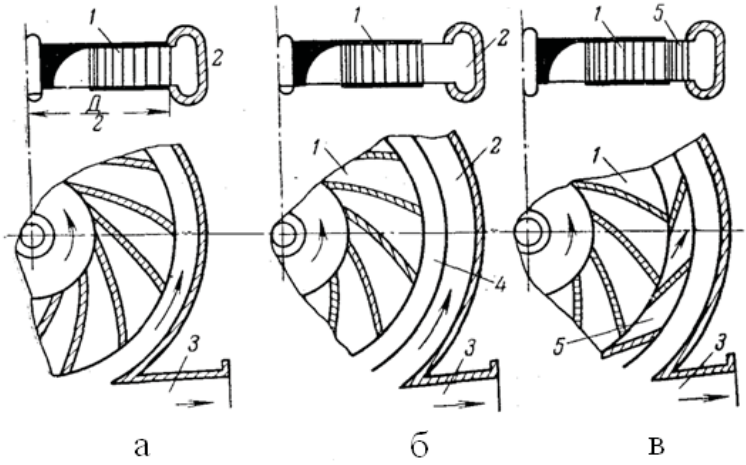


Рис. 4.8. Аппараты для отвода воды из рабочего колеса:
а – спиральный кожух и конический диффузор; ***б*** – кольцевой диффузор и спиральный отвод; ***в*** – направляющий аппарат и спиральный кожух;
1 – рабочее колесо; ***2*** – спиральная камера; ***3*** – конический диффузор;
4 – кольцевой диффузор; ***5*** – направляющий аппарат; ***6*** – переводной канал

Корпус насоса с разъемом в плоскости, перпендикулярной оси насоса, состоит из отдельных секций, которые скрепляются вместе стяжными болтами. В случае разъема корпуса по оси можно удалить целиком ротор насоса без разборки трубопроводов как со стороны всасывания, так и нагнетания. Для подключения измерительных приборов (манометра, вакуумметра, воздушных кранов) в корпусе имеются отверстия с резьбой.

4.5. Силы, действующие на рабочее колесо насоса и способы их регулирования

При работе центробежного насоса с односторонним входом воды в колеса возникает усилие, стремящееся сместить вал насоса с закрепленными на нем колесами в сторону всасывания (противоположное направление входа жидкости в колесо). Это усилие направлено по оси машины и поэтому называется осевым. Смещение ротора насоса при-

вело бы к несовпадению каналов рабочих колес с лопаточными отводами (направляющими аппаратами), появлению ударов воды о них и снижению к.п.д. насоса [8].

Появление осевого усилия обусловлено тем, что вода, покидая рабочее колесо, проникает в камеры ***1*** и ***2*** (рис. 4.9), расположенные по обе стороны колеса, оказывает одинаковое давление на единицу площади переднего ***3*** и заднего ***4*** дисков. Площадь же заднего диска больше площади переднего на величину входной площади в колесо, следовательно, и усилие справа налево больше, чем слева направо, и колесо стремится влево, в сторону всасывания. Такое направление и соотношение действия оси наблюдается лишь при нормальном состоянии уплотнений каждой камеры ***1*** и ***2***. Фактически давление в этих камерах не остается постоянным в направлении от наружного диаметра колеса к его оси, а изменяется по параболическому закону вследствие вращения жидкости в этих камерах со скоростью, приблизительно равной половине угловой скорости вращения колеса.

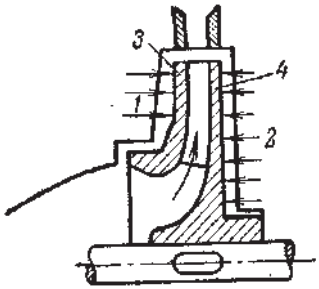


Рис. 4.9. Схема действия осевого усилия:
1 и ***2*** – камеры; ***3*** и ***4*** – передний и задний диски колеса

При износе переднего уплотнения колеса вода будет свободно протекать в камере ***1***, давление на единицу площади в ней уменьшается, а усилие направо сократится, усилие же справа налево останется без изменений, в результате чего осевое усилие возрастет в несколько раз. При утечках из камеры ***2*** осевое усилие может начать действовать в обратную сторону.

Характер изменения осевого усилия в насосе при нормальных и изношенных уплотнениях показан на рис. 4.10.

В насосах с симметричным расположением колес или колесах с двусторонним подводом воды при износе уплотнений осевое усилие возрастает в 6 – 7 раз (в сравнении с нормальным состоянием уплотнений), в результате чего упорный подшипник насоса или разгрузочное устройство могут быть раздавлены.

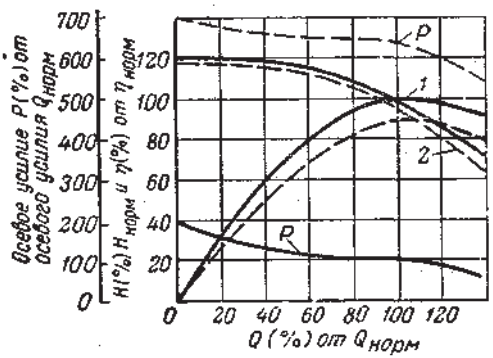


Рис. 4.10. Характер изменения осевого усилия в насосе:
1 – нормальный; ***2*** – большой зазоры

Уравновешивание осевого усилия в насосах можно осуществить:

1) применением колес с двусторонним подводом воды (рис. 4.11, *а*), симметричным расположением колес (рис. 4.11, *в)* или насосов (рис. 4.12, *е*). Уравновешивание нарушается при износе уплотнений;

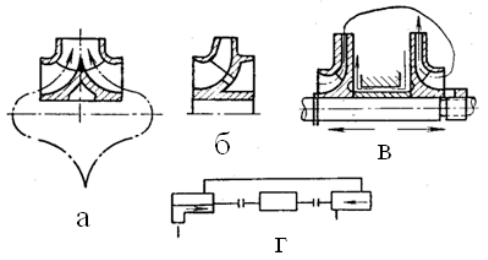


Рис. 4.11. Схемы уравновешивания осевых усилий

2) применением колес с двусторонними уплотнительными кольцами (рис. 4.11, *б*). В заднем диске колеса сверлится несколько отверстий, которые соединяют пространство за диском с пространством перед диском. Этот способ применяется в скважинных насосах и др. Площади дисков и давления выше уплотнительных колец одинаковы по обе стороны колеса, по этому осевое усилие равно нулю. При износе уплотнений нарушится уравновешивание осевого усилия и колесо стремится смещаться в сторону изношенного уплотнения;

3) применением для многоступенчатых секционных насосов разгрузочных устройств в виде диска или шайбы, устанавливаемых на валу *1* насоса на шпонке за последним колесом перед нагнетательным сальником (рис. 4.12).

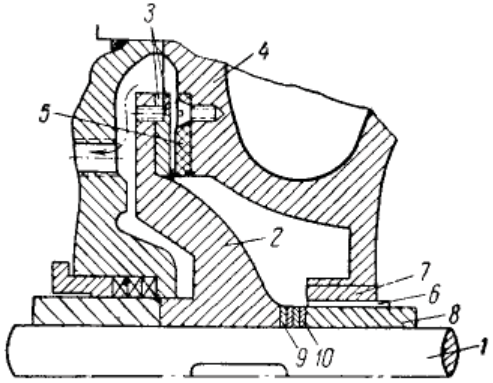


Рис. 4.12. Разгрузочное устройство насосов:
1 – вал насоса; ***2*** – разгрузочный диск; ***3*** – чугунное кольцо;
4 – нагнетательная крышка; ***5*** – кольцо разгрузки из сплава СС;
6 – кольцевое пространство; *7* – стальная дистанционная втулка;
8 – чугунная втулка разгрузки; ***9*** и ***10*** – регулировочные кольца

Вода из нагнетательной крышки проходит через кольцевой зазор ***6*** между втулками *7* и ***8,*** оказывая давление на внутреннюю сторону разгрузочного диска ***2;*** по другую сторону этого диска действует атмосферное давление. В результате осевого усилия диск ***2*** со сменным кольцом ***3*** стремится прижаться к кольцу ***5***, а под действием давления воды на выходе из последнего колеса он смещается вместе с валом насоса и рабочими колесами в противоположную сторону, увеличивая зазор между кольцами ***3*** и ***5,*** через который вода вытекает наружу. Вследствие движения воды давление ее на диск ***2*** несколько уменьшится, и диск приблизится к кольцу ***5*** настолько, пока не наступит уравновешивание осевого давления.

При работе насоса на загрязненных водах произойдет быстрое увеличение кольцевого зазора, а также изнашивание колец ***5*** и ***3,*** в результате чего разгрузочное устройство начнет работать неудовлетворитель-

но и через него пройдет большое количество воды (свыше 1 – 3 % нормальной производительности насоса).

При износе колец ***3*** и ***5*** разгрузочное усилие окажется меньше и ротор насоса сместится в сторону всасывания и передние диски рабочих колес начнут тереться о секции насоса, что обнаруживается по перегрузке двигателя и большому осевому смещению (более 2 мм). Наладка устройства разгрузки сведется к удалению колец ***9*** и ***10***, восстановлению нормального разбега ротора насоса.

При увеличении кольцевого зазора ***6*** в камеру разгрузки будет протекать много воды, давление в ней возрастает и ротор сместится в сторону нагнетания.

В этом случае необходимо заменить втулки **7** и ***8*** или временно установить дополнительное кольцо ***9***. Наличие этого устройства разгрузки в значительной степени снижает надежность эксплуатации насоса при работе на загрязненной воде, так как осевые усилия достигают 20 т и более, а срок службы колец ***3*** и ***5*** и втулок *7* и ***8*** значительно уменьшается в сравнении с нормальным;

4) механическим уравновешиванием осевого давления с помощью упорных шарикоподшипников или обыкновенных пят.

4.6. Кавитация в насосах и допустимая высота всасывания

В зависимости от расположения входного отверстия рабочего колеса насоса относительно уровня воды в приемном резервуаре различают положительную или отрицательную геометрическую высоту всасывания.

Положительной геометрической высотой всасывания горизонтальных насосов, расположенных над уровнем воды в приемном резервуаре или колодце, называют расстояние по вертикали от нижнего уровня воды в приемном колодце до оси насоса.

Положительной геометрической высотой всасывания вертикального насоса с лопаточным отводом называют расстояние по вертикали от нижнего уровня воды в приемном колодце до середины входных кромок лопастей рабочего колеса.

Отрицательной геометрической высотой всасывания вертикальных насосов, расположенных ниже уровня воды в приемном колодце или водосборнике, называют расстояние по вертикали от минимального уровня воды до середины входных кромок лопастей у насосов с лопаточным и до горизонтальной оси в насосах со спиральными отводами.

В горизонтальных насосах эта высота равна глубине погружения оси насоса относительно минимального уровня воды в водосборнике.

В процессе откачки воды высота всасывания изменяется вместе с движением зеркала воды в приемном резервуаре.

В горной практике применяются насосы, как с положительной, так и с отрицательной высотой всасывания, причем предпочтение нужно отдавать вторым, как обеспечивающим высокую надежность работы установки и простую схему ее автоматизации.

При вращении рабочего колеса центробежного насоса, расположенного над зеркалом воды, создается разрежение у входа в него.

$$\frac{P_B}{\gamma} = \frac{P_A}{\gamma} - \left(H_{\text{вс}} + \Delta H_{\text{вс}} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} \right) = \frac{P_A}{\gamma} - H_{\text{вак}} \ . \qquad (4.1)$$

Выражение, заключенное в скобки, называют вакуумметрической высотой всасывания $H_{\text{вак}}$.

Очень важно помнить, что геометрическая высота всасывания $H_{\text{вс}}$ всегда меньше $H_{\text{вак}}$ на величину потерь, и путать их друг с другом ни в коем случае нельзя.

Для действующей насосной установки величина $H_{\text{вс}}$ вполне определенная, поэтому с ростом загрязненности μ всасывающего трубопровода произойдет сокращение подачи насоса.

Переключение насоса на новую внешнюю сеть с меньшим $H_{\text{г}}$, но с сохранением прежнего превышения оси насоса над зеркалом воды ($H_{\text{вс}}$ не меняется), подача насоса возрастет и одновременно должно уменьшиться $H_{\text{вс}}$. Однако $H_{\text{вс}}$ измениться не может, и как следствие этого либо автоматически произойдет снижение производительности насоса, либо насос перестанет подавать воду.

Допустимая геометрическая высота всасывания центробежного насоса $H_{\text{вс}}$ сокращается с ростом скорости его вращения и в определенных условиях может стать даже отрицательной, тогда насос должен получать воду с подпором.

Максимальная вакуумметрическая высота всасывания насоса определяется из формулы (4.2).

$$H_{\text{вак}}^{\max} = \frac{P_A}{\gamma} - \frac{P}{\gamma} - 10\left(\frac{n\sqrt{Q}}{C_{\text{кр}}} \right)^{4/3} , \qquad (4.2)$$

а допустимая принимается на 15 – 20 % меньше, т. е.

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = (0{,}85 \div 0{,}80) \cdot H_{\text{вак}}^{\max} . \qquad (4.3)$$

Повышение допустимой высоты всасывания $H_{вс}^{доп}$ достигается при уменьшении потерь во всасывающем трубопроводе за счет увеличения его диаметра, сокращения до минимума длины и всякого рода местных сопротивлений (колена, тройников, переходов и т. д.), а также при должном надзоре за герметичностью и чистотой трубопровода.

Современное развитие насосостроения предусматривает применение центробежных насосов со все возрастающим числом оборотов (большей степенью быстроходности), что объясняется экономическими соображениями (сокращением веса агрегата, его габаритов, высоты всасывания и стоимости эксплуатационных затрат, повышением к.п.д.). При этом работа быстроходных насосов на загрязненной воде неизбежно сопровождается более быстрым их износом и увеличением числа ремонтов [9].

Давление P/γ должно быть больше упругости H_t растворенных в воде водяных паров при данной температуре откачиваемой воды, иначе произойдет вскипание их, а в потоке воды образуются полости, заполненные паром и выделяющимися из воды газами, отрывающими поток воды от стенок колеса. При движении воды в колесе пузырьки пара попадают с потоком в область больших давлений, дробятся на еще более мелкие, в которых пар мгновенно конденсируется, в результате чего в образовавшиеся пустоты с колоссальной скоростью устремляется вода, развивая динамическое давление до 1000 ат. Этот процесс называют **кавитацией.**

Если сжатие паровоздушного пузырька произойдет у поверхности стенки или лопасти колеса, получится своеобразный взрыв и в металле образуется микроскопическая каверна, защитная пленка металла будет сбита и наступит химическая коррозия металла растворенными в воде газами.

Возникновение кавитации может быть вызвано большой высотой всасывания, значительным сопротивлением во всасывающем трубопроводе или работой насоса с большой подачей воды; при прочих равных условиях кавитация в насосах, откачивающих загрязненную воду, наступает значительно раньше, чем работающих на чистой воде. Механические примеси являются своеобразным центром сбора растворенных в воде газов и паров, и чем этих частиц больше, тем больше газообразных пузырей.

Кроме разрушения колес работа насоса при сильно развитой кавитации сопровождается шумом и треском, а иногда сотрясениями всей машины, быстрым износом уплотнений, плохой работой сальников, сокращением производительности и напора насоса, заеданием вращающихся деталей ротора насоса и поломкой вала. Срыву работы насоса при кавитации обычно предшествует быстрое уменьшение производительности и напора насоса.

Для предупреждения кавитации в насосе необходимо обратить особое внимание на правильный выбор всасывающего трубопровода и установку насоса над зеркалом воды $H_{вс}$, исходя из условий допускаемой вакуумметрической высоты всасывания $H_{вак}^{доп}$, указываемой на эксплуатационной характеристике насоса.

Предельная вакуумметрическая высота всасывания может быть определена по формуле (4.4), если Δh представить как функцию от напора $H_к$ колеса.

$$H_{вак}^{доп} = \frac{P_A}{\gamma} - H_t - \sigma \cdot H_к \,, \qquad (4.4)$$

где σ – коэффициент кавитации (определяется в зависимости от удельной быстроходности колеса).

Удельное число оборотов $n_{уд}$	80	100	200	300
Коэффициент кавитации s	0,04	0,08	0,10	0,17

Максимально возможная геометрическая высота всасывания $H_{вс\,max}$ должна быть меньше $H_{вак}^{доп}$ на величину потерь и скоростного напора во всасывающем трубопроводе, и при ориентировочном подсчете может быть определена из неравенства, м,

$$H_{вс_{max}} \langle H_{вак}^{доп} - (2 \div 3) \,. \qquad (4.5)$$

Для насосов со скоростью вращения вала до 1450 об/мин нужно вычислять меньшее значение, а при скорости вращения 2950 об/мин – большее значение.

Как показывают опыт эксплуатации, а также результаты многих испытаний действующих водоотливных установок на шахтах и карьерах, фактическая вакуумметрическая высота всасывания значительно превышает допустимую заводами-изготовителями, вследствие завышенной высоты всасывания насоса $H_{вс}$ и больших потерь в приемном клапане и

всасывающем трубопроводе, в результате чего производительность насоса снижается на 30 %, а напор и к.п.д. на 15 – 25 % в сравнении с заводскими данными [9].

Очень часто в горной практике для компенсации снижения производительности и напора Q и H прибегают к установке дополнительных рабочих колес. В этих условиях скорость входа воды $v_{вс}$ возрастает и, следовательно, вакуумметрическая высота всасывания увеличивается еще более. Вследствие этого в насосе происходит перераспределение давлений между ступенями и, как результат этого, появление частичной кавитации в первой или второй его ступенях. Увеличение радиального зазора в уплотнениях колес может вызвать также наступление кавитации в насосе при сравнительно небольшой его производительности.

Для сокращения потерь на трение во всасывающем трубопроводе необходимо, чтобы скорость движения воды в нем была около 1,5 м/с. Трубопровод прокладывается с подъемом в сторону насоса, чтобы исключить образование в нем воздушных мешков, уменьшающих живое сечение трубы и вызывающих возрастание скорости течения и $H_{вак}$.

Наибольшая потеря напора во всасывающем трубопроводе обусловлена, главным образом, неправильным выбором всасывающего клапана с сеткой, потери в котором достигают 2 – 3 м и более, превышая нормальные потери в четыре раза.

В нормальном клапане площадь проходного сечения должна быть не менее двукратной, а суммарная площадь отверстий в сетке – не менее четырехкратной площади сечения всасывающей трубы. В этом случае даже частичное засорение сетки не сопровождается значительным отклонением потерь от нормы.

Разрушающее действие кавитации ослабляется при изготовлении деталей насоса из высокохромистых нержавеющих сталей или бронзы, при наплавке на детали из углеродистых сталей твердых сплавов, а также за счет тщательной обработки рабочих поверхностей насоса и предварительного осветления воды от абразивных примесей.

4.7. Влияние износа элементов проточной части центробежных секционных насосов на режимы их работы

При эксплуатации водоотливных установок, откачивающих загрязненную воду из карьеров, угольных разрезов, шахт, подземных рудни-

ков, обогатительных фабрик и других горных предприятий приходится встречаться главным образом с абразивным изнашиванием насосов, так как при откачивании вод в них всегда содержатся во взвешенном состоянии нерастворимые твердые, минеральные частицы (шлам), что приводит к износу элементов проточной части центробежных насосов и их уплотнительных устройств, сопровождающемуся увеличением зазоров и объемных утечек через них, что приводит к снижению подачи, напора, к.п.д. насосов и значительному перерасходу электроэнергии при их работе на внешнюю сеть [10, 11].

В результате проведенного анализа литературных источников по вопросам водоотлива горных производств рекомендуется борьбу с абразивным изнашиванием насосного оборудования производить следующим образом:

1) обеспечение условий работы насосов соответствующих требованиям их заводов – изготовителей;

2) изготовление элементов насоса из материалов, обладающих повышенной износостойкостью, включая современные полимерные, углепластиковые, стеклопластиковые и другие композитные материалы;

3) применение раздельных схем подачи абразивных и осветленных вод в нагнетательный трубопровод.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что продуктивная эксплуатация водоотливного оборудования, удлинение его срока службы при длительном сохранении им КПД, имеет место лишь при знании закономерностей износа или возможностей количественной оценки потери массы элементами насосов от абразивных сред, транспортируемых в воде на поверхность, что позволит применять эффективные способы защиты водоотливного оборудования от абразивного износа.

С целью проверки интенсивности абразивного изнашивания и определения фактических режимов работы насосов ЦНСК 300-360 было проведено их экспериментальное исследование. Закономерности абразивного износа элементов насосов ЦНСК 300-360 и режимы их работы проверялись в условиях Узельгинского подземного рудника (УзПР) ОАО УГОК, в насосной камере главного водоотлива горизонта – 640 м.

Для определения распределения износа элементов насосов и режимов их работы в зависимости от наработки в часах машинного времени исследовали работу насосов, производя определение их подач и развиваемых напоров с последующей их разборкой и взвешиванием деталей

проточной части. Результаты проведенного исследования приведены в табл. 4.1 и табл. 4.2 [11].

Таблица 4.1

Потери массы элементов проточной части насосов ЦНС(К) 300-360, УзПР ОАО «УГОК», в абсолютных и относительных единицах

Наработка насоса, час.	Потеря массы элементами насоса, кг и %											
	Аппарат направляющий.	Крышка нагнетания	Корпус направляющего аппарата	Рубашка вала	Крышка всасывания	Колесо рабочее 1	Колесо рабочее 2	Колесо рабочее 3	Колесо рабочее 4	Колесо рабочее 5	Колесо рабочее 6	Кольцо направляющего аппарата
0	29	291	87	8,9	310	23	20,45	20,45	20,45	20,45	19	27
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
103	0,15	2,7	1,3	0,006	2,9	0,24	0,32	0,31	0,75	0,33	0,07	0,5
	0,52	0,93	1,5	0,67	0,94	1,04	1,56	1,56	3,67	1,61	0,37	1,85
167	0,3	3,9	2,1	0,009	5,8	0,26	0,55	0,75	1,25	0,35	0,1	0,9
	1,03	1,34	2,41	1,01	1,87	1,13	2,69	3,67	6,11	1,71	0,53	3,33
298	0,57	7,6	5,3	0,23	10,4	0,48	1,05	1,65	2,35	0,95	0,4	2
	1,97	2,61	6,1	2,58	3,35	2,09	5,13	8,07	11,5	4,64	2,1	7,41
412	0,63	11,1	8,4	0,26	13	0,91	1,3	1,74	2,45	1,05	0,44	2,17
	2,17	3,81	9,66	2,92	4,2	3,96	6,36	8,51	11,98	5,13	2,31	8,04
453	690	12,9	10,9	0,29	14,3	1,08	1,55	1,76	2,55	1,07	0,47	2,33
	2,38	4,43	12,53	3,26	4,61	4,7	7,6	8,61	12,47	5,23	2,47	8,63
497	760	14,7	12,1	0,33	15,9	1,15	1,61	2,02	2,69	1,14	0,49	2,39
	2,62	5,05	13,9	3,7	5,13	5	7,9	9,88	13,15	5,57	2,58	8,85
541	880	16	12,9	0,38	16,7	1,69	1,73	2,35	2,77	1,27	0,52	2,48
	3,03	5,5	14,83	4,27	5,39	7,35	8,5	11,5	13,54	6,21	2,74	9,2
583	1100	16,8	13,9	0,41	17,3	2,42	2,517	2,62	3,16	1,42	0,63	2,74
	3,79	5,77	15,98	4,61	5,58	10,52	12,3	12,81	15,45	6,94	3,31	10,15

В условиях УзПР проведены замеры подач и напоров насосов главного водоотлива при различной их наработке, приведенные в таблице 4.2 [11].

Таблица 4.2

Параметры работы насосов ЦНСК 300-360 гор. 640 м УзПР

№ замера	Число часов работы насоса, Т, час	Подача насоса, м³/ч
A_1	1	307
A_2	103	298
A_3	167	272
A_4	298	263
A_5	412	256
A_6	453	247
A_7	497	226
A_8	541	211
A_9	583	192

По результатам исследований, приведенных в табл. 4.1 и 4.2, построены характеристика внешней сети и напорные характеристики насоса ЦНСК 300-360, при различных уровнях его износа (рис. 4.13).

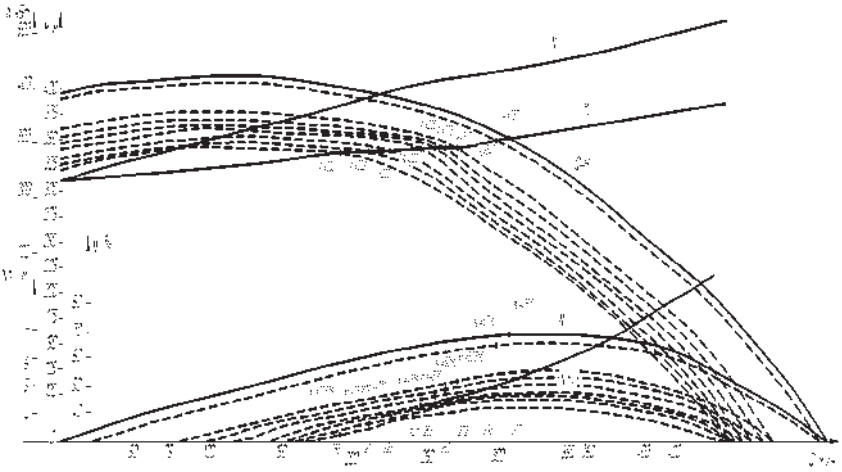


Рис. 4.13. Характеристика внешней сети и режимы работы насоса ЦНСК 300-360

По результатам проведенных исследований сделаны выводы:

1. Снижение степени износа последних рабочих колес насосов, по нашему мнению, объясняется уменьшением абразивных свойств шламовых смесей при прохождении их через первые ступени.

2. Во всех насосах типа ЦНСК 300 достаточно высокая скорость абразивного изнашивания характерна для уплотнительных колец и корпусов направляющих аппаратов.

4.8. Способы очистки от шламов отстойников горных производств

Эксплуатация водоотливных установок, откачивающих загрязненную воду из отстойников или водосборников горных предприятий, сопровождается гидроабразивным износом центробежных насосов, запорной арматуры, а также всасывающих и нагнетательных трубопроводов, следовательно решение вопросов снижения гидроабразивного износа насосного оборудования способствует повышению их производительности, увеличению срока их эксплуатации, неизбежно повышает их КПД, снижает электропотребление и, как следствие, является одним из источников экономии средств горнодобывающих предприятий [12].

В этой связи снижение абразивного изнашивания насосов и уменьшение затрат, связанных с эксплуатацией водоотливного оборудования, имеют важное народно-хозяйственное значение.

В литературных источниках по вопросам водоотлива горных производств рекомендуют борьбу с абразивным изнашиванием насосного оборудования производить следующим образом [13]:

1) приспосабливать центробежные насосы для водоотлива не осветленной от твердой составляющей воды;

2) выполнять предварительное осветление вод от твердого с последующим откачиванием осветленных вод насосами.

Интенсивное гидроабразивное изнашивание насосов, эксплуатирующихся на горных производствах, обусловлено следующими факторами:

- работа насосов на не осветленной воде (несоответствие плановых и фактических условий эксплуатации насосного оборудования);
- несовершенством технологии очистки водосборников от шлама.

Для обеспечения эффективности эксплуатации насосного оборудования горных производств, требуется научно обоснованная классификация способов очистки отстойников от шламов.

При разработке классификации представленной на рис. 4.14 использован принцип минимума затрат и она предназначена [12]:

- для обоснованного выбора способа очистки водосборника от шлама при соответствующих условиях эксплуатации насосов;
- для обеспечения степени осветления перекачиваемых вод от механических примесей до величин, соответствующих инструкциям заводов – изготовителей насосного оборудования;
- для принятия эффективной схемы сбора и транспорта шламов из водосборника при минимуме капитальных и эксплуатационных затрат;
- выбор способа очистки водосборника от твердого, обеспечивающий данную процедуру в автоматическом режиме.

Классификация позволяет четко определить тот способ очистки отстойников от шламов, который наиболее приемлем для соответствующего типа насосной установки, поэтому для снижения абразивного износа насосного оборудования применяют два способа:

- предварительное осветление воды до ее откачивания насосом;
- применение насосного оборудования, способного эффективно эксплуатироваться в данных условиях.

Например, очистку водосборников Гайского подземного рудника производят 2 раза в год, при этом длительность очистки составляет до 196 смен, а объем вывозимых шламов – до 157,2 тыс. т [13].

Для очистки водосборников на рудниках в настоящее время практически не применяют скреперы [12]. На рудниках Учалинского и Гайского ГОКов очистку водосборников и шламоотстойников производят погрузочно-доставочными машинами, подземными автосамосвалами и вагонетками рудничного транспорта, что приводит к снижению производительности рудника и соответственно к увеличению парка технологических машин.

Осветление вод, содержащих шламовые смеси, возможно осуществить в горизонтальном, вертикальном отстойнике либо гидроциклоне. Использование соответствующего типа отстойника целесообразно для определенных горных предприятий. Так, для действующих шахт предпочтительны горизонтальные отстойники ввиду минимума капитальных затрат на строительство и удобство дальнейшего обслуживания, а для обогатительных фабрик предпочтительным является применение вертикальных отстойников либо гидроциклонов, которые, обладая достаточной компактностью, прекрасно вписываются в соответствующие корпуса фабрик.

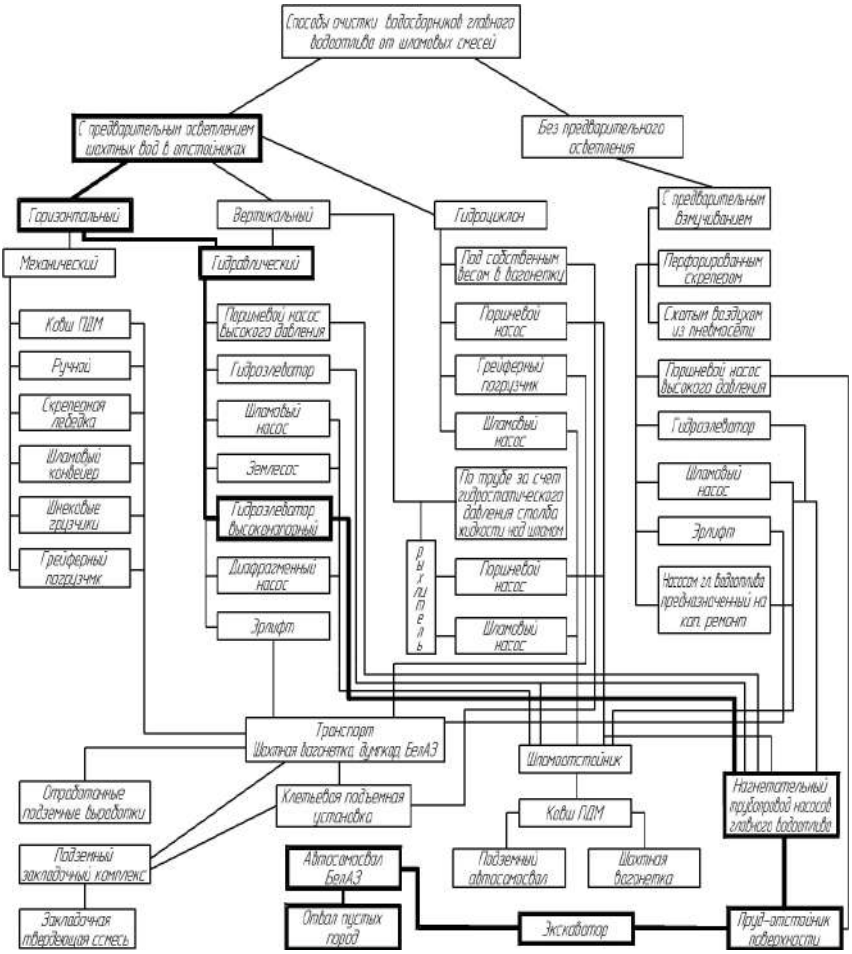


Рис. 4.14. Классификация способов очистки водосборников от шламовых смесей

При использовании горизонтальных отстойников способы очистки шламовых емкостей разделяются на механические, и гидравлические.

Главным недостатком механических способов очистки отстойников является их периодичность и низкая эффективность, что, в свою оче-

редь, приводит к недостаточному осветлению откачиваемых насосами вод, а следовательно к повышенному абразивному их износу.

Гидравлические способы очистки отстойников способствуют непрерывности удаления шламовых смесей, что, несомненно, является показателем эффективности осветления откачиваемых вод, обеспечивающих минимальный гидроабразивный износ насосного оборудования. При достижении равного эффекта осветления вод от шламов гидравлическими способами окончательный его выбор производится путем технико-экономического сравнения затрат по вариантам, например, использование поршневых насосов высокого давления, обладающих значительной стоимостью, и гидроэлеваторов изготавливаемых в ремонтно-механических мастерских горного предприятия.

Степень осветления вод в вертикальных отстойниках и гидроциклонах, является очень высокой, но капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с использованием этих способов, значительны.

На горных предприятиях применяют способы очистки отстойников без осветления, но с предварительным взмучиванием шламов, перфорированным скрепером или сжатым воздухом, для чего применяют поршневые насосы высокого давления, гидроэлеваторы, шламовые насосы, эрлифты.

Следующим этапом является транспорт шламов к месту разгрузки и в классификации даны два варианта – цикличный и непрерывный.

После предварительного осветления, вод осевший в отстойниках шлам различной крупности, находится в жидком виде, следовательно, его транспорт в таком состоянии (вагонетка, автосамосвал, ковш погрузочно-доставочной машины и т.д.) является не эффективным, из за расплескивания в момент движения ПДМ. Это приводит к значительной продолжительности чистки отстойников и отрыву от основных видов работ, как обслуживающего персонала, так и соответствующего способу чистки типа транспортного и технологического оборудования, что, в свою очередь, ведет к завышенным расходам на очистку шламовых емкостей. Данный способ очистки и транспорта шламов является неэффективным ввиду его периодичности, высокой трудоемкости и опасности из за большого объема использования ручного труда. Но, самое главное, из за, несвоевременности очистки шламовых емкостей эффект осветления откачиваемых вод значительно уменьшается, что, в свою очередь, приводит к интенсивному абразивному износу насосного оборудования.

Применение гидравлического способа очистка шламовых емкостей от твердого – наиболее актуальная задача, т.к. рациональным способом повышения эффективности эксплуатации рудничных водоотливных установок является использование в технологических схемах главного водоотлива рудников высоконапорных гидроэлеваторных установок, периодически откачивающих шламовые смеси из отстойников водосборников на дневную поверхность (или на промежуточные горизонты при многоступенчатом водоотливе).

В результате анализа существующих способов очистки вод от шлама установлено, что требованиям, предъявляемым к ним, наиболее полно удовлетворяет водоструйный насос – гидроэлеватор, достоинством которого является надежность и возможность полной откачки шлама из водосборника при простоте обслуживания. При этом обеспечивается работа насоса главного водоотлива на осветленной воде, а также полное удаление шламов из водосборника, что позволит повысить технико-экономические показатели водоотливных установок, увеличить их срок службы, существенно снизить затраты на очистку водосборников от шлама.

5. ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

5.1. Вентиляторные установки главного и местного проветривания

Назначение и классификация. Вентиляторные установки предназначены для непрерывного проветривания горных выработок шахт и рудников и создания в них нормальных атмосферных условий. По назначению они делятся на главные вентиляторные установки, вспомогательные и местного проветривания.

Главные вентиляторные установки служат для проветривания всех действующих выработок шахты или рудника, за исключением глухих (тупиковых) забоев. Они размещаются на поверхности у устьев герметически закрытых стволов или штолен в центре шахтного поля при центральной схеме проветривания и на его флангах при диагональной схеме и пропускают весь воздух, проходящий по шахте (руднику) или ее крылу [1].

Вентиляторная установка включает вентилятор (вентиляторы) и подсоединенные к нему электродвигатели, входные и выходные устройства (подводящие каналы, диффузор, выходную часть и вспомогательные устройства для переключения и реверсирования воздушной струи), а также пускорегулирующую и контролирующую аппаратуру и звукопоглощающие устройства.

Под вентилятором понимается агрегат, состоящий из корпуса, ротора, направляющих и спрямляющих аппаратов, с присоединенными к нему коллектором и входной коробкой.

Вспомогательные вентиляторные установки предназначены для проветривания стволов и капитальных выработок при их проходке, камер и выработок околоствольного двора при эксплуатации шахт и рудников, а также отдельных их участков. Они располагаются на поверхности вблизи ствола или шурфа. В зависимости от назначения, вспомогательная вентиляторная установка может иметь один или два вентилятора и соответственно один или два электродвигателя и один или два комплекта электрооборудования; может иметь реверсивные и переключающие устройства, вентиляционные каналы или воздуховоды.

Вентиляторные установки местного проветривания состоят из вентиляторов с приводами, вентиляционных воздуховодов, пусковой аппа-

ратуры и аппаратуры контроля и автоматизации. Они снабжаются одним и реже двумя вентиляторами.

В соответствии с назначением вентиляторы также подразделяют на вентиляторы главные, вспомогательные и местного проветривания. Эти группы вентиляторов существенно отличаются своими параметрами, а вентиляторы местного проветривания – и конструкцией.

Вентиляторы, применяемые в горной промышленности, представляют собой турбомашины, которые по принципу действия делятся на две большие группы – осевые и центробежные вентиляторы.

По числу ступеней вентиляторы выполняются одноступенчатыми (центробежные) и многоступенчатыми (осевые).

В зависимости от расположения вала вентиляторы бывают горизонтальными и вертикальными.

По ГОСТ 11004-75 рекомендуется изготовлять осевые вентиляторы на номинальные давления от 100 до 400 даПа, центробежные (радиальные) – на номинальные давления от 250 до 710 даПа [1].

Сравнительная оценка осевых и центробежных вентиляторов

Оба типа вентиляторов имеют свои преимущества и недостатки. По сравнению с центробежными, осевые вентиляторы позволяют более просто реверсировать воздушную струю (без обводных каналов) и имеют большие возможности регулирования режимов работы (поворотом лопаток направляющего аппарата и рабочих колес). Они обладают меньшими габаритами и массой при значительных производительностях, а также более высоким внутренним к.п.д. Их удобнее включать на последовательную работу. В то же время осевые вентиляторы имеют следующие недостатки: форма их характеристик – седлообразная, что создает предпосылки для неустойчивой работы вентиляторов, особенно при параллельной работе; сильный шум при работе со скоростями 90 – 95 м/с и более; подшипники ротора недоступны для осмотра, что ведет к снижению надежности вентиляторов; большая чувствительность к точности балансировки ротора.

У центробежных вентиляторов отсутствуют эти недостатки. Окружные скорости их рабочих колес достигают 120 – 125 м/с. Они обладают, по сравнению с осевыми, большими напорами. Однако глубина экономичного регулирования у центробежных вентиляторов меньше, чем у осевых. При больших подачах и малых напорах получается низкая частота вращения их рабочих колес и требуется установка редуктора между вентилятором и двигателем.

Поэтому центробежные вентиляторы целесообразно применять при малых расходах и больших давлениях, где осевые будут иметь большие скорости и высокий уровень шума. Осевые вентиляторы целесообразно, наоборот, использовать при сравнительно небольших давлениях (до 350 даПа), которые способны обеспечить осевые вентиляторы при скорости до 80 м/с [1].

Серийно выпускаемые осевые и центробежные вентиляторы примерно равноценны по экономичности.

5.2. Шахтные вентиляторы

Вентиляторы представляют собой воздуходувные турбомашины, создающие давление до 15000 Па.

В горной промышленности широко применяются осевые и центробежные вентиляторы главного и местного проветривания.

Классификация центробежных и осевых вентиляторов

Центробежные вентиляторы классифицируются следующим образом:

1. По развиваемому давлению:

вентиляторы низкого давления ($p < 1000$ Па);

вентиляторы среднего давления ($1000 < p < 3000$ Па);

вентиляторы высокого давления ($3000 < p < 15000$ Па).

2. По быстроходности:

тихоходные;

быстроходные.

3. По характеру подвода воздуха:

вентиляторы с односторонним подводом воздуха;

вентиляторы с двухсторонним подводом воздуха.

4. По направлению вращения ротора:

вентиляторы правого вращения;

вентиляторы левого вращения.

В первом случае рабочее колесо вращается по часовой стрелке, во втором случае – против часовой стрелки, при взгляде на него со стороны привода.

Осевые вентиляторы классифицируются по числу рабочих ступеней (числу рабочих колес) на одноступенчатые и многоступенчатые. Первые создаются и используются для местного проветривания, вторые – для главного проветривания.

Многоступенчатые вентиляторы обеспечивают, при той же производительности, что и одноступенчатые, более высокое давление. Число ступеней у современных осевых вентиляторов главного проветривания принимается равным двум.

Тип вентилятора определяется величиной коэффициента быстроходности или удельным числом оборотов.

Центробежные вентиляторы, по сравнению с осевыми вентиляторами, отличаются сравнительно большей напорностью и меньшими значениями коэффициента быстроходности.

Специфические шахтные условия (газообильность, пылеобразование, высокие температуры воздуха в связи с разработкой глубоких горизонтов и др.) и необходимость обеспечения безопасных условий труда горнорабочих предопределяют высокие требования к вентиляторам главного проветривания. Они должны обеспечивать непрерывно в течение всего срока их службы (15 – 20 лет) устойчивую и бесперебойную подачу требуемого по шахтным условиям количества воздуха. Конструкции вентилятора и установки в целом должны быть выполнены таким образом, чтобы обеспечить надежную и бесшумную их работу. Не менее важными являются требования высокой экономичности, возможности регулирования режима работы в достаточно широких пределах, а также простоты обслуживания и ремонта вентиляторных установок.

5.3. Типаж, конструктивное исполнение центробежных и осевых вентиляторов

Центробежный вентилятор, как и всякая турбомашина, состоит из рабочего колеса, подводящих и отводящих устройств. В качестве подводящего устройства используют конфузор, а в качестве отводящего устройства – спиральный отвод.

Центробежные вентиляторы обычно строят одноступенчатыми.

Осевые вентиляторы

Схемы вентиляторов. Современные осевые шахтные вентиляторы строят одноступенчатыми и компонуются по схемам: местного проветривания НА + РК и НА + РК + СА и главного проветривания НА + РК и НА + РК + СА.

Обозначено: РК – рабочее колесо, НА – направляющий аппарат, СА – спрямляющий аппарат. НА предназначены для придания потоку

воздуха необходимого направления при входе в рабочее колесо, а НА между двумя рабочими колесами многоступенчатого вентилятора также и для раскручивания потока; СА – для раскручивания потока при выходе из колеса в сторону, обратную его вращению. Выходные углы лопаток НА между рабочими колесами и лопаток СА можно задать такими, что поток изменит свое направление даже па противоположное. Направление потоков можно проследить на планах скоростей, на которых обозначены абсолютные скорости на входе и выходе: c'_1 и c'_2 – направляющего аппарата и c''_1 и c''_2 – спрямляющих СА аппаратов, c_1 и c_2 – рабочего колеса. Схема двухступенчатого вентилятора РК + НА + РК + СА будет обеспечивать примерно в 2 раза большее давление, чем схема РК + СА, при одинаковой производительности. Полное давление, создаваемое осевым вентилятором [1],

$$p = p_{\text{вых}} - p_{\text{в}} + \rho \frac{c^2_{\text{вых}}}{2} ,$$

где $p_{\text{вых}}$ и $p_{\text{в}}$ – давление соответственно за выходным диффузором и на входе вентилятора, Па; $c_{\text{вых}}$ – абсолютная скорость на выходе вентилятора.

Очевидно, что статическая и динамическая составляющие давления будут

$$p = p_{\text{вых}} - p_{\text{в}} \quad \text{и} \quad p_{\text{дин}} = \rho \frac{c^2_{\text{вых}}}{2} . \qquad (5.1)$$

Элементы вентиляторов. Коллектор, обтекатель и первый лопаточный аппарат устанавливаются на входе и предназначаются для плавного, без больших потерь, увеличения осевой скорости c_1, потока и обеспечения равномерного поля скоростей. Коллектор может быть очерчен по дуге окружности радиусом $r > 0{,}2D_2 > r$, где D_2 – диаметр рабочего колеса. Обтекатель имеет форму полусферы или полуэллипсоида.

Рабочие колеса осевых вентиляторов оснащаются профилированными лопатками (обычными и кручеными). Форма лопаток выбирается такой, чтобы обеспечивалась вокруг них необходимая циркуляция для создания достаточного напора и одновременно исключалось бы перетекание частиц воздуха в радиальном направлении к периферии в связи с действием центробежных сил от закручивания потока. В самом деле, из уравнения Л. Эйлера видно, что передача энергии потоку лопатками неизбежно связана с закручиванием потока. В закрученном потоке возникают центробежные силы, которые могут стать причиной перетекания

воздуха из одного кольцевого слоя в другой к периферии вентилятора. Такое перетекание нежелательно, так как вызывает значительные потери энергии. Очевидно, что перетекания частиц потока не будет, если давления вдоль радиусов будут постоянными (p = const) или по уравнению Л. Эйлера

$$\Gamma = \text{const} \quad \text{или} \quad rc_{U2} = \text{const}. \tag{5.2}$$

Из этого условия следует, что для обеспечения постоянства давления скорость закручивания должна изменяться по гиперболическому закону

$$c_{U2} = \frac{\text{const}}{r}. \tag{5.3}$$

Такое изменение скорости вдоль радиуса рабочего колеса достигается конструкцией лопаток с переменными шириной b и углами β_1 и β_2. В связи с этим, у современных осевых вентиляторов применяют крученые лопатки с переменным сечением по длине. Поле скоростей за рабочим колесом с некрученными лопатками имеет значительную неравномерность [1].

Большое влияние на работу вентилятора оказывает зазор δ между концами лопаток и кожухом вентилятора.

Относительный зазор (зазор, отнесенный к длине лопатки $l_л$) $\bar{\delta} = (\delta / l_л) \cdot 100\ \%$ для качественно изготовленных отечественных вентиляторов составляет 0,8 – 1,0 %. При величине относительного зазора всего 1,5 % давление снижается на 15 – 20 % по сравнению с расчетной величиной при нулевом зазоре. Уменьшение давления объясняется обратным перетеканием воздуха через кольцевой зазор из области повышенного в область пониженного давления.

Направляющий и спрямляющий аппараты представляют собой венцы из неподвижных или поворотных лопаток. Основные параметры: густота решетки b/t, угол установки и аэродинамическая характеристика профиля лопаток. Для радиального равновесия потока распределение скоростей закручивания потока в аппаратах должно быть таким же, как и в рабочих колесах.

Для работы в криволинейном потоке профили лопаток СА и НА должны быть деформированы соответственно кривизне потока. Во избежание потерь энергии лопатки должны быть установлены так, чтобы поток входил на их входные кромки по касательной или под небольшим

углом. Чтобы это соблюдалось при разных режимах работы вентиляторов, лопатки НА и СА следует выполнять поворотными.

Диффузор и выходная часть предназначаются для преобразования динамического $p_{дин}$ в статическое $p_{ст}$ давление. Между спрямляющим аппаратом и диффузором для выравнивания поля скоростей потока целесообразно предусматривать небольшой цилиндрический участок. Переход от цилиндрического к коническому участку должен быть плавным. Важнейшими параметрами диффузоров являются: степень расширения диффузора

$$\chi = \frac{F_2}{F_1} = \frac{c_{a1}}{c_{a2}}\ , \qquad (5.4)$$

где F_1 и F_2 – площади сечений, а c_{a1} и c_{a2} – скорости потока на входе и выходе диффузора; углы раскрытия конусов φ_1 и φ_2 и относительная длина диффузора $\overline{L} = L/D$, где D – начальный диаметр диффузора.

У шахтных вентиляторов принимается коническая часть длиной $\overline{L} = 2$ и углы раскрытия конусов $\varphi_1 = 3°$ и $\varphi_2 = 6°$.

Номенклатура и назначение. В горной промышленности России эксплуатируются современные осевые одноступенчатые, реверсивные со сменными и поворотными на ходу лопатками рабочего колеса вентиляторы типов: ВО, ВОК, (В – вентилятор, О – осевой, К – с крученными лопатками).

Также наряду с современными типами осевых вентиляторов на действующих шахтах и подземных рудниках могут эксплуатироваться устаревшие модели ВОД, ВОМ, ВОМД, ВОКР, ВУПД (Д – многоступенчатые), являющиеся менее эффективными.

Первые отечественные осевые вентиляторы были выпущены на базе разработанных в ЦАГИ в 1938-1939 гг. вентиляторов серии В (высоконапорные). Из-за различных недостатков эти вентиляторы были сняты с производства еще в 1957 г. Их заменили вентиляторы типов ВОК и ВОКД с крученными лопатками и ВОД отличавшиеся более совершенной аэродинамической схемой и более плавным регулированием производительности, а вентиляторы типа ВОКД – возможностью реверсирования воздушной струи самим вентилятором [1].

В настоящее время выпускаются разработанные в последнее время вентиляторы типа ВО (ВО-12,5, ВОМ-18, ВО-21К, ВО-24К и ВО-30К) (цифра в маркировке вентиляторов – диаметр рабочего колеса по концам лопаток в дециметрах) [14].

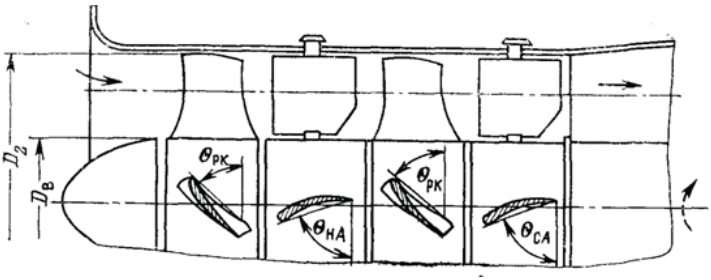


Рис. 5.1. Схема современного осевого вентилятора типа ВО

Осевые вентиляторы типа ВО предназначаются для проветривания неглубоких шахт и рудников, общешахтная депрессия которых не превышает 4 кПа (рис. 5.1).

Вентилятор ВО-12,5 предназначен для вентиляции метрополитенов, тоннелей, объектов общепромышленного назначения, систем воздушного отопления, проточной и вытяжной вентиляции технологических установок, а также в качестве вспомогательного вентилятора для проветривания стволов и околоствольных выработок при их сооружении, в калориферных установках и т. п.

Вентиляторы типа ВО, за исключением ВО-12,5 предназначены для главного проветривания шахт и подземных рудников, а также для работы в вентиляционных системах предприятий других отраслей промышленности, рассчитанных на перемещение воздуха и неагрессивных газов, выполняются реверсивными и обеспечивают требуемую правилами безопасности производительность при реверсе более 60 % от нормальной производительности; по специальному заказу они могут выполняться и нереверсивными. Эти вентиляторы применимы как для всасывающей, так и для нагнетательной вентиляции.

Вентиляторы типа ВО – одноступенчатые. Для уменьшения шума они не имеют входных направляющих аппаратов и собраны по условной схеме РК + СА.

Рабочие колеса вентиляторов снабжены 8 сдвоенными лопатками. Установка лопаток РК вентиляторов, за исключением ВО-12,5, производится в пределах 15 – 45°. При реверсировании струи воздуха лопатки НА и СА поворачиваются на углы 153 и 158° и направление их выпуклости изменяется на противоположное.

5.4. Конструкция осевых вентиляторов

Вентиляторы ВО-21К, ВО-24К и ВО-30К имеют аналогичную конструкцию (рис. 5.2) [14].

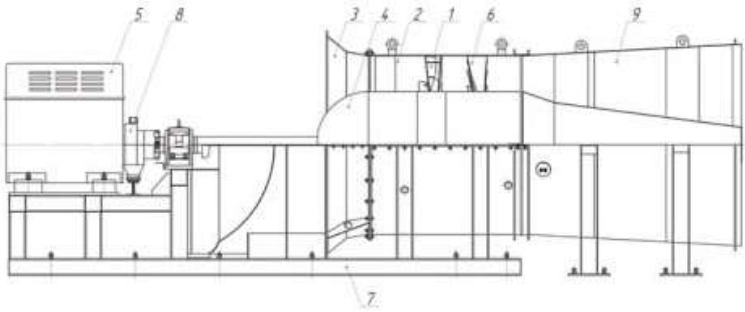


Рис. 5.2. Общий вид осевого вентилятора ВО-21К

Вентилятор состоит из ротора с рабочим колесом с лопатками ***1***, корпуса ***2***, коллектора ***3***, обтекателя (кока) ***4***, электродвигателя ***5***, спрямляющего аппарата ***6***, рамы *7*, тормоза ***8***, диффузора ***9***. Ротор вентилятора соединяется с электродвигателем *5* с помощью трансмиссионного вала и муфты.

При всасывающей вентиляции шахты или рудника воздух к вентилятору из вентиляционной сети поступает по подводящему каналу и через диффузор выходит в отводящий канал. В диффузоре динамическое давление частично преобразовывается в статическое.

Вентилятор ВО-21 нужен для обеспечения главного проветривания рудников и шахт. Вентилятор осевой ВО-21 характеризуется внушительным показателем надежности.

Такой вентилятор осевой реверсивный комплектуется одним рабочим колесом с восемью лопастями. За счет дистанционного одновременного поворота, они обеспечивают возможность регулирования режима работы и переход в реверс без помощи основного привода. Глубина реверса достигает приблизительно восемьдесят процентов относительно «прямой» работы.

Вентиляторы ВО-21 обладают общей рамой, что ведет к повышению надёжности системы в целом. А за счет разъемного корпуса, намного упрощаются процедуры обслуживания и ремонта.

В качестве исходного сырья для производства рабочего колеса и лопастей вентилятора используется нержавеющая сталь. Вентилятор ВО-21, оборудованный надежным корпусом с толщиной не менее 14 мм, отличается хорошей износостойкостью, что позволяет пользоваться им в условиях разрушительных сред.

В нынешний момент реверсивные осевые вентиляторы оснащаются оборудованием, позволяющим дистанционно осуществлять контроль над режимом обратного хода, а ещё регулировать производительность вентиляторов.

Краеугольным вопросом техники безопасности на предприятиях горнорудной сферы считается борьба с загазованностью, пылью и высокими температурами в шахтах. Решить этот вопрос можно лишь с использованием мощной системы вентиляции. С целью сохранения подходящих рабочих условий в горнорудной промышленности задействуется вентилятор осевой реверсивный.

Вентиляторы серии ВО выполняются с тремя сменными вариантами лопаток рабочего колеса, что позволяет, кроме регулирования производительности в 1,5 – 2,1 раза за счёт поворота лопаток РК, увеличивать производительность и давление вентилятора дополнительно в 1,25 – 1,45 раза за счёт замены лопаток рабочего колеса. Адаптация указанным способом обеспечивает так же повышение среднего эксплуатационного статического КПД вентиляторов до 0,7 – 0,75 (достигнутый на шахтах – находится в пределах 0,38 – 0,62), так как взамен снимаемых устанавливаются лопатки, которые обеспечат заданный режим с наибольшим КПД.

Вентиляторы серии ВО-12,5, ВОМ-18, ВО-21К, ВО-24К и ВО-30К реверсируются изменением направления вращения электродвигателя с одновременным поворотом лопаток направляющего и спрямляющего аппаратов.

Конструктивная форма и размеры центробежного вентилятора определяются его подачей, давлением и частотой вращения. Формы конструкций рабочих колес центробежных вентиляторов даны на рис. 5.3.

Барабанная (***а***) и кольцевая (***б***) формы свойственны вентиляторам низкого давления с лопатками, загнутыми вперед; формы (***б***), (***в***) и (***г***) характерны для вентиляторов низкого, среднего и высокого давлений с лопатками, загнутыми назад.

Наименьшей прочностью и жесткостью обладают колеса формы (***а***), допускающие окружную скорость на диаметре D_2 не более 40 м/с. Ширина таких колес постоянна и составляет около 0,5 D_2.

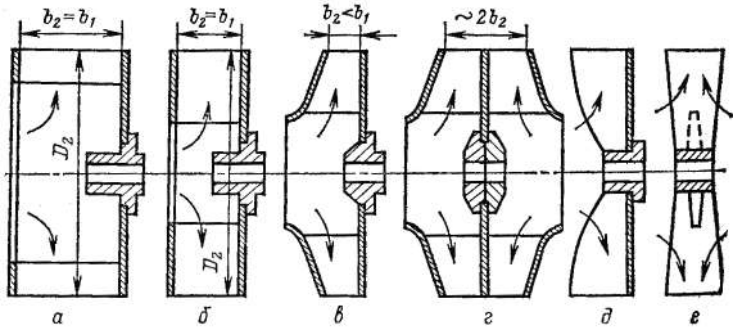


Рис. 5.3. Схемы конструкций рабочих колес центробежных вентиляторов

Колеса кольцевой формы с шириной $b_1 = b_2 = 0{,}2 – 0{,}35$ более прочны и жестки и допускают скорость u_2 до 60 м/с.

Конический покрывающий диск (формы (***в***) и (***г***)) обусловливает большую жесткость колеса и допустимость высоких окружных скоростей до 80 м/с.

Форма (***г***) применяется для колес большой подачи и находит, в частности, применение для дутьевых вентиляторов и дымососов ГЭС.

Открытые однодисковые и бездисковые колеса форм (***д***) и (***е***), применяются в пылевых вентиляторах, служащих для подачи смесей газов с твердыми частицами, например, в системах пылеприготовления ТЭС (рис. 5.4).

В вентиляторах применяются все три типа лопастей. В настоящее время существует тенденция применения главным образом лопаток, загнутых назад. Они обеспечивают по сравнению с лопатками, загнутыми вперед, более высокий к.п.д. вентилятора, устойчивую работу его в широком диапазоне расходов и уменьшение шума. На рис. 5.4 показаны два конструктивных типа лопастей вентиляторов: ***а*** и ***б*** – постоянной толщины. Крепление лопастей постоянной толщины к дискам производится клепкой или сваркой. В первом случае возможны два варианта:

1) на торцах лопастей фрезеруются шипы (***в***), расклепываемые в отверстиях дисков;

2) лопатки получают отгибы, которыми и приклепываются к дискам (***а***).

Для придания объемным лопастям большей прочности и жесткости внутри профиля монтируют ребра из полосовой стали. Одна кромка их приваривается непрерывным швом к внутренней поверхности лопасти,

а вторая – прерывистым швом через отверстия во второй половине листа, образующего лопасть.

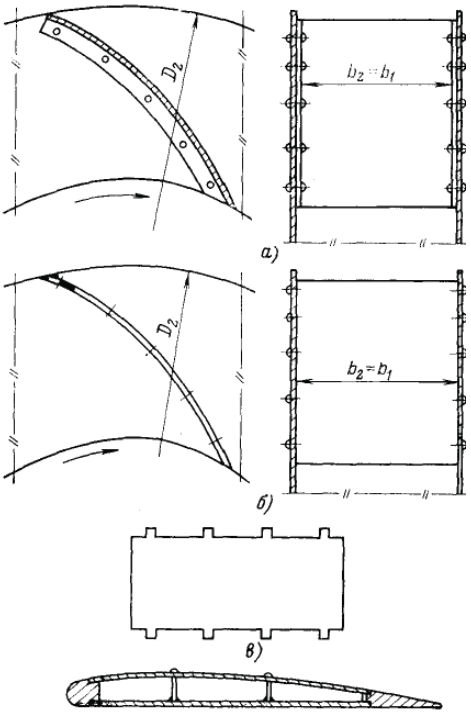


Рис. 5.4. Конструктивные типы рабочих лопаток
изготовляемых штампованием из листовой стали,
и объемного профиля, изготовляемых штампованием и сваркой

Применение объемных, профилированных лопастей с рациональной формой сечения привело к повышению к.п.д. крупных вентиляторов до 90 %.

Корпуса вентиляторов выполняются спиральными, постоянной ширины, и очерчиваются обычно способом «конструкторского квадрата» (рис. 5.5), где $a = \dfrac{(0{,}25 \div 0{,}3) \cdot Q}{bc_a}$, b – ширина корпуса.

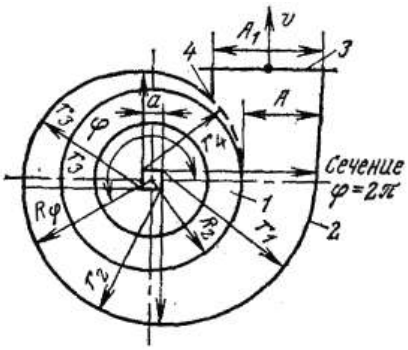


Рис. 5.5. Спиральный кожух:
1 – рабочее колесо; *2* – спиральный кожух; *3* – выходное сечение; *4* – язык

Материалом корпусов является конструкционная листовая сталь толщиной от 2 до 8 мм. Исключением являются корпуса некоторых вентиляторов высокого давления, изготовляемые литьем из чугуна.

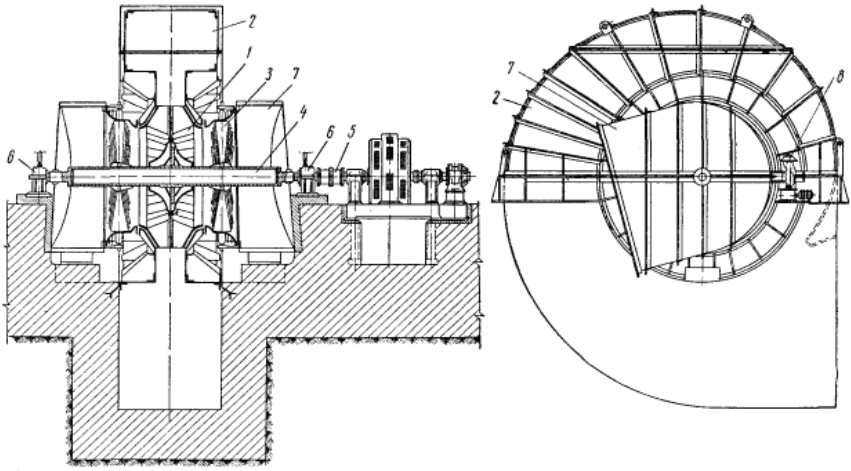


Рис. 5.6. Шахтный центробежный вентилятор ВЦД:
1- рабочее колесо; 2 – спиральный кожух; *3* – осевые направляющие аппараты;
4 – вал; 5 – зубчатая муфта; *6* – подшипники; *7* – входные коробки;
8 – колонка привода направляющего аппарата

У центробежных вентиляторов, имеющих колеса с лопатками, загнутыми вперед, увеличение подачи связано с существенной перегрузкой двигателя.

Если перед рабочим колесом центробежного вентилятора расположен осевой направляющий аппарат (рис. 5.6, 5.7), то, меняя угол установки его лопаток $\theta_{н.д.}$, можно получить ряд характеристик, соответствующих определенному значению $\theta_{н.д}$ (рис. 5.10). Область промышленного использования определяется значениями к.п.д. $\eta_{ст} > 0{,}6$.

5.5. Номенклатура и назначение

На шахтах и подземных рудниках России в настоящее время эксплуатируются центробежные вентиляторы главного проветривания следующих типов: ВЦ, ВЦЦ, ВШЦ, ВРЦД, ВЦП, ВЦЗ и вентилятор местного проветривания ВЦ-7 (В – вентилятор, Ц – центробежный, О – одностороннего всасывания, Д – двустороннего всасывания, Р – рудничный, Ш – шурфовой, П – проходческий, 3 – с регулируемыми закрылками). По ГОСТ 11004-75 центробежные вентиляторы маркируются: одностороннего всасывания ВЦ и двустороннего всасывания ВЦД. Цифра в маркировке означает диаметр рабочего колеса в дециметрах.

В настоящее время заводами выпускаются следующие центробежные вентиляторы, предназначенные для главного проветривания шахт и рудников: ВЦД-16, ВЦ-25, ВЦ-31,5 (старый шифр ВЦ-32), ВЦЗ-32, ВЦЦ-31,5 (старый шифр ВЦД-32М) и ВЦЦ-47 «Север», для проветривания стволов и околоствольных выработок: ВЦ-11 и ВШЦ-16, и только для проветривания забоев шахтных стволов ВЦПД-8УМ и ВЦП-16, а также вентиляторы местного проветривания ВЦ-7. Центробежные вентиляторы применимы для всасывающей, нагнетательной и комбинированной схем вентиляции горных предприятий.

В вентиляторах серии ВЦД (рис. 5.6) рабочие колеса выполнены с лопатками, загнутыми назад ($\beta_2 = 108°$), что обеспечивает более высокий к.п.д. К числу их достоинств можно отнести также сравнительно большой коэффициент производительности ($Q = 0{,}275$), что позволяет уменьшить диаметр рабочего колеса, а следовательно, и маховой момент вращающихся частей.

В последнее время в России и за рубежом созданы быстроходные высокоэкономичные центробежные вентиляторы с рабочими колесами, имеющими лопатки, сильно загнутые назад.

Так, например, на рис. 5.7 показан центробежный вентилятор ВЦН-16, разработанный Каменским машиностроительным заводом. Рабочее колесо ***1*** имеет восемь профилированных, сильно загнутых назад лопаток ($\beta_2 = 170°$). Вал ***2*** вращается в двух подшипниках качения ***3***, которые опираются на раму ***6***. Поток воздуха, отбрасываемый рабочим колесом, направляется в спиральный кожух ***4***, Для регулирования режима работы вентилятора предназначен направляющий аппарат ***5***. Вал вентилятора с валом двигателя соединен зубчатой муфтой ***7***.

Вентилятор ВЦН-16 отличается сравнительно небольшими габаритами, высоким к.п.д. ($\eta_{ст\ мах} = 0{,}88$) и незначительным шумом при работе.

Для главного и частичного проветривания используется ряд других типов центробежных вентиляторов – ВШЦ, а также центробежные вентиляторы с барабанным ротором, выпускавшиеся ранее под названием «Сирокко».

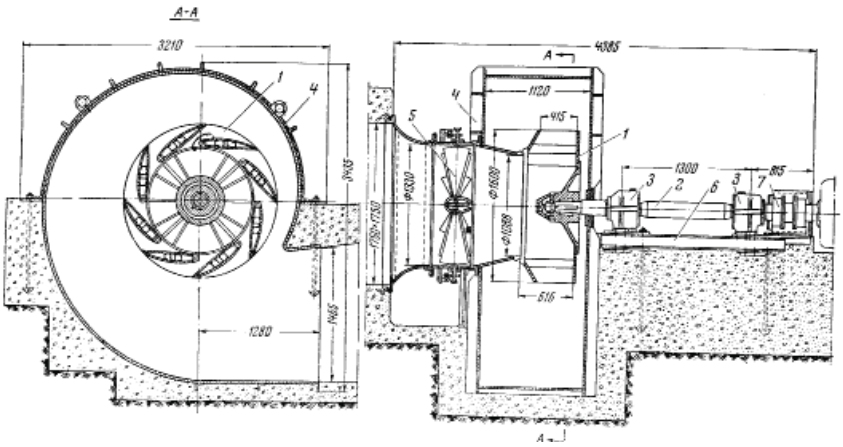


Рис. 5.7. Шахтный центробежный вентилятор ВЦН-16

Одним из основных элементов конструкции центробежных вентиляторов является рабочее колесо. Оно состоит из переднего и заднего дисков (см. рис. 5.6), между которыми заклепками или сваркой закреплены лопатки. Задний диск крепится к ступице колеса также при помощи заклепок или сваркой. Лопатки рабочих колес изготовляются тонкими из листовой стали (ВЦО и ВЦД) или пустотелыми профилированными (ВЦН и ВШЦ) в форме несущего крыла (см. рис. 5.7). В послед-

нем случае в большей степени удовлетворяются требования аэродинамики, а также обеспечиваются прочность и жесткость колеса.

Величина окружной скорости рабочих колес центробежных вентиляторов ограничивается условиями прочности и для различных типов вентиляторов составляет 40-120 м/сек. Направляющий аппарат (см. рис. 5.6, 5.7) состоит из 12 – 18 лопаток (дуговых у ВЦД и ВЦО и профилированных у ВЦН). Он снабжен механизмом для одновременного поворота всех лопаток.

Направляющий аппарат позволяет регулировать режим работы на ходу, а также облегчает пуск вентилятора.

5.6. Регулирование режимов работы вентилятора и реверсирование струи

Вентиляторные установки как главного, так и вспомогательного проветривания работают на сеть с переменными параметрами – сопротивлением и необходимым расходом воздуха. Основными причинами, вызывающими изменение этих параметров, являются: развитие фронта горных работ, увеличивающее потребность в воздухе в 1,5 – 2,0 раза; сезонные колебания температуры воздуха, вызывающие изменение внутришахтной депрессии на 10 – 15 % от номинальной; изменение утечек и подсосов воздуха в процессе эксплуатации горного предприятия; работа в ремонтные дни, когда потребное количество воздуха уменьшается на 30 – 50 %; изменение суточного ритма работ, производство массовых взрывов, требующих значительной интенсификации проветривания [1].

Изменение параметров сети вентиляторных установок приводит к необходимости регулирования режимов их работы во время эксплуатации. Принято считать целесообразными диапазонами регулирования производительности вентиляторных установок 1:2 и давления 1:3 с принятием дополнительных мер для интенсификации проветривания после массовых взрывов.

Известны следующие способы регулирования вентиляторов:

1. Дросселирование потока воздуха в линии нагнетания или всасывания.
2. Изменение частоты вращения рабочего колеса.
3. Изменение направления потока перед входом в рабочее колесо.
4. Поворот лопаток или отдельных частей лопаток рабочего колеса.

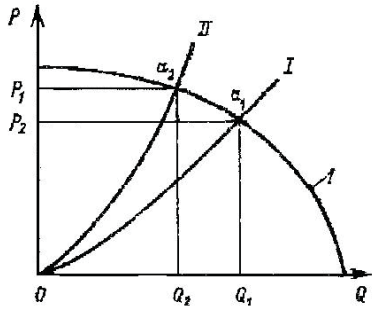


Рис. 5.8. Определение рабочего режима вентилятора

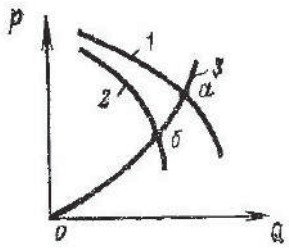


Рис. 5.9. Характеристика вентилятора при дросселировании на всасывании

1. Дросселирование потока осуществляется введением в вентиляционную сеть дополнительного сопротивления (дросселя), устанавливаемого после нагнетательного патрубка вентилятора при нагнетательной вентиляции и перед всасывающим устройством вентилятора при всасывающей вентиляции. В первом случае регулирование сводится к изменению характеристики сети при неизменной характеристике вентилятора, при этом характеристики сети становятся круче (рис. 5.8.).

Подбирая величину сопротивления, можно перевести режим работы машины из точки a_1 в точку a_2 с другими параметрами давления и производительности, совпадающими с требуемыми или более близкими к ним. Во втором случае изменяется характеристика ***1*** вентилятора (рис. 5.9) при неизменной характеристике ***3*** сети. Новая характеристика вентилятора ***2*** будет лежать тем ниже, чем больше введенное сопротивление.

Изменяя степень сопротивления, можно получить ряд напорных характеристик. Таким образом, в данном случае изменение параметров режима достигается переводом вентилятора на новую характеристику. При характеристике ***3*** сети вентилятор имел режим работы в точке ***а***. При введении сопротивления во всасывающую сеть его режим будет характеризоваться параметрами точки ***б***.

2. Регулирование изменением частоты вращения ротора возможно при наличии регулируемого привода. Из теории подобия турбомашин известно, что при подобных треугольниках скоростей изменение частоты вращения колеса обусловливает изменение расходов по закону, близкому к линейному($Q'/Q = n'/n$). Напоры при этом изменяются по зако-

ну, близкому к квадратическому, $H'/H = (n'/n)^2$. Изменяя в определенных пределах частоту вращения машины, можем получить ряд характеристик $p = f(Q)$, каждая из которых будет лежать тем ниже, чем меньше частота вращения. В пределах полученного при этом поля характеристик (рис. 5.10) можно изменять расход и напор в любых соотношениях независимо от взаимной связи этих параметров, предписываемой характеристикой машины для расчетной частоты вращения.

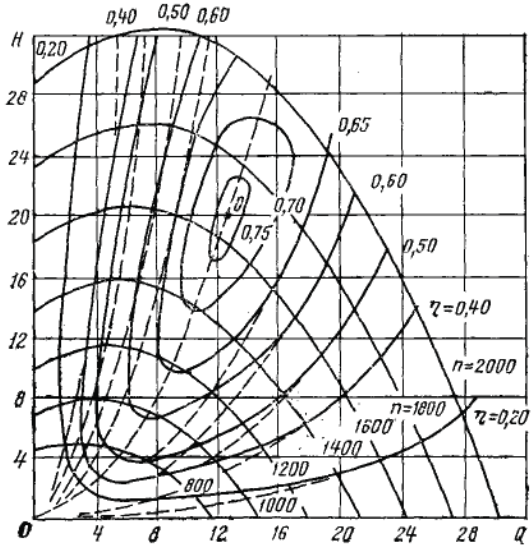


Рис. 5.10. Универсальная характеристика турбомашины

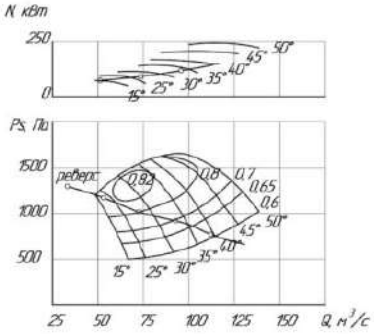
3. Регулирование изменением направления потока на входе в рабочее колесо основывается на изменении скорости закручивания потока при входе в рабочее колесо и осуществляется специальным направляющим аппаратом. Этот аппарат представляет собой систему поворотных лопаток, устанавливаемых перед входом в колесо вентилятора. Посредством специального механизма все лопатки могут одновременно поворачиваться относительно своих радиальных осей. Профиль лопаток – плоский, плоско-выпуклый или дуговой. Лопатки изменяют направление воздушного потока, т. е. сообщают ему скорость закручивания. В результате этого изменяется напор вентилятора. Если в направляющем

аппарате поток закручивается в направлении вращения колеса, давление и потребляемая мощность уменьшаются. При закручивании потока в обратную сторону давление возрастает.

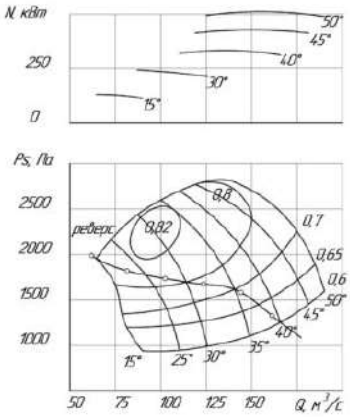
Таким образом, изменяя направление потока в абсолютном движении на входе в колесо, можно получить ряд новых характеристик – $H = f(Q)$ для вентилятора при той же самой частоте вращения рабочего колеса. При регулировании этим способом изменение производительности и напора осуществляется переходом рабочей точки на новую характеристику машины, получаемую в результате закручивания потока перед колесом.

Глубина регулирования с помощью направляющего аппарата у центробежных вентиляторов меньше, чем у осевых вентиляторов.

4. Регулирование поворотом лопаток осуществляется в осевых вентиляторах, изменяя в определенных пределах угол установки лопаток рабочего колеса вентилятора, можем получить ряд характеристик $p = f(Q)$, каждая из которых будет лежать тем ниже, чем меньше угол установки. В пределах полученного при этом поля характеристик (рис. 5.11.) можно изменять производительность и давление, и поворотом некоторых частей лопаток рабочего колеса в центробежных вентиляторах (рис. 5.12.).



Аэродинамическая характеристика вентилятора ВО-21К, выполненного по аэродинамической схеме М-24, частота вращения 750 об/мин.



Аэродинамическая характеристика вентилятора ВО-21К, выполненного по аэродинамической схеме М-24, частота вращения 1000 об/мин.

Рис. 5.11. Аэродинамические характеристики осевого вентилятора при различных частотах вращения приводного электродвигателя

Этот способ особенно целесообразен для случаев, когда основным регулируемым параметром является давление за вентилятором. При изменении угла **θ** установки лопаток рабочего колеса (рис. 5.12) изменяется угол атаки σ, что приводит к изменению циркуляции **Г** вокруг лопатки. С увеличением угла атаки циркуляция рабочего колеса и давление вентилятора растут [1].

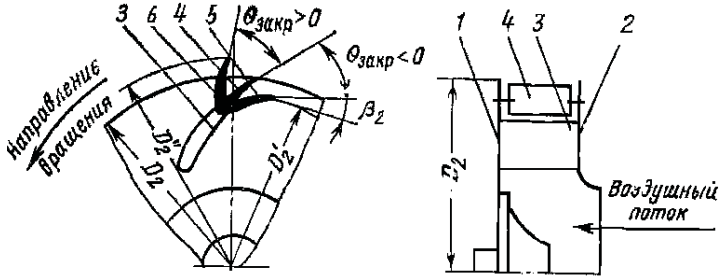


Рис. 5.12. Регулирование поворотом закрылков лопаток рабочего колеса:
1 и ***2*** – коренной и покрывной диски; ***3*** – неподвижная часть лопатки;
4 – закрылок лопатки; ***5*** и ***6*** – положения закрылка соответственно
при отрицательном ($\theta_{закр} \le 0^0$) и положительном ($\theta_{закр} \ge 0^0$) углах его установки

У центробежных вентиляторов конструктивно удается выполнить поворотными только хвостовые части лопаток – закрылки (см. рис. 5.12). При повороте закрылков ***4*** в сторону вращения рабочего колеса увеличиваются фактический диаметр $D''_2 > D_2$ и угол выхода лопаток β_2 (у назад загнутых лопаток).

При повороте закрылков ***4*** против вращения колеса его диаметр по лопаткам ($D''_2 > D_2$), а также угол β_2 уменьшаются. В первом случае давление, создаваемое вентилятором, увеличивается, а во втором случае – уменьшается.

Регулирование шахтных вентиляторов может вестись с использованием одновременно двух-трех способов, например, изменением положения лопаток направляющего аппарата и частоты вращения рабочего колеса.

Выбор того или иного способа регулирования вентиляторов должен решаться с учетом наибольшей его экономичности, простоты и удобства обслуживания.

5.7. Требования правил безопасности к вентиляторным установкам

Вентиляторные установки в соответствии с ПБ должны иметь резерв по производительности от 20 до 45 % и обеспечивать реверсирование воздушного потока не более чем за 10 мин, при этом производительность должна составлять не менее 60 % от нормальной [7].

Правила безопасности требуют также, чтобы современные установки были оборудованы двумя одинаковыми вентиляторами – рабочим и резервным.

Установки должны быть надежными и малошумными, иметь высокую экономичность и возможность регулирования параметров в широких пределах. Во избежание излишних потерь энергии воздушным потоком они должны оборудоваться входными и выходными элементами (подводящие каналы, тройники, входные коробки, диффузоры) с небольшим гидравлическим сопротивлением.

Вентиляторные установки должны иметь по возможности меньшие габариты в плане.

Для работы в суровых климатических условиях, и в частности на Крайнем Севере, схема вентиляторной установки должна исключать обмерзание переключающих устройств, резервного вентилятора и других элементов.

Эффективность и надежность работы вентиляторной установки главного проветривания в большей степени зависят от ее компоновочной схемы и вспомогательного оборудования. Чем меньше вентиляционных каналов и вспомогательного оборудования (ляды или двери), тем меньше подсосов и утечек воздуха и надежнее работа вентиляторной установки. Компоновочную схему следует выбирать такой, чтобы утечки воздуха и его подсосы были минимальными. По нормативам они не должны превышать 10 % [9].

Способ реверсирования струи определяется свойствами вентиляторов. В вентиляторных установках, оборудованных центробежными вентиляторами, реверсирование которых невозможно, направление воздушной струи изменяется системой ляд или вертикальных дверей и обводных каналов. Это приводит к усложнению установок с центробежными вентиляторами по сравнению с установками, оборудованными реверсивными осевыми вентиляторами.

6. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ШАХТ

6.1. Схемы и составные элементы пневматической установки

Пневматические установки на горных предприятиях (рис. 6.1) предназначены для производства и транспортирования сжатого воздуха, применяемого для питания пневматических приводов горно-шахтного оборудования, бурильных и отбойных молотков, погрузочных и закладочных машин, комбайнов и лебедок, вентиляторов и др.

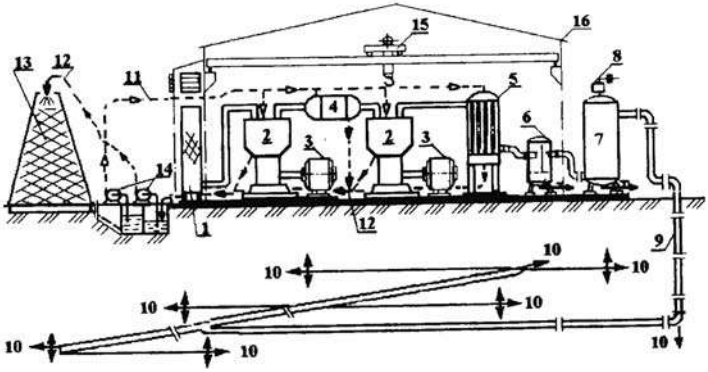


Рис. 6.1. Схема стационарной компрессорной установки с поршневыми компрессорами:
1 – воздухозаборное устройство; ***2*** – поршневой компрессор; ***3*** – электродвигатель; ***4*** – промежуточный охладитель; ***5*** – конечный охладитель; ***6*** – масловлагоотделитель; ***7*** – воздухосборник; ***8*** – предохранительный клапан; ***9*** – трубопровод пневмосети; ***10*** – потребители сжатого воздуха; ***11*** – трубопровод охлажденной воды; ***12*** – трубопровод воды, нагретой в системе компрессорной установки; ***13*** – градирня; ***14*** – насосы для подачи холодной и нагретой воды; ***15*** – грузоподъемный механизм; ***16*** – элементы здания центральной компрессорной станции; ***17*** – потребители сжатого воздуха поверхностного комплекса

Пневматические установки широко применяются на угольных шахтах, разрабатывающих крутые пласты, где по условиям безопасности запрещается применение электроэнергии и сжатый воздух является единственным видом энергии, и на рудниках, где добыча руды ведется буров-

зрывным способом. На других угольных шахтах и рудниках сжатый воздух используется ограниченно, в основном для вспомогательных машин и механизмов [1].

Пневматическая установка состоит из компрессорной станции и воздухопроводной сети.

Рудничная пневматическая установка состоит из центральной компрессорной станции (ЦКС) и внешней пневматической сети.

На генплане поверхностного комплекса рудника (шахты) центральная компрессорная станция (ЦКС – в дальнейшем изложении – компрессорная станция) рудничной пневматической установки располагается по возможности ближе к стволу шахты в соответствии с общей компоновкой сооружений на плане промышленной площадки и подальше от пыльных дорог, складов полезного ископаемого с производством погрузочных работ [18].

При большом потреблении сжатый воздух вырабатывается стационарными компрессорными станциями, располагаемыми на поверхности. В случаях, когда необходимо относительно небольшое количество воздуха, особенно в местах, удаленных от ствола, используются передвижные компрессорные установки, располагаемые под землей на участках.

На некоторых горных предприятиях экономически целесообразным является применение системы воздухоснабжения с дожимными компрессорами. При использовании такой системы воздух, сжатый до давления всего 0,3 – 0,4 МПа в стационарной компрессорной станции на поверхности шахты (рудника), подается по воздуховодам к передвижным дожимным компрессорам, расположенным вблизи мест его потребления. В дожимных компрессорах давление воздуха повышается до требуемого значения. Экономия в затратах получается за счет уменьшения потерь энергии при транспортировании сжатого воздуха в связи с его меньшим давлением и потерями энергии на гидравлические сопротивления.

От стационарных компрессорных установок сжатый воздух транспортируется к потребителям по воздухопроводам пневматических сетей.

Пневматические сети современных горных предприятий состоят из разветвленных воздухопроводов с большим числом различных потребителей. Место разветвления называется узлом. Трубопроводы между узлами, узлами и распределительными устройствами у потребителей называют магистральной сетью или просто магистралью (главная магистраль, участковая магистраль и т. д.). Ответвления труб, к которым

подключаются потребители, называются концевыми элементами. Общая длина воздухопроводов на некоторых шахтах и рудниках достигает десятков километров.

6.2. Классификация и основные параметры, характеризующие работу компрессора

Компрессором называется машина, предназначенная для преобразования механической энергии привода в полезную потенциальную и кинетическую энергию газа. В компрессоре происходит повышение давления газа и перемещение его из области низкого в область высокого давления. На горных предприятиях компрессорами пневматических установок осуществляется сжатие воздуха.

По способу сжатия газа компрессоры делятся на две группы [1]:

объемного сжатия (компрессоры вытеснения), в которых давление газа (воздуха) повышается за счет уменьшения рабочего пространства; к ним относятся поршневые, винтовые, ротационные компрессоры и др.;

кинетического сжатия, в которых газ (воздух) сжимается в процессе принудительного движения газа (воздуха) при силовом взаимодействии с лопатками вращающихся колес, к ним относятся турбокомпрессоры – центробежные и осевые.

Первую группу компрессоров иногда также называют компрессорами вытеснения, а вторую – лопастными компрессорами, из-за наличия в них лопастей (лопаток), с помощью которых осуществляется процесс сжатия.

По конструкции рабочих органов различают компрессоры: поршневые, лопастные (турбокомпрессоры), винтовые, ротационные и др.

По роду сжимаемого газа компрессоры делятся на воздушные, аммиачные, фреоновые и др.

По величине создаваемого давления различают: компрессоры, называемые вакуум-насосами, отсасывающими газ (воздух) из пространства с вакуумом и сжимающими его до атмосферного или несколько большего давления; воздуходувки (газодувки) – машины, сжимающие воздух (газ) до 0,3 МПа; компрессоры низкого давления (0,3 – 1,0 МПа); компрессоры среднего давления (1,0 – 10,0 МПа); компрессоры высокого давления (10 – 250 МПа). В горной промышленности наиболее широко применяются компрессоры низкого давления. Вакуум-насосы используются для отсасывания метана из угольных пластов.

Основными параметрами, характеризующими работу компрессора, являются: объемная производительность Q (м3/с или м3/мин), приведенная к условиям всасывания; начальное (до сжатия) $p_н$ и конечное (после сжатия) $p_к$ (Па, кПа, МПа) давление; степень повышения давления $\varepsilon = p_к / p_н$, начальная $T_н$ и конечная $T_к$ температура сжимаемого газа; мощность N (кВт) на валу компрессора. Различают избыточное (по отношению к атмосферному ри) и абсолютное раб (учитывающее атмосферное давление) давление; первое указывается в паспорте компрессора, второе используется в термодинамических расчетах. Температура сжимаемого газа (воздуха) при термодинамических расчетах выражается в единицах Кельвина (К), T=273+ t, где t – температура в градусах Цельсия (°С).

Наибольшее распространение в горной промышленности получили компрессоры: двухступенчатые поршневые производительностью 10; 20; 30; 50; 100 м3/мин, центробежные – производительностью 115; 250; 500 м3/мин и винтовые – производительностью 5; 12,5; 25 м3/мин [15].

Широко распространенные в ряде отраслей промышленности осевые турбокомпрессоры не применяются в горной промышленности из-за низкого конечного давления сжатого воздуха.

6.3. Теоретические и действительные рабочие процессы в поршневом компрессоре

Рабочий процесс в идеальном поршневом компрессоре удобно рассматривать, воспользовавшись диаграммой процесса в системе координат $\boldsymbol{p} - \boldsymbol{v}$ (рис. 6.2, а) [1].

Крайнее правое положение поршня в цилиндре соответствует точке ***1*** – цилиндр заполнен воздухом (газом) с параметрами $\boldsymbol{p_1}$, $\boldsymbol{v_1}$ и $\boldsymbol{T_1}$, всасывающий клапан закрыт. При движении влево поршень сжимает заключенный в цилиндре воздух (газ). Процесс сжатия характеризуется в общем случае политропой **1 – 2** и заканчивается в точке **2**, в которой газ характеризуется параметрами $\boldsymbol{p_2}$, $\boldsymbol{v_2}$ и $\boldsymbol{T_2}$. В зависимости от условий сжатие может осуществляться по изотерме **1 – 2'»**, политропе **1 – 2**, адиабате **1 – 2'** и политропе **1 – 2»** с большим значением показателя $\boldsymbol{n}$. В идеальном компрессоре, в котором отсутствует сопротивление нагнетательных клапанов, момент окончания сжатия совпадает с моментом открывания нагнетательных клапанов и началом нагнетания газа в напорный трубопровод.

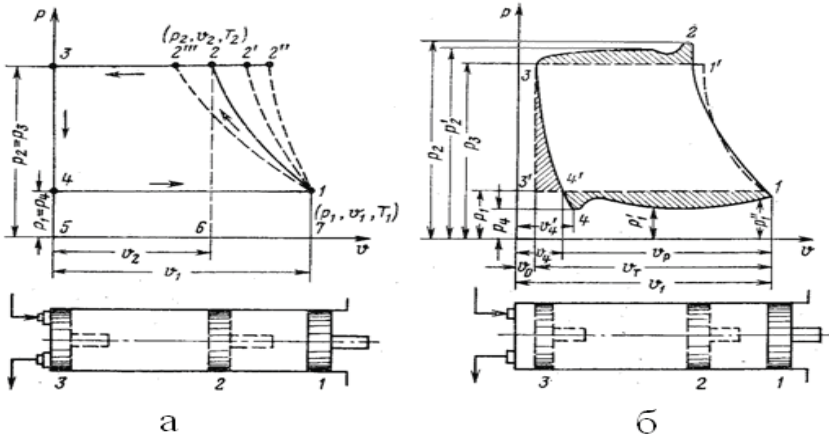


Рис. 6.2. Диаграммы одноступенчатого поршневого компрессора: идеального (*а*) и реального (*б*)

При движении поршня от точки **2** до точки **3** воздух из цилиндра выталкивается в нагнетательный трубопровод, при этом давление p_2 и температура T_2 не изменяются. Процесс протекает по линии **2 – 3** (**2' – 3, 2'' – 3, 2''' – 3**), которая называется линией нагнетания. В крайнем левом положении поршня (точка **3***)* нагнетательный клапан (клапаны) закрывается. С началом движения поршня вправо давление в цилиндре падает до давления p_1 во всасывающем трубопроводе и открывается всасывающий клапан. При движении поршня вправо происходит процесс заполнения цилиндра газом (всасывание); линия **4** называется линией всасывания. Процесс всасывания заканчивается в точке **1**, и затем цикл повторяется.

Работа, затрачиваемая в цикле компрессора, пропорциональна площади *f* диаграмм:
работа сжатия

$$L_{сж} = k \cdot f_{1\text{-}2\text{-}6\text{-}7}; \tag{6.1}$$

работа нагнетания

$$L_{н} = k \cdot f_{2\text{-}3\text{-}5\text{-}6}; \tag{6.2}$$

работа всасывания

$$-L_{вс} = k \cdot f_{1\text{-}4\text{-}5\text{-}7}. \tag{6.3}$$

Здесь k – масштабный коэффициент.

Знак «минус» в выражении (6.3) указывает, что в момент всасывания система вместе с поступающим газом получает извне часть энергии, на величину которой уменьшается общее количество работы за цикл.

Таким образом, суммарная работа цикла компрессора

$$L_{\text{п}} = L_{\text{сж}} + L_{\text{н}} - L_{\text{вс}} . \qquad (6.4)$$

Приводя затраченную работу к удельной, т. е. к работе, затрачиваемой на сжатие 1 кг газа, получаем $l_{\text{п}} = l_{\text{сж}} + l_{\text{н}} - l_{\text{вс}}$ или

$$l_{\text{п}} = -\int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv + p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1 . \qquad (6.5)$$

Действительный процесс в одноступенчатом компрессоре

Работа реального компрессора и термодинамические процессы, совершающиеся при этом, в действительности значительно отличаются от работы и процессов, происходящих в идеальном компрессоре. Это отличие, прежде всего, заключается в том, что в цилиндре реального компрессора после окончания процесса нагнетания (крайнее левое положение поршня) остается определенное количество газа объемом $\boldsymbol{v_0}$, сжатого до давления нагнетания $\boldsymbol{p_3}$. Во время процесса всасывания этот газ расширяется и заполняет часть объема цилиндра, уменьшая производительность компрессора. Поэтому пространство цилиндра, заполняемое этим остаточным газом, называется «вредным».

Вредный объем газа складывается из объема, образующегося в зазоре между поверхностью поршня (до первого уплотнительного кольца) и поверхностью цилиндра, а также объема клапанной коробки и газовых каналов в клапане до рабочей пластины.

Второй особенностью работы реального компрессора является тот факт, что при его работе происходит непрерывное изменение параметров состояния $\boldsymbol{p}$, $\boldsymbol{v}$ и $\boldsymbol{T}$, обусловленное наличием затрат энергии на преодоление гидравлических сопротивлений при перемещении газа внутри цилиндра от приемного трубопровода до напорного, а также наличием теплообмена, имеющего различную интенсивность для каждого момента цикла компрессора.

Диаграмма цикла реального компрессора изображена на рис. 6.2., ***б***. На этой же диаграмме для сравнительной оценки пунктирными линиями нанесена диаграмма **1-1'-3-3'** для случая, если бы компрессор рабо-

тал по идеальному циклу, а расширение газа, оставшегося во вредном пространстве, не влияло бы на производительность компрессора. Действительный цикл компрессора отличается от теоретического.

Процесс сжатия (линия **1 – 2***)* в общем случае происходит по политропе с переменным, в течение сжатия, показателем ***n***. Сжатие заканчивается в точке **2** при давлении p_2, которое больше давления в напорном трубопроводе p_3 на величину $\Delta p_н = p_2 - p_3$. Перепад давлений $\Delta p_н$ необходим для преодоления сопротивления пружин напорного клапана и сил инерции подвижных элементов последнего.

Процесс нагнетания (линия **2 – 3***)* после открывания клапанов характеризуется уменьшением давления (уменьшается необходимый перепад давлений) и затем некоторым его возрастанием до p_2, в связи с увеличением скорости поршня и, следовательно, скорости газа. Максимальное значение давления соответствует максимуму скорости поршня в его среднем положении. При дальнейшем движении поршня скорость его снижается и уменьшается постепенно давление, пока в точке **3** оно не станет равным давлению в напорном трубопроводе p_3. Скорость поршня в этой точке равна нулю.

Процесс расширения газа, заключенного во вредном пространстве (линия **3 – 4***)*, происходит в общем случае по политропе, в связи с чем его объем v_4 при давлении p_1 в приемном трубопроводе больше объема v_0 вредного пространства $v_4 > v_0$.

Процесс всасывания (линия **4 – 1***)* начинается при давлении p_4, которое ниже давления p_1 в приемном трубопроводе, в связи с необходимостью иметь перепад давлений $\Delta p_в = p_4 - p_1$ на преодоление сопротивлений и инерции всасывающего клапана (аналогично, как и для случая нагнетания). Давление при всасывании изменяется дальше по кривой, имеющей минимальное давление p'_1, соответствующее максимуму скорости поршня и газа. Из-за наличия сопротивлений во всасывающих каналах давление p''_1 в конце всасывания (после остановки поршня в крайнем правом положении и закрывании всасывающего клапана) будет ниже давления во всасывающем трубопроводе p_1.

6.4. Многоступенчатое сжатие

Степень повышения давления (отношение $p_к/p_н$) воздуха (газа) в одной ступени компрессора ограничивается конечной температурой сжатого воздуха, возможностями передачи энергии воздушному потоку ра-

бочим колесом в турбокомпрессорах, требованиями экономичности и другими факторами. Согласно Правилам безопасности для угольных и сланцевых шахт, во избежание взрыва конечная температура сжатого воздуха не должна превышать 170˚С [1, 7].

Степень повышения давления в одной ступени объемных компрессоров обычно не превышает 5, а у центробежных компрессоров ε = 1,3 – 1,5, и компрессоры выполняются многоступенчатыми. Шахтные объемные компрессоры с конечным давлением до 0,9 МПа изготовляются двухступенчатыми, а центробежные турбокомпрессоры шестиступенчатыми.

Поскольку наиболее экономичным является изотермический процесс, при работе шахтных и других компрессоров применяется их охлаждение. Хотя в реальных компрессорах не представляется возможным осуществить изотермический процесс сжатия, охлаждение способствует снижению потребляемой мощности. Применяются следующие способы охлаждения сжимаемого воздуха (газа): в промежуточных и концевых холодильниках впрыскиванием в зону сжатия охлаждающей жидкости (воды, масла), за счет испарения которой при впрыскивании снижается температура сжимаемого газа; охлаждение поверхностей рабочих органов компрессоров с помощью охлаждающих рубашек [1, 7, 15].

Процесс многоступенчатого сжатия показан на диаграммах в координатах $p - v$ и $T - S$ (рис. 6.3) [1].

При одноступенчатом сжатии без охлаждения сжатие осуществляется по политропе **1 – 2' – 3'**. При этом по сравнению с изотермическим сжатием дополнительно затрачивается работа, эквивалентная площади, заключенной между кривыми **1 – 2 – 3**, (изотермой) и **1 – 2' – 3'** (политропой).

При многоступенчатом компрессоре с промежуточным охлаждением газа процесс будет протекать по ступенчатой линии **1 – 2' – 2 – 3" – 3**, и будет приближаться к идеальному изотермическому тем ближе, чем большее число ступеней будет иметь компрессор.

Следует отметить, что для идеального многоступенчатого компрессора принимают, что показатели политропы для всех ступеней сжатия одинаковы и охлаждение газа в промежуточном холодильнике после каждой ступени производится до температуры всасывания в первую ступень.

При таких допущениях процесс сжатия в первой ступени изобразится отрезком политропы **1 – 2'**, параметры газа с p_1, T_1 изменятся до p_2, T_2, а его v_1 уменьшится до v'_2. После сжатия воздух поступает в про-

межуточный холодильник, процесс охлаждения газа в котором изобразится отрезком изобары **2'** – **2**. При этом точка **2** находится на изотерме T_1=*const*, а обьем уменьшается дополнительно до v_2. От точки **2** сжатие продолжается во второй ступени по политропе **2** – **3"** и т. д., в результате полный процесс сжатия идет по линии **1** – **2'**- **2** – **3"**- **3** – **4"**. Заштрихованная площадь **2** – **2'**- **3'**- **3"** эквивалентна работе, сэкономленной в двухступенчатом компрессоре при наличии промежуточного охлаждения. Площадь S_2' – **2'**- **2** – S_2 под изобарой **2** – **2'** эквивалентна отведенному промежуточным холодильником количеству теплоты после первой ступени.

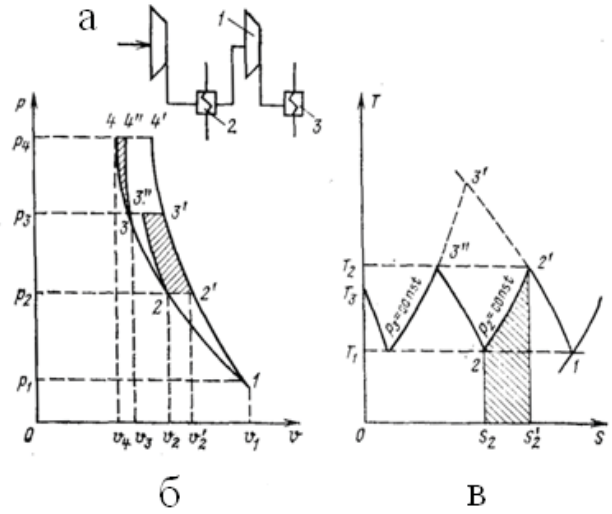


Рис.6.3. Схема компрессора с промежуточными холодильниками и диаграммы многоступенчатого сжатия

При постоянном показателе политропы для ступеней удельная работа, затраченная в двухступенчатом компрессоре, составляет

$$l = l_1 + l_2 = \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] + \frac{n}{n-1} p_2 v_2 \left[\left(\frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right].$$

Аналогично определяется удельная работа и для компрессора с z ступенями сжатия. При одинаковых ступенях сжатия

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 ... = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_2} = \frac{p_4}{p_3} = ... = \varepsilon_i$$

удельные работы на сжатие в каждой ступени одинаковы – $l_1 = l_2 = l_3 = ... = l_i$, выражение для удельной работы l_Z, затрачиваемой в многоступенчатом компрессоре, будет иметь вид

$$l_Z = \frac{zn}{n-1} p_1 v_1 \left[(\varepsilon_1)^{\frac{n-1}{zn}} - 1 \right].$$

Температура воздуха (газа) в конце сжатия

$$T_К = T_Н (\varepsilon_i)^{\frac{n-1}{nz}} .$$

Принятое распределение давлений $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = ... = \varepsilon_i$ по ступеням в многоступенчатом компрессоре является наивыгоднейшим по условию обеспечения минимальной работы сжатия. Степень повышения давления в одной ступени компрессора определяется выражением

$$\varepsilon_i = \sqrt[z]{\varepsilon} ,$$

где $\varepsilon = p_к / p_н$ – степень повышения давления в компрессоре с z ступенями сжатия.

Коэффициенты полезного действия компрессоров

Полный или эффективный, к.п.д. компрессора равен

$$\eta_{эф} = \eta_{вн} \cdot \eta_{об} \cdot \eta_м .$$

Внутренний к.п.д. $\eta_{вн}$ характеризует совершенство процесса передачи газу энергии рабочими органами компрессоров по отношению к теоретическим процессам

$$\eta_{вн} = l_{пз} / l_{вн},$$

где $l_{пз}$ – полезно затраченная работа; $l_{вн}$ – энергия, подводимая непосредственно к рабочим органам компрессора.

Объемный к.п.д. $\eta_{об}$, которым учитываются потери энергии в связи с протечками сжатого воздуха,

$$\eta_{об} = \frac{Q_т - Q_{ут}}{Q_т} = (1 - \frac{Q_{ут}}{Q_т}) ,$$

где $Q_{ут}$ – величина утечек, м^3/с.

Механический к.п.д. $\eta_м$ характеризует потери энергии в приводе рабочих органов компрессора

$$\eta_м = \frac{l_{вн}}{l_{пр}},$$

где $l_{пр}$ – удельная энергия, подводимая к валу компрессора.

Объемный к.п.д. для лопаточных компрессоров высок: $\eta_{об} \approx 0{,}99$, и его обычно не учитывают. Для объемных, в частности поршневых, компрессоров он ниже, и его необходимо принимать во внимание. Механический к.п.д. $\eta_м$ определяется обычными методами, известными из механики машин.

Рассмотрим более подробно внутренний к.п.д. $\eta_{вн}$ компрессоров. В отличие от насосов и вентиляторов, его не представляется возможным оценить как отношение полезного напора к затраченному, т. е. как отношение сообщенной газу энергии ко всей подведенной. Этот парадоксальный, на первый взгляд, факт объясняется невозможностью выделить полезно затраченную энергию при охлаждении (отводе теплоты) компрессоров. Это наглядно видно, например, в случае изотермического процесса сжатия, при котором вся переданная газу работа преобразуется в теплоту, отводимую во внешнюю среду. К.п.д. компрессора с таким процессом должен был бы равняться нулю. На самом же деле, как отмечалось уже выше, изотермический процесс сжатия газа – самый выгодный по затратам энергии, поэтому теплота, отведенная при охлаждении, не может считаться бесполезно затраченной. Поэтому совершенство компрессорных процессов принято оценивать при помощи относительных термодинамических к.п.д. – изотермического $\eta_{из}$ (для охлаждаемых компрессоров), изоэнтропического (обратимого адиабатного) $\eta_{из}$ (для неохлаждаемых)

$$\eta_{из} = \frac{l_{из}}{l_{вн}} \qquad \eta = \frac{l_{иэ}}{l_{вн}}.$$

В этих процессах к.п.д. принимается условно в качестве полезной работы, затрачиваемой в идеальном компрессоре соответственно при изотермическом и изоэнтропическом или обратимом адиабатном (поэтому этот к.п.д. называют также адиабатным).

Изотермический к.п.д. применяется для оценки совершенства внутренних процессов компрессоров с интенсивным водяным охлаждением (поршневых и роторных), изоэнтропический к.п.д. – для оценки неохлаждаемых компрессоров (центробежных и осевых).

С помощью изотермического и изоэнтропического к.п.д. производится сравнительная оценка совершенства действительного и идеального компрессоров (идеальный принят за эталон).

Ориентировочно для одноступенчатого поршневого компрессора $\eta_{из} = 0,5 – 0,8$; $\eta_{из} = 0,85$, для одной ступени центробежного компрессора $\eta_{из} = 0,5 – 0,7$, $\eta_{из} = 0,75 – 0,80$.

Мощность на валу компрессора определяется по одному из процессов сжатия – изотермическому или изоэнтропическому (адиабатному).

Номинальную мощность двигателя компрессора принимают на 10 – 20 % выше расчетной из-за возможного отклонения действительного режима работы от расчетного в связи с загрязнением холодильника, неплотностью клапанов и т. п.

6.5. Регулирование производительности и давления компрессоров

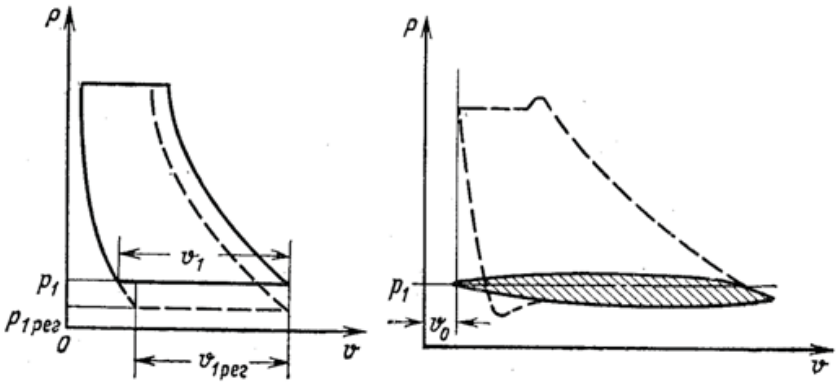
Регулирование производительности компрессоров приходится осуществлять в связи с переменным расходом сжатого воздуха в сети.

Кратковременное несоответствие расхода и производительности компрессоров (компрессора) компенсируется воздухосборником, устанавливаемым на компрессорной станции при использовании поршневых компрессоров, и емкостью пневматической сети. В других случаях регулирование осуществляется специальными системами регулирования, которые должны обеспечивать плавность изменения производительности и экономичность регулирования [1].

Регулирование производительности может осуществляться периодически прекращением подачи воздуха в сеть, ступенчатым и плавным изменением производительности. Периодическое прекращение подачи может производиться остановкой компрессоров. Ступенчатое регулирование производительности компрессорной станции эффективно производить изменением числа одновременно работающих компрессоров. Плавное регулирование может осуществляться следующими способами:

1. Регулирование изменением частоты вращения привода наиболее экономично с точки зрения затрат энергии на сжатие. Однако из-за большой сложности регулируемого электрического привода этот способ не нашел пока практического применения на поршневых компрессорах, применяемых в горной промышленности.

2. Регулирование дросселированием на линии всасывания, т. е. увеличение сопротивления (частичным перекрытием) всасывающего трубопровода, обеспечивает понижение давления во всасывающей полости цилиндра компрессора с p_1 до $p_{1рег}$. Это приводит к уменьшению количества поступающего воздуха (газа) в цилиндр за один ход поршня с v_1 до $v_{1рег}$ (рис. 6.4, ***а***). При этом увеличиваются степень повышения давления воздуха и его конечная температура, что недопустимо для шахтных компрессоров. Регулирование дросселированием всасывания не получило распространения.



а б

Рис. 6.4. Индикаторные диаграммы при регулировании дросселированием на всасывании (а) и отжимом всасывающих клапанов (б)

3. Регулирование перепуском воздуха (газа) с нагнетания на всасывание с помощью, например, байпасного трубопровода обеспечивает изменение производительности компрессора и при нулевой производительности получение холостого хода. Способ регулирования неэкономичен и может приводить к повышению температуры.

4. Регулирование отжимом всасывающих клапанов основано на том, что при сжатии часть сжимаемого воздуха при неполном (негерметичном) закрывании всасывающих клапанов выталкивается обратно во всасывающий трубопровод. Для регулирования этим способом всасывающие клапаны снабжаются специальным устройством, отжимающим пластины клапанов при сжатии.

Индикаторная диаграмма цилиндра с регулирующим устройством для отжима пластин клапанов приведена на рис. 6.4, ***б,*** ее площадь заштрихована. На том же рисунке пунктиром показана для сравнения индикаторная диаграмма при выключенном устройстве или его отсутствии.

5. Регулирование воздействием на всасывающие клапаны является простым и распространенным способом снижения производительности поршневых компрессоров общего назначения.

Недостатком способа являются затраты энергии при холостом ходе компрессора, которые составляют около 15 % мощности, потребляемой компрессором при полной нагрузке.

6. Регулирование включением дополнительных вредных пространств позволяет снизить производительность за счет уменьшения количества всасываемого воздуха (газа). Сжатый при нагнетании воздух (газ), заключенный в дополнительном вредном пространстве, во время всасывания частично заполняет рабочее пространство цилиндра, уменьшая соответственно производительность компрессора.

По экономичности этот способ регулирования равноценен регулированию отжимом пластин всасывающего клапана.

Последние три способа применяются для регулирования производительности поршневых компрессоров на горных предприятиях.

6.6. Ротационные и лопастные компрессоры

Классификация компрессоров

Ротационными называются компрессорные машины с вращательным движением поршня. К ним относится большая группа компрессоров, у которых рабочим органом являются один или два ротора. Процесс сжатия газа в таких компрессорах протекает в непрерывно уменьшающемся замкнутом объеме, заключенном между вращающимся ротором и корпусом или между двумя роторами. Они относятся к машинам объемного типа и по принципу сжатия газа не отличаются от поршневых.

Различают винтовые компрессоры, ротационно-пластинчатые, водокольцевые и двухроторные.

Преимущества ротационных компрессоров: компактность при относительно высоких производительностях, отсутствие рабочих клапанов, равномерность подачи и динамическая уравновешенность.

Их недостатком является ограниченность конечного давления.

Принцип действия и устройство винтовых компрессоров

Различают два типа винтовых компрессоров: сухого сжатия, которые сжимают воздух (газ), не загрязненный маслом, и маслозаполненные, в полость сжатия которых в больших количествах впрыскивается масло (масса масла в 6 – 8 раз превышает массу сжимаемого воздуха), охлаждающее сжимаемый воздух (газ) и уплотняющее зазоры между рабочими органами.

Винтовые компрессоры относятся к группе объемных машин, у которых воздух сжимается за счет уменьшения его объема в рабочей полости, образованной зубьями и впадинами двух параллельно расположенных винтов-роторов, при вращении не соприкасающихся между собой и с корпусом компрессора. Воздух из всасывающего патрубка поступает в винтовые каналы между роторами и корпусом; после поворота роторов на некоторый угол две впадины соединяются между собой, образуя парную впадину. Попавший в это пространство воздух изолируется от всасывающего патрубка, а затем сжимается при постепенном заполнении зубьями одного ротора впадин другого. Сжатие продолжается до тех пор, пока непрерывно уменьшающийся объем парной полости со сжатым воздухом не подойдет к кромке окна нагнетания, т. е. до соединения заполненной сжатым воздухом полости с выхлопным окном. Сжатие заканчивается, далее происходит выталкивание сжатого воздуха.

Роторы имеют форму винтов с большим углом подъема и, как правило, разным числом зубьев (например, четыре – на ведущем и шесть – на ведомом). Частота вращения ведущего ***2*** ротора выше, чем ведомого ***3*** (обратно пропорционально числу зубьев). Ведущий ротор имеет выпуклые зубья, а ведомый – вогнутые (рис. 6.5) [1].

Роторы вращаются в подшипниках скольжения или качения и имеют шестерни, благодаря которым осуществляется их жесткая кинематическая связь.

Между роторами обеспечивается необходимый зазор, исключающий непосредственный контакт между их винтовыми поверхностями и уменьшающий их износ.

На торцах винтовой части роторов, а также на наружном диаметре, предусмотрены уплотнительные усики, выполненные за одно целое с роторами или зачеканенные в профрезерованные узкие канавки.

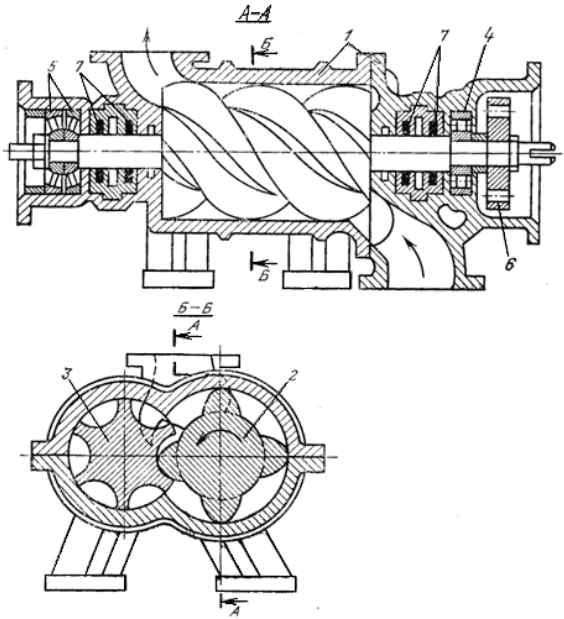


Рис. 6.5. Схема винтового компрессора:
1 – корпус; ***2*** – ведущий ротор; ***3*** – ведомый ротор;
4 и ***5*** – подшипники роторов; ***6*** – шестерня, ***7*** – уплотнения

Рабочий процесс винтового компрессора и его производительность

Рабочий процесс в винтовом компрессоре аналогичен рабочему процессу поршневого (всасывание, сжатие и нагнетание). Особенностью его является постоянная величина конечного давления $p_к$ независимо от давления $p_с$ в нагнетательном трубопроводе. Индикаторная диаграмма несколько отличается от диаграммы поршневого компрессора. При работе винтового компрессора в расчетном режиме $p_к = p_с$ и диаграмма аналогична теоретической диаграмме поршневого компрессора, не имеющего практически вредного пространства $p_к > p_с$, давление газа при выходе его из компрессора уменьшается. При $p_к < p_с$ давление сжатого газа на выходе из компрессора резко возрастает. В нерасчетных режимах дополнительные затраты мощности увеличиваются. Дополнительные затраты энергии на сжатие определяются заштрихованными площадками диаграмм.

Процесс сжатия в винтовых компрессорах из-за большой частоты вращения ротора происходит за короткий промежуток времени < 0,01 с, и теплообмен между стенками компрессора и сжимаемым воздухом практически не успевает произойти.

Принцип действия и устройство центробежных компрессоров

По принципу действия центробежные компрессоры аналогичны центробежным вентиляторам и насосам. Сжатие воздуха (газа) осуществляется аэродинамическими силами, возникающими при взаимодействии лопаток вращающегося рабочего колеса с потоком воздуха (газа).

Поскольку степень повышения давления в одном рабочем колесе (в одной ступени) невелика, на горных предприятиях применяются многоступенчатые компрессоры, состоящие из нескольких ступеней, в которых воздух сжимается последовательно. При этом поток воздуха из предыдущей в последующую ступень может поступать непосредственно или проходя через промежуточный холодильник и охлаждаясь в нем. Ступень, из которой поток поступает в промежуточный холодильник или в пневматическую сеть, называют концевой.

К рабочему колесу воздух (газ) подводится через входное устройство, которое должно обеспечивать равномерное распределение скорости потока по его сечению. Для этого входное устройство выполняется тщательно спрофилированным и с конфузорным характером течения потока. Скорость входа потока в рабочие колеса современных центробежных компрессоров достигает 100-150 м/с и более. Увеличение скорости благоприятно сказывается на равномерности потока и позволяет уменьшать габариты компрессора.

Для предварительного закручивания потока перед рабочим колесом входные устройства некоторых компрессоров, например фреоновых, снабжаются лопастным направляющим аппаратом, аналогичным направляющим аппаратам вентиляторов.

Из рабочего колеса ***1*** поток сжатого воздуха (газа), абсолютная скорость которого достигает 500 – 600 м/с, попадает обычно в кольцевой безлопаточный диффузор ***2*** и далее в диффузор ***3*** (рис. 6.6) [1].

Диффузор ***2*** представляет собой кольцевое пространство небольшой радиальной протяженности и служит в основном для выравнивания поля скоростей потока, выходящего из рабочего колеса. Диффузор ***3*** может быть выполнен лопаточным или реже канальным. Он предназначен для преобразования кинетической энергии в потенциальную.

Процесс преобразования в нем происходит с большей эффективностью, чем в безлопаточном диффузоре.

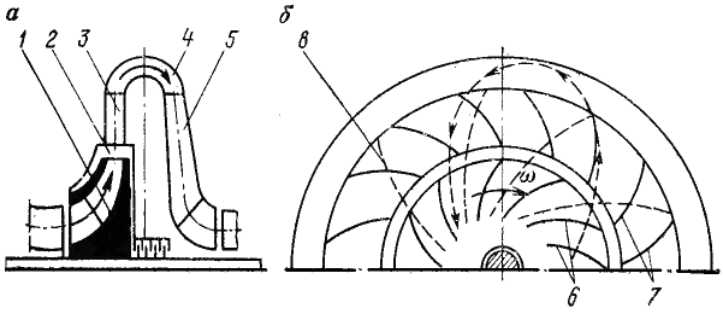


Рис. 6.6. Схемы промежуточной секции центробежного компрессора и ее разрез по линии тока газа:
1 – рабочее колесо; ***2*** и ***3*** – безлопаточный кольцевой и лопаточный диффузоры;
4 – колено; ***5*** – обратный лопаточный направляющий аппарат;
6 – лопатки рабочего колеса; ***7*** и ***8*** – лопатки диффузора ***3*** и обратного направляющего аппарата ***5*** соответственно

Из лопаточного диффузора ***3*** промежуточной секции компрессора поток поступает по колену ***4*** в обратный направляющий лопаточный аппарат ***5***, который одновременно играет роль и диффузора, дополнительно преобразующего кинетическую энергию в потенциальную.

Из лопаточного диффузора ***3*** концевой секции компрессора поток поступает в выходное устройство – спиральную камеру (улитку) и далее в концевой диффузор.

По сравнению с поршневыми центробежные компрессоры имеют следующие преимущества: большую компактность (меньшие габариты и массу компрессора и фундамента); отсутствие масс с возвратно-поступательным движением, а также всасывающих и нагнетательных клапанов (имеется обратный клапан); большую частоту вращения приводного вала и высокую производительность компрессора (обычно более 100 м^3/мин); равномерность подачи сжатого воздуха; безопасность работы в связи с отсутствием примесей смазочного масла в сжатом воздухе; малый расход смазочного масла; возможность прямого соединения с быстроходной турбиной или электродвигателем; более дешевое обслуживание.

Недостатки центробежных компрессоров: трудность и даже невозможность изготовления компрессоров малой производительности; несколько меньший к.п.д. самого компрессора; ограниченность степени сжатия и трудность получения высоких давлений (для горных предприятий, где в основном требуются небольшие давления, этот недостаток не существенен); возможность устойчивой работы в определенных границах производительностей и, как у всех турбомашин, более сложная параллельная работа; невозможность частых включений и выключений компрессора.

Центробежные компрессоры предпочтительнее при больших производительностях компрессорных станций (200 м^3/мин и более).

6.7. Компрессорные станции. Вспомогательное оборудование компрессорных станций

Компрессорной станцией называется совокупность нескольких компрессорных установок, работающих на общую пневматическую сеть.

Компрессорная установка включает компрессор, его привод, вспомогательное оборудование, а также средства контроля и автоматизации.

Компрессорные станции, кроме компрессорных установок, снабжаются вспомогательным оборудованием: всасывающими фильтрами, концевыми охладителями, воздухосборниками (при использовании поршневых компрессоров), глушителями шума, насосами и др.

Здание компрессорной станции имеет машинный зал и другие помещения, например, для электрических распределительных устройств, насосов системы охлаждении, хранения смазочных материалов и т. д. Компрессоры располагаются в машинном зале в один ряд с проходами между ними не менее 1,5 м. Вспомогательное оборудование на крупных компрессорных станциях размещается в подвальных помещениях. Воздухосборники и фильтры для приема воздуха обычно выносятся за пределы здания [7].

Компрессорные установки соединяются воздухопроводами, снабженными контрольно-измерительными приборами, запорной и предохранительной арматурой. На рис. 6.1 приведена примерная схема компрессорной установки с поршневыми компрессорами.

Основными параметрами компрессорной станции являются производительность и рабочее давление сжатого воздуха. Эти параметры являются исходными при выборе типа и числа компрессоров.

Вспомогательное оборудование компрессорных станций и установок

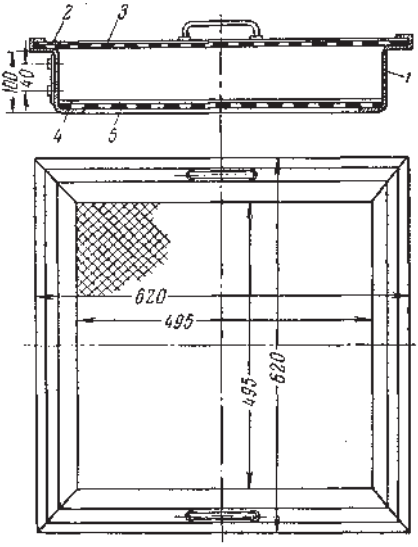


Рис. 6.7. Схема фильтра для очистки всасываемого воздуха:
1 – корпус; ***2, 4*** – рамки; ***3, 5*** – сетки

Всасывающие фильтры служат для очистки всасываемого компрессором воздуха от пыли и других механических примесей. Фильтры устанавливаются индивидуально на каждую компрессорную установку или для группы установок. Для поршневых компрессоров предпочтительнее установка групповых фильтров, так как на работе фильтра меньше сказывается пульсация и возможно осуществить наддув воздуха в компрессоры вентилятором (рис. 6.7) [5].

Конструктивно фильтр состоит из нескольких кассет, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда, передняя и задняя грани которого выполнены из металлической сетки.

Очистка воздуха в фильтрах происходит следующим образом: проходя через заполнитель, воздушный поток многократно изменяет направление; под действием центробежной силы движущиеся по криволинейной траектории частицы пыли прижимаются к смоченной поверхности и прилипают к ней.

Охладители воздуха и масла представляют собой модификации конструкции холодильников двух типов: кожухотрубных холодильников, в межтрубном пространстве которых движется охлаждаемый воздух или масло системы смазки, а по трубкам – охлаждающая вода из холодильников труба в трубе, в которых воздух проходит по внутренней трубе, а охлаждающая вода – по кольцевому пространству между внутренней и наружной трубами.

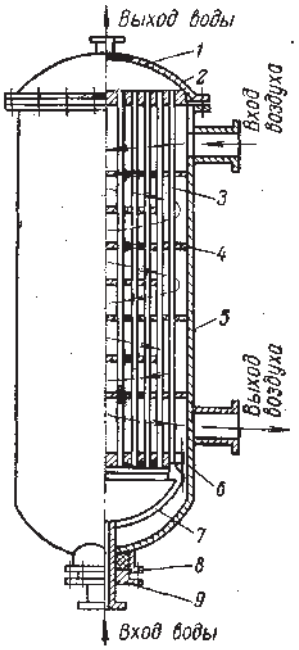


Рис. 6.8. Схема промежуточного холодильника:
1 – верхняя крышка;
2 – верхняя трубная плита;
3 – трубка; ***4*** – перегородка;
5 – кожух; ***6*** – нижняя трубная плита; ***7*** – нижняя крышка;
8 – сальниковая втулка;
9 – сальниковая крышка

Воздушные холодильники по месту их установки делятся на промежуточные (рис. 6.8), устанавливаемые между ступенями компрессора, и концевые, располагаемые после компрессора.

Концевые воздушные холодильники устанавливаются на стационарных компрессорных станциях при температуре сжатого воздуха на выходе из последней ступени свыше 170 ˚С. Концевые охладители устанавливаются для стационарных поршневых компрессоров при производительности $Q > 10$ м^3/мин. На турбокомпрессорах они предусматриваются в отдельных случаях [1, 5, 15].

При охлаждении сжатого воздуха происходят конденсация и выделение в капельном состоянии воды и масла. Выпадение конденсата в коммуникациях компрессора и трубопровода увеличивает интенсивность окисления нагара, уменьшает проходные сечения трубопроводов, может создать пробки в холодное время года, возможно также частичное и полное обмерзание трубопроводов. Для предотвращения этого конденсат выделяется из сжатого воздуха в специальных аппаратах – масловлагоотделителях.

В масловлагоотделителях поток воздуха имеет ряд поворотов и резких изменений сечения, что способствует со-

биранию жидких частиц в крупные капли. Под действием центробежной силы на криволинейных участках траектории капли прижимаются к стенкам, по которым стекают в нижнюю часть аппарата и с помощью спускных кранов периодически удаляются из сети.

Масловлагоотделитель обычно устанавливается непосредственно после *II* ступени компрессора. При открытой разработке месторождений полезных ископаемых обязательна установка масловлагоотделителя на участке с температурой сжатого воздуха, приближающейся к 0°С.

На рис. 6.9. приведена схема масловлагоотделителя с отбойной доской, широко применяемого в компрессорных станциях горных предприятий [5].

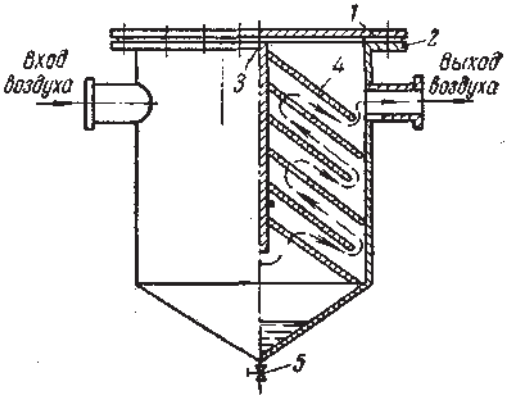


Рис. 6.9. Схема масловлагоотделителя:
1 – крышка; ***2*** – корпус; ***3*** – отбойная доска; ***4*** – перегородка;
5 – продувочный вентиль

Воздухосборник представляет собой клепаный или сварной сосуд заводского изготовления. Воздухосборник относится к сосудам, работающим под давлением, поэтому их освидетельствование и надзор за ними осуществляются инспекцией Ростехнадзора, а эксплуатация должна производиться строго в соответствии с правилами этой организации (рис. 6.10) [5].

Воздухосборник имеет несколько назначений:

1) аккумулировать запас сжатого воздуха при недогрузках компрессора и отдавать его в сеть по мере надобности, предотвращая колебания из-за неравномерности потребления воздуха;

2) сглаживать пульсации давления, вызванные характером работы поршневого компрессора; смягчение пульсации давления улучшает условия работы потребителей и снижает потери давления в сети;

3) служить емкостью для сбора конденсата и некоторого охлаждения воздуха.

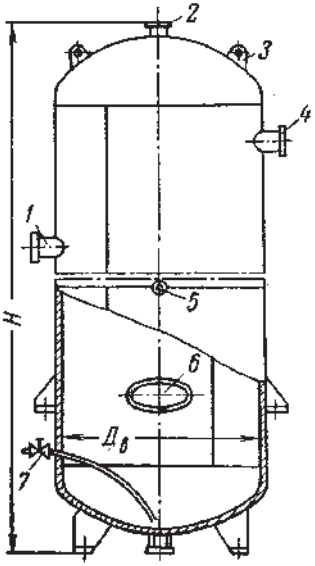


Рис. 6.10. Схема воздухосборника:
1 и ***4*** – фланец воздухопровода;
3 – проушины для монтажа воздухосборника;
5 – фланец для манометра;
6 – лаз с крышкой;
7 – продувочный вентиль

Практически в силу незначительности объема воздухосборника, по сравнению с объемом воздухопроводной сети, его влияние как аккумулятора и демпфера мало ощутимо – воздухопроводная сеть без воздухосборника эффективно выполняет его первую и вторую функции.

Между тем воздухосборник является наиболее опасным элементом пневматической установки, так как в нем при высокой температуре сосредоточены большие количества нагара; взрыв воздухосборника обладает большой разрушительной силой ввиду сосредоточения большого объема сжатого воздуха.

В настоящее время имеются предложения устранить на пневматических установках воздухосборники, заменив их комбинированным масловлагоотделителем и холодильником.

На каждый воздухосборник заводится техническая документация – паспорт и шнуровая книга, в которых приведены данные завода-изготовителя и сведения эксплуатационного характера об осмотрах, ревизиях, испытаниях и ремонтах [7].

Перед пуском в эксплуатацию и в дальнейшем через каждые 8 лет воздухосборник подвергается гидравлическому испытанию при давлении, в 1,5 раза превышающем рабочее. Ежегодно воздухосборник испытывается на герметичность; потеря давления в отключенном возду-

хосборнике за 1 ч не должна превышать 0,5 % при $V_в$ =1 – 3 м^3 и 0,25% при $V_в$ > 3 м^3 от первоначальной величины [7].

Дважды в год внутренняя поверхность воздухосборника осматривается и очищается от нагара и прочих наслоений, одновременно очищается и промывается содовым раствором воздухопровод между компрессором и воздухосборником [7]. Устанавливаются воздухосборники с теневой стороны за капитальной стеной компрессорной станции, в местах наименьшего скопления людей; для меньшего поглощения солнечных лучей их окрашивают светлой краской [7].

Предохранительные клапаны

Предохранительные клапаны являются автоматическими устройствами, ограничивающими повышение давления воздуха в системе. При повышении давления сверх допустимой величины предохранительный клапан должен открываться, выпуская воздух в атмосферу; с восстановлением рабочего давления клапан должен закрыться.

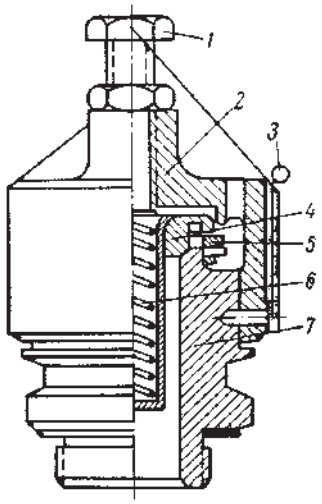


Рис. 6.11. Конструкция пружинного предохранительного клапана:
1 **–** винт для сжатия пружины;
2 – верхняя крышка; ***3*** – пломба;
4 – запорный орган; ***5*** – кольцо;
6 – рабочая пружина; **7** – корпус клапана

По величине подъема закрывающего органа клапаны подразделяются на полноподъемные и неполноподъемные.

Отношение высоты подъема к диаметру отверстия в седле у полноподъемных клапанов 1/4, у неполноподъемных 1/10 – 1/40.

По конструкции механизма, прижимающего запорный орган к седлу, предохранительные клапаны делятся на грузовые и пружинные.

На рис. 6.11 показана конструкция пружинного предохранительного клапана, устанавливаемого на компрессоре 160В-20/8 [5].

По правилам технической эксплуатации предохранительный клапан должен устанавливаться после каждой ступени

сжатия; обычно предохранительные клапаны установлены на промежуточных холодильниках и воздухосборниках.

Однако, если между воздухосборником и компрессором установлена задвижка, то со стороны компрессора до задвижки обязательно должен быть установлен предохранительный клапан; для многоступенчатых компрессоров предохранительные клапаны дублируются.

К устанавливаемому на компрессор клапану предъявляются следующие обязательные требования: проходное сечение клапана в открытом положении должно обеспечить пропуск полной производительности компрессора без дальнейшего повышения давления в системе.

6.8. Номенклатура и конструкция центробежных компрессорных установок

В горной промышленности для сжатия воздуха применяются центробежные турбокомпрессорные установки Хабаровского завода «Энергомаш» – К-500-61-1, К-250-61-1 (снят с производства), К-250-61-2 и Казанского компрессорного завода – ЦК-135/8 и ЦК-115/9. В обозначении: К – компрессор, Ц – центробежный, цифра после букв обозначает производительность компрессора в $м^3$/мин.

Компрессорная установка состоит из собственно турбокомпрессора, промежуточных холодильников, привода с редуктором и системы смазки.

Центробежные турбокомпрессоры выполняются многоступенчатыми и делятся на секции из двух-трех ступеней (рабочих колес) в каждой. Причем колеса одной секции изготовляются одинакового диаметра, а колеса различных секций – разного диаметра. Между ступенями сжатый воздух охлаждается, проходя через промежуточные холодильники.

Рабочие колеса современных центробежных компрессоров закрытого типа, т. е. имеющие передние и задние диски; снабжены лопатками, загнутыми назад с выходным углом 40 – 50°: число лопаток 14 – 28. Такие колеса работают при сравнительно высоких окружных скоростях (200 – 300 м/с) и обеспечивают большие напоры при сравнительно небольших габаритах.

Вал ротора гибкий, т. е. рассчитан таким образом, чтобы его номинальная частота вращения превышала критическую скорость.

Из-за большой частоты вращения ротора в турбокомпрессорах используются подшипники скольжении с залитыми баббитом вкладышами из стали. Смазка подшипников принудительная.

Компрессоры снабжаются внутренними (по покрывным дискам рабочих колес, валу и думмису) и концевыми (по валу) лабиринтными уплотнениями, которые уменьшают перетоки воздуха, газа между ступенями внутри машины, подсос воздуха и его утечки из компрессора.

Компрессоры К-500-61-1, К-500-61-2 и К-250-61-1 имеют аналогичную конструкцию узлов и подобные характеристики. Компрессоры имеют по шесть ступеней сжатия, их рабочие колеса ***1*** объединены в три секции, по два колеса в секции. С помощью диафрагм ***6*** внутренняя камера корпуса делится на ступени давления. Каждая диафрагма снабжена канальным диффузором и обратным направляющим аппаратом.

Осевое усилие, действующее на рабочие колеса ротора, уравновешивается давлением сжатого воздуха на разгрузочный поршень (думмис) ***7***, установленный на валу ***2*** за последним рабочим колесом. Не уравновешенная с помощью думмиса часть осевого усилия воспринимается специальным упорным подшипником ***3***.

Корпус компрессора чугунный, литой, с горизонтальным и вертикальными разъемами.

Компрессоры снабжены принудительной смазкой трущихся частей и автоматическим регулирующим устройством – дроссельной заслонкой во всасывающем трубопроводе, посредством которой поддерживается постоянное давление нагнетания, а также регулятором противопомпажной защиты, обеспечивающей автоматический выпуск в атмосферу избыточного количества воздуха при достижении компрессором критической производительности.

Компрессоры ЦК-135/8 и ЦК-119/9 конструктивно аналогичны и отличаются передаточным отношением редуктора и значениями некоторых параметров. Компрессор типа ЦК представляет собой машину с внешним охлаждением без направляющих аппаратов со спиральным отводом воздуха после каждой ступени и наружным перепуском воздуха из ступени в ступень. Ступени разбиты на две секции – низкого и высокого давления, заключенные в два отдельных корпуса.

В приводах компрессоров применяются повышающие частоту вращения одноступенчатые редукторы с двухвенечными шевронными зубчатыми парами и подшипниками скольжения.

Промежуточные воздухоохладители центробежных компрессоров – кожухотрубного типа. Охлаждаемый сжатый воздух попадает в межтрубное пространство и омывает пучки трубок, по которым циркулирует охлаждающая вода.

7. ПОДЪЕМНЫЕ УСТАНОВКИ

7.1. Шахтные подъемные установки. Назначение и классификация

Подъемные установки шахт (рудников) служат для выдачи на поверхность полезного ископаемого, породы, а также для спуска и подъема людей, оборудования и материалов.

Основные элементы подъемной установки (рис. 7.1): подъемная машина, подъемные сосуды (клети, скипы, бадьи), стальные канаты, загрузочные и разгрузочные устройства (при скиповом подъеме), приемные площадки (при клетевом подъеме), копер с направляющими шкивами и проводники [1].

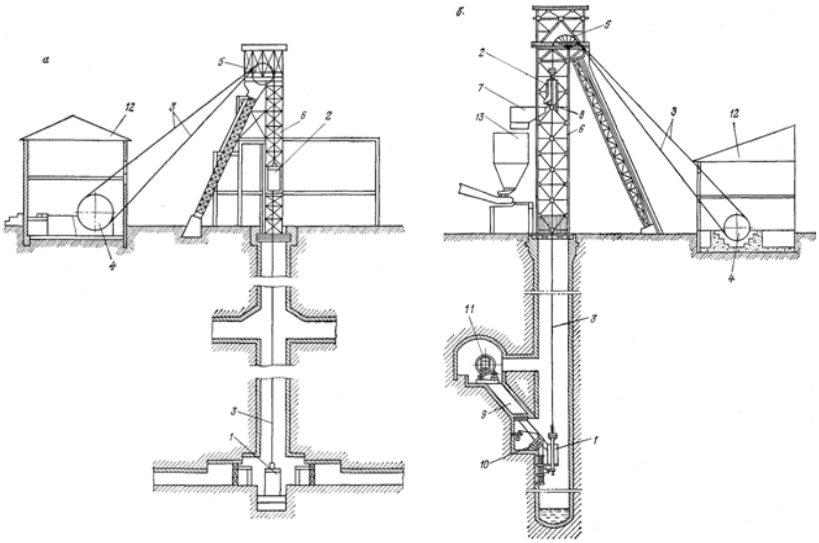


Рис. 7.1. Подъемные установки вертикальных стволов:
а – клетевая; ***б*** – скиповая; ***1*** и ***2*** подъемные сосуды соответственно под загрузкой и разгрузкой; ***3*** – канаты; ***4*** – подъемная машина; ***5*** – направляющие шкивы; ***6*** – копер; ***7*** – приемный бункер; ***8*** – разгрузочные кривые; ***9*** – загрузочный бункер; ***10*** – затвор дозировочного устройства; ***11*** – опрокидыватель вагонеток; ***12*** – здание подъемной машины; ***13*** – бункер

Подъемные сосуды перемещаются в стволе канатами, которые навиваются и свиваются с органов навивки подъемных машин установок. Сосуды движутся по проводникам, представляющим собой направляющие, уложенные по всей длине ствола.

При работе подъемных установок, оборудованных клетями (рис. 7.1, ***а***), груз поднимается в вагонетках, которые заталкиваются механическими толкателями в клеть на нижней приемной площадке околоствольного двора. Вагонетки в клети поднимаются на верхнюю приемную площадку надшахтного здания, расположенную выше устья ствола, и выталкиваются из ее опрокидной клети чаще всего порожними вагонетками, спускаемыми в шахту. Порожние вагонетки обычно выталкиваются груженными при их заталкивании в клеть.

Разгрузка опрокидных клетей на верхней приемной площадке производится без выталкивания вагонеток, а опрокидыванием платформы клети вместе с вагонеткой. Загрузка же опрокидных клетей в околоствольном дворе осуществляется так же, как и не опрокидных.

Для совмещения уровней рельсов в клети с рельсами откаточных путей на приемных площадках в околоствольных дворах и в надшахтных зданиях служат посадочные устройства для клетей двух видов: посадочные кулачки и качающиеся площадки. При подъеме груза скипами (рис. 7.1, ***б***) груженая вагонетка входит в опрокидыватель ***11*** околоствольного двора, опрокидывается и разгружается в бункер ***9***, из которого полезное ископаемое или порода через загрузочное устройство поступает в скип ***1***.

Загрузочные устройства скипов снабжаются оборудованием для дозировки груза, загружаемого в скип. Дозировка производится по объему или массе груза. Загрузочные устройства обеспечивают также герметизацию ствола для предотвращения попадания в него пыли и подсоса воздуха через грузовой ствол.

Поднятый на поверхность груженый скип ***2*** разгружается в приемный бункер *7*. Загрузка одного из подъемных сосудов в шахте и разгрузка другого на поверхности осуществляются одновременно.

Подъем в скипах, по сравнению с подъемом в клетях или вагонетках, требует меньшей продолжительности пауз, обеспечивает большую производительность и позволяет уменьшить штат обслуживающего персонала на приемных площадках.

Скиповой и клетевой подъемы применяют для транспортирования грузов по наклонным стволам с углом наклона свыше 25°. При угле на-

клона ствола до 25° полезное ископаемое доставляют обычно в вагонетках, из которых оно не высыпается, или при угле до 18° может быть применен конвейерный транспорт.

Подъемные установки классифицируются по следующим признакам [1]:

- назначению – главные, вспомогательные и проходческие;
- углу наклона ствола – вертикальные и наклонные;
- типу подъемных сосудов – скиповые, клетевые, скипо-клетевые и бадьевые;
- числу сосудов – однососудные и двухсосудные;
- числу подъемных канатов – одноканатные и многоканатные;
- типу органов навивки подъемных канатов – с цилиндрическими барабанами, с барабанами переменного радиуса и со шкивами трения;
- степени уравновешенности подъемной системы – неуравновешенные и уравновешенные.

Главные установки предназначены для выдачи добытого полезного ископаемого и оборудуются для этого скипами. Вспомогательные установки служат для спуска и подъема людей, а также различных грузов (породы, оборудования, материалов) и снабжаются подъемными сосудами – клетями, а для подъема породы – скипами. При этом они могут быть людские, грузовые и грузолюдские. Проходческие установки применяются при проходке и углубке стволов. Они служат для транспортирования грузов и людей и снабжаются подъемными сосудами – бадьями.

Современная шахта оборудуется несколькими (минимум двумя) подъемными установками – главными и вспомогательными.

7.2. Основные схемы подъемных установок

Наиболее простой является одноконцевая подъемная установка, у которой один конец каната крепится к подъемному сосуду (клети или скипу), а другой к органу навивки – барабану подъемной машины. При навивке каната на барабан осуществляется подъем сосуда. Такая подъемная установка имеет маленькую производительность, не уравновешена и обладает другими существенными недостатками.

На современных горных предприятиях применяются подъемные установки, выполненные по следующим схемам.

Установка с одно – или двухбарабанным органом навивки (рис. 7.2, ***а***) снабжается двумя канатами, к концам которых навешиваются два подъемных сосуда (или один сосуд и противовес) [1, 18].

При вращении органа навивки подъемной машины один канат навивается и подвешенный к нему сосуд поднимается по стволу, а другой канат свивается с барабана и подвешенный к нему сосуд опускается. По окончании цикла, когда один сосуд будет поднят и разгружен, а второй опущен и загружен, подъемная машина реверсируется, и сосуды начинают двигаться в противоположном направлении.

Вместо одного из подъемных сосудов может подвешиваться противовес, и подъемная установка будет однососудной с противовесом.

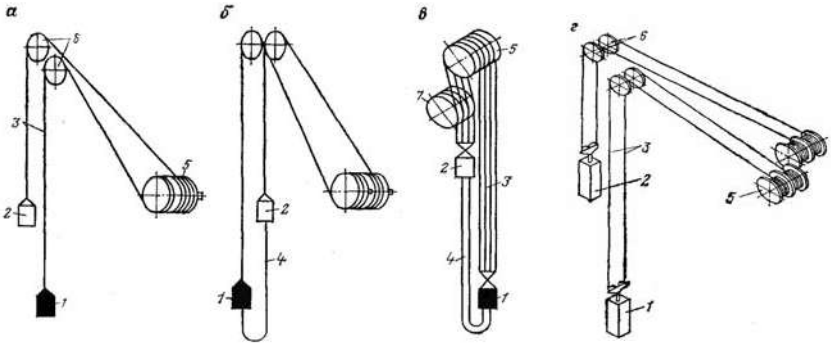


Рис. 7.2. Основные схемы подъемных установок:
1, ***2*** – подъемные сосуды; ***3*** – головные канаты; ***4*** – хвостовой канат;
5 – канатоведущий орган; ***6*** – направляющие шкивы; 7 – отклоняющий шкив

Наличие двух концевых грузов и двух канатов, навиваемых на один или два барабана, приводимых в движение одним приводным валом, обеспечивает уменьшение на него нагрузки за счет уравновешивания масс порожних сосудов.

Для уравновешивания поднимаемых масс канатов в подъемных установках (рис. 7.2, ***б***) часто применяют уравновешивающий канат ***4***, который своими концами подвешивается к днищам сосудов ***1*** и ***2*** (или сосуда и противовеса). Уравновешивающий канат часто называют хвостовым, в отличие от канатов, к которым подвешиваются подъемные сосуды (или противовес) и называющихся головными. Хвостовые канаты не являются несущими. Применение уравновешивающих (хвостовых) канатов оправдано, начиная с глубины подъема 600 м и более.

Подъемные машины установок снабжаются барабанными органами навивки постоянного и переменного радиусов. Органы навивки посто-

янного радиуса – цилиндрические барабаны, переменного радиуса – конические, цилиндрические, бицилиндроконические барабаны и др. (рис. 7.3) [1, 18].

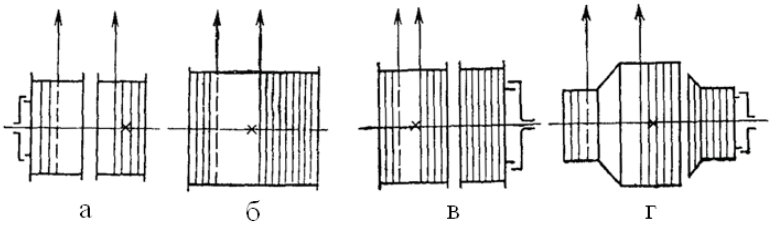


Рис. 7.3. Органы навивки канатов:
а – двухбарабанный; ***б*** – однобарабанный;
в – разрезной барабанный; ***г*** – бицилиндроконический

Навиваясь на барабан, канат перемещается по ширине барабана, и для того, чтобы поддерживать постоянное направление каната в стволе – к центру подъемного сосуда, устанавливают шкивы на копрах. Нормальная работа копровых шкивов обеспечивается при определенном максимальном угле отклонения каната от плоскости шкива, что приводит к необходимости удаления подъемной машины на расстояние от копра, достаточное для обеспечения требуемого максимального угла отклонения.

Подъемные установки, выполненные по рассматриваемой схеме, называются одноканатными и широко применяются на горных предприятиях при подъеме грузов по вертикальным стволам и без уравновешивающего каната – по наклонным стволам.

Подъемная установка со шкивом трения позволяет располагать орган навивки непосредственно над стволом (рис. 7.2, ***в***). Канатоведущий орган представляет собой шкив трения, огибаемый канатами (многоканатные установки) или канатом. При этом канаты не навиваются и не смещаются по ширине шкива. К концам канатов подвешиваются два подъемных сосуда (иногда подъемный сосуд и противовес). Для уравновешивания массы канатов применяются хвостовые (или один плоский) канаты. При вращении шкива сосуды движутся в противоположных направлениях. Чтобы увеличить угол обхвата шкива канатами, применяют отклоняющие шкивы.

Подъемные установки со шкивами трения бывают многоканатными и одноканатными, когда шкив трения огибается одним канатом.

Подъемные установки с одним огибающим канатом получили ограниченное применение. Для таких установок, поскольку нагрузка передается только через один канат, правилами безопасности разрешается принимать диаметр канатоведущего шкива не менее 120 диаметров каната. В связи с этим одноканатная установка отличается большим диаметром шкива трения. Последний располагают как над стволом (зарубежные машины), так и на некотором удалении от него.

Подъемная установка по схеме Блейера состоит из двух органов навивки (каждый с двумя барабанами) и двух канатов, на которых посредством огибающих шкивов подвешиваются два подъемных сосуда (см. рис. 7.2, *г*). Оба конца каждого из канатов крепятся к двум секциям одного барабана или разных барабанов. Канаты навиваются или свиваются одновременно. Таким образом, поднимаемая масса каждого сосуда распределяется на две ветви каната. Схема не уравновешена. Подъемные установки, выполненные по такой схеме, применяются для глубоких шахт и рудников, а также наклонного подъема.

7.3. Основные параметры подъемной установки

Основными исходными параметрами для выбора подъемных установок являются годовая производительность $Q_г$ (т) шахты (или рудника) и ее глубина $H_ш$ (м).

Необходимая часовая производительность $Q_ч$ (т/ч) подъемной установки,

$$Q_ч = \frac{K_р \cdot Q_г}{n \cdot T_{сут}}, \qquad (7.1)$$

где $K_р$ – коэффициент резерва производительности и неравномерности работы подъема; т; n – число рабочих дней в году; $T_{сут}$ – число часов работы подъема в сутки:

$$T_{сут} = n_с\,(t_{см} - 1) \qquad (7.2)$$

$n_с$ – число смен в сутки; $t_{см}$ – продолжительность смены, ч.

Коэффициент неравномерности и резерва $K_р$ производительности принят для скиповых подъемных установок при подъеме: угля 1,5 и руды – 1,15.

Клетевые подъемные установки должны обеспечить спуск-подъем людей (30 % от общего числа работающих под землей) за 35 – 40 мин. При этом принимается, что на 1 м^2 пола клети может поместиться не более 5 человек [7]. Отсюда максимальное число людей, поднимаемых в одной клети:

$$n_{\text{л}} = 5 \cdot z_{\text{э}} \cdot F_{\text{э}} \tag{7.3}$$

где $F_{\text{э}}$ – площадь пола одного этажа клети, м^2; $z_{\text{э}}$ – число этажей клети.

Фактическая производительность скиповой подъемной установки определяется зависимостью, т/ч,

$$Q_{\text{ч}} = \frac{3600}{T} \cdot G_{\text{г}}, \tag{7.4}$$

где T – продолжительность одного цикла подъема, с; $G_{\text{г}}$ – грузоподъемность скипа, т.

Время цикла T складывается из времени движения сосуда $t_{\text{д}}$ и паузы между подъемами θ:

для двухсосудной установки

$$T = t_{\text{д}} + \theta \tag{7.5}$$

для однососудной установки с противовесом

$$T = 2(t_{\text{д}} + \theta) \tag{7.6}$$

Продолжительность паузы зависит от времени загрузки и разгрузки сосудов (см. табл. 7.1). Время пауз регламентируется техническими нормами и принимается для скипового подъема в зависимости от емкости скипа V [1, 7].

Таблица 7.1

Продолжительность паузы от времени загрузки и разгрузки сосудов

V, м^3	до 5	9,5	11	15	20	25	35	55
θ, с	7	10	11	15	20	25	35	45

Продолжительность посадки и высадки людей принимается 1 с на человека.

Продолжительность движения $t_{\text{д}}$ сосуда зависит от средней скорости $v_{\text{ср}}$ и будет соответственно для вертикальных и наклонных подъемов

$$t_{\text{д}} = \frac{H}{v_{\text{ср}}} \quad \text{и} \quad t_{\text{д}} = \frac{L}{v_{\text{ср}}}, \tag{7.7}$$

где L – путь движения сосуда при наклонном подъеме, м.

Средняя скорость определяется скоростью v_{max} движения сосудов в период установившегося движения, которая является для цикла подъема максимальной: $v_{max} = \alpha \cdot v_{ср}$, где α в теории подъема называют множителем скорости и принимают для подъемных установок с неопрокидными клетями 1,15 – 1,2, с неопрокидными скипами 1,2 – 1,25 и с опрокидными сосудами 1,25 – 1,35.

Максимальная скорость движения клети регламентируется ПБ [7] и в угольной промышленности ограничивается следующими значениями: при подъеме и спуске людей по вертикальным стволам – 12 м/с, по наклонным стволам 5 м/с; при подъеме и спуске грузов по наклонным стволам в скипах 7 м/с и в клетях 5 м/с, по вертикальным стволам не ограничивается.

Грузоподъемность $G_{\text{г}}$ сосудов выбирается из условия необходимой производительности и окончательно принимается на основе технико-экономических расчетов вариантов:

$$G_{\text{г}} = \frac{(t_{\text{д}} + \theta) \cdot Q_{\text{ч}}}{3600}. \tag{7.8}$$

$$G_{\text{г.опт}} = Q_{\text{ч}} \cdot \frac{4 \cdot \sqrt{H_{\text{ш}}} + \theta}{3600}, \tag{7.9}$$

Уменьшение грузоподъемности приводит к снижению капитальных затрат на подъемную установку, но возрастают эксплуатационные расходы, в связи с большим числом подъемов, стоимостью электроэнергии, более быстрым износом установки. Поэтому имеется минимум затрат, которому соответствует определенная грузоподъемность сосуда установленная на основе исследований, что существует оптимальная продолжительность движения:

$$t_{\text{д}} = 4\sqrt{H_{\text{ш}}}. \tag{7.10}$$

Из-за изменения величины расходов, с течением времени оптимальное значение грузоподъемности сосудов не остается постоянным. Поэтому выбор грузоподъемности сосуда в настоящее время не может быть произведен в общем случае и требует конкретного технико-экономического обоснования для конкретного горного предприятия.

7.4. Уравнение прочности каната

Уравнение прочности каната одноканатной установки имеет вид:

$$F_{ст} = g\left[m_г + m_с + m_к(H - x) + m'_к x\right] = \frac{\sigma_в}{n} S, \qquad (7.11)$$

где $m_г$ *и* $m_с$ – масса соответственно полезного груза и подъемного сосуда, кг; $m_к$ *и* $m'_к$ – масса соответственно головного и уравновешивающего канатов; $H - x$ и x – длина соответственно отрезков головного и уравновешивающего канатов; S – суммарная площадь сечения проволок в канате, м^2; $\sigma_в$ – временное сопротивление каната разрыву, Па; n – запас прочности каната.

Длина отрезка головного каната между шкивом и сосудом, когда он находится в верхней площадке, и отрезка хвостового каната, когда сосуд находится на нижней приемной площадке, обычно не учитываются ввиду их малости по сравнению с высотой подъема H.

При вертикальном подъеме с уравновешивающим канатом, имеющим массу $m'_к \le m_к$, или без него, максимальное значение статической нагрузки будет в нижнем положении полностью загруженного подъемного сосуда.

При тяжелом уравновешивающем канате $m'_к > m_к$, максимальное $F_{ст}$ будет в верхнем положении груженого сосуда.

Массу $m_к$ (или $m'_к$) каната принято определять по поперечному сечению S (м^2) и его условной плотности ρ_0, кг/м^3:

$$m_к = \rho_0 S \qquad (7.12)$$

Принимают следующие значения ρ_0: 9400 – для канатов при двойной свивке, 9800 – для трехграннопрядных и 8700 – для закрытых.

Получаем зависимости для масс $m_к$ и $m'_к$ в виде:

$$m_к = \frac{m_г + m_с}{\frac{\sigma_в}{n\rho_о g} - H}; \quad m'_к = \frac{m_г + m_с}{\frac{\sigma_в}{n\rho_о g} - \lambda H}, \qquad (7.13)$$

где $\lambda = m'_к / m_к$

В случае многоканатной подъемной машины с числом канатов z

$$m_к = \frac{m_г + m_с}{z \cdot \left(\frac{\sigma}{n \cdot \rho_о \cdot g} - H\right)}. \qquad (7.14)$$

Полученные формулы имеют смысл при длине каната $H_{кр}=\sigma/n\cdot\rho_0\cdot g$. Эта длина каната называется критической. При такой длине выбранного каната и принятых значениях n масса концевого груза равна нулю. Очевидно, что фактическая длина каната должна быть меньше, чтобы подъемная установка могла поднимать концевой груз. Таким образом, прочность каната является одним из факторов, ограничивающих глубину подъема.

Определив $m_к$, по таблицам ГОСТ 7668-80, ГОСТ 7669-80, ГОСТ 3085-80, ГОСТ 10506-76 выбирают канат с ближайшим большим значением массы 1 м и находят его параметры – диаметр и суммарное разрывное усилие проволок $P_с$. Затем проверяют фактический запас прочности выбранного каната.

При глубине более 600 м по ПБ [7] допускается расчет канатов по переменным запасам прочности. Это связано с тем, что более длинные канаты обладают большими демпфирующими свойствами, и в их верхних сечениях динамические нагрузки меньше, чем в коротких канатах. Поэтому при глубине более 600 м могут приниматься меньшие запасы прочности n. Практически выбор канатов для такой глубины производят без учета силы тяжести канатов и по другим запасам прочности n', которые больше по величине указанных выше запасов n. Расчет масс $m_к$ и $m'_к$ канатов ведется по формулам, в которых не учитываются H и λH в знаменателе и принимаются согласно ПБ другие запасы прочности канатов n' (вместо n), значения которых должны быть не менее: 13 – для людских, 10 – для грузолюдских и 8,5 – для грузовых одноканатных подъемных установок, 11,5 и 9,5 – для многоканатных, соответственно, людских и грузовых подъемов.

Запас прочности с учетом массы каната должен быть не менее 4,5- кратного (для грузовых) и не менее 5- кратного (для людских и грузолюдских подъемов)

Расчет канатов для наклонных подъемов ведется с учетом углов наклона стволов.

На работоспособность канатов большое влияние оказывает отношение диаметра органа навивки и диаметра шкивов к диаметру каната. ПБ регламентируется отношение наименьшего диаметра D навивки к диаметру каната $d_к$. Это отношение, в частности, должно быть для одноканатных барабанных и многоканатных установок, без направляющих шкивов не менее 79, а для многоканатных установок с отклоняющим шкивом – 95. Уменьшение отношений $D/d_к$ влечет за собой увеличение напряжений в канатах и более быстрый их выход из строя.

7.5. Расчет и выбор органов навивки подъемных машин

Размер органа навивки обычно выбирается по следующим трем условиям [1, 2, 3, 7, 15, 16]:

1) отношению диаметра барабана к диаметру каната;

2) допускаемым углам отклонения каната на барабане и копровом шкиве (угол девиации);

3) возможной канатоемкости органа навивки.

Первое условие регламентируется ПБ [7], в соответствии с которым отношение наименьшего диаметра навивки $D_б$ к диаметру каната $d_к$ должно быть для барабанов и направляющих шкивов подъемных установок на поверхности не меньше 79, т. е. $D_б \geq 79\ d_к$.

По третьему условию ширина каждого из двух барабанов должна вместить длину каната, равную вертикальной высоте подъема H (м) скипа, длину $l_{пр}$ для взятия проб на испытание и витки трения:

$$B_б = (\frac{H + l_{пр}}{\pi \cdot D_б} + n_{вт} + 1) \cdot (d_к + b_з) \leq B\,, \qquad (7.15)$$

где $l_{пр}$ = 30 – 40 – длина каната для испытания, м.

Второе условие состоит в ограничении угла отклонения каната до 1^0 30’ при цилиндрических барабанах и до 2^0 со стороны малых цилиндров для подъемных машин с бицилиндроконическими барабанами.

Для двухбарабанных подъемных машин ширину барабана B по углам отклонения канатов (рис. 7.4) проверяют по формулам:

$$\text{tg}\alpha_н = \frac{2B + a + S}{2L_с}\,, \qquad (7.16)$$

и

$$\text{tg}\alpha_в = \frac{S - a}{2L_с}\ . \qquad (7.17)$$

При $B > (S - a)$ расчет производится по величине $\alpha_н$, при $B < (S - a)$ – по величине $\alpha_в$.

Таким образом, подъемная машина выбирается на основании следующих расчетных параметров:

- максимального статического натяжения каната;
- наибольшей разности статических натяжений каната;
- диаметра барабана;
- ширины барабана при условии регламентированных углов отклонения каната на шкивах и барабанах.

Для выбранной машины следует выписать ее техническую характеристику. Диаметр направляющего шкива принимается равным диаметру органа навивки.

7.6. Определение основных размеров подъемной установки

Высота копра определяется высотой размещения направляющих шкивов над устьем ствола. Последняя зависит от технологической схемы транспорта полезного ископаемого от ствола, типа подъемного сосуда и схемы размещения шкивов.

Для барабанных подъемных установок высота копра $H_к$ принимается при расположении шкивов:
на одной геометрической оси (рис. 7.4, *а*)

$$H_к = h_0 + h_с + h_{пер} + 0{,}75R_ш \qquad (7.18)$$

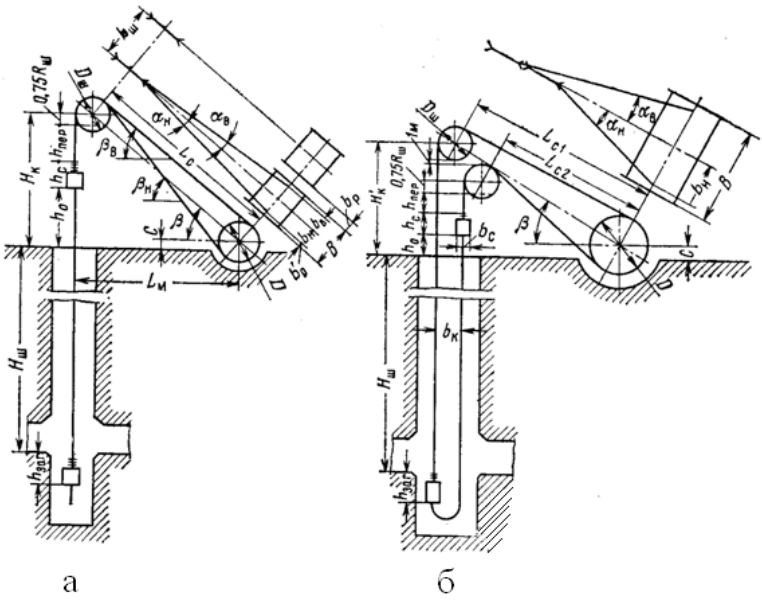


Рис. 7.4. Расположение барабанных подъемных машин относительно ствола шахты при установке копровых шкивов:
а – на одной геометрической оси; ***б*** – в одной вертикальной плоскости

в одной вертикальной плоскости (рис. 7.4, *б*)

$$H_к' = H_к + 2R_ш + 1 \qquad (7.19)$$

где h_0 – высота приемной площадки над уровнем поверхности устья ствола, м; $h_с$ – полная высота подъемного сосуда с учетом прицепного устройства, м; $h_{пер}$ – высота переподъема, принимаемого из условия возможности аварийного торможения (устанавливается нормами ПБ), м; $R_ш$ – радиус шкива, м; $0{,}75R_ш$ – запас высоты во избежание соприкосновения коуша прицепного устройства с ободом шкива, м.

Аналогично определяется высота копра многоканатной подъемной машины (рис. 7.5) [1, 17].

Высота подъема (см. рис. 7.4):

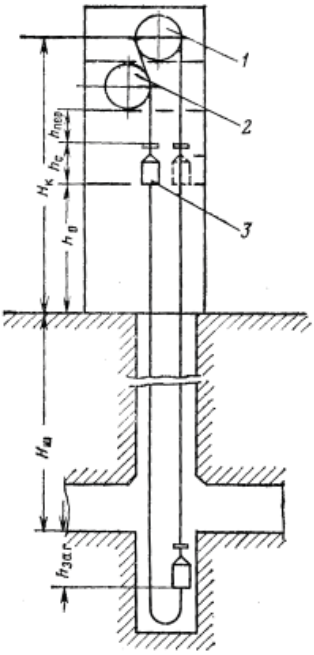


Рис. 7.5. Расположение многоканатной подъемной машины на копре:
1 – канатоведущий шкив;
2 – отклоняющий шкив;
3 – подъемный сосуд

для клетевых установок

$$H = H_ш + h_0 \qquad (7.20)$$

для скиповых установок

$$H = H_ш + h_0 + h_{заг} \qquad (7.21)$$

где $H_ш$ – глубина ствола от поверхности до уровня околоствольного двора, м; $h_{заг}$ – глубина опускания скипа ниже уровня околоствольного двора, в среднем $h_{заг}$ = 10-22 м.

Длина и угол наклона струны. Длина струны $L_с$ каната определяется как расстояние между осями направляющего шкива и барабана подъемной машины. Она равна:

$$L_с = \sqrt{(H_к - C)^2 + (L_м - R_ш)^2}, \qquad (7.22)$$

где $C \sim 1$ м – расстояние от нулевой отметки до оси барабана; $L_м$ – расстояние между отвесами канатов и осью органов навивки.

При расположении шкивов в одной вертикальной плоскости необходимо учесть расстояние между канатами $b_к$ (см. рис. 7.4, *б*), которое за-

висит от ширины подъемных сосудов $b_с$ и расстояния между ними, принимаемого 0,2 м, $b_к = b_с + 0{,}2$.

Расстояние $L_м$ зависит от угла наклона струны β, который рекомендуется принимать в пределах, град

$$30\ ° \leq \beta \leq 45\ °.$$

При больших значениях угла β чрезмерно увеличивается давление копра и его укосины на фундамент, что затрудняет устройство фундамента под укосину. Практически считают, что углы наклона верхней $\beta_в$ и нижней $\beta_н$ струн равны β.

При принятых значениях р расстояние находится в пределах

$$H_к < L_м < 1{,}5H_к.$$

Во избежание больших провесов и колебаний максимальная длина стрелы $L_с$ без поддерживающих роликов не должна превышать 65 м. В тех случаях, когда длина струны достигает 70-120 м, устанавливаются поддерживающие ролики.

Углы отклонения канатов. Отклонение канатов от вертикальной плоскости, проходящей через плоскость направляющего шкива, может быть в двух направлениях: к наружной реборде барабана (месту закрепления каната) и к внутренней его реборде (концу навивки). В связи с этим различают внутренний $\alpha_в$ и наружный $\alpha_н$ углы отклонения (девиации) канатов (см. рис. 7.4). Чтобы избежать износа канатов от трения витка о виток, трения о реборду, а также выскакивания каната из желобков и его навивки на барабан с переменным шагом, ограничивают углы девиации канатов. Согласно ПБ, эти углы не должны превышать 1° 30’ (0,026 рад) для цилиндрических барабанов и 2° (0,035 рад) со стороны малого цилиндра для бицилиндроконического.

Значения углов отклонения канатов в плоскости их струны проверяют по формулам (см. рис. 7.4, *а*):

$$\operatorname{tg}\alpha_н = \frac{b_н}{L_с}; \quad \operatorname{tg}\alpha_в = \frac{b_в}{L_с}, \tag{7.23}$$

где $b_н$ и $b_в$ – соответственно наружное и внутреннее линейное отклонение каната на барабане, м.

При размещении шкивов в одной вертикальной плоскости (см. рис. 7.4, б) в формулу (7.22) вместо $L_с$ подставляют $L_{с1}$ и $L_{с2}$.

Значения отклонений $b_н$ и $b_в$ легко определяются из треугольников и геометрических размеров органов навивки. В частности, для двухбарабанного органа навивки

$$b_в = \frac{b_ш}{2} - \frac{b_р}{2} - b_0'; \quad b_н = B - b_0' - b_в - b_0 \tag{7.24}$$

где $b_ш$ – расстояние между шкивами; B – ширина барабана; $b_р$ – расстояние между внутренними ребордами барабанов; b_0' – не использованная для навивки длина барабанов; b_0 – длина барабана под витками трения, $b_0 = n_{тр} \cdot (d_к + b_з)$; $d_к$ – диаметр каната; $b_з$ – зазор между канатами; $n_{тр}$ – число витков трения (принимается при футеровке $n_{тр} = 3$ и без нее $n_{тр} = 5$).

При получении значений углов девиации больше допустимых следует или увеличить расстояние $L_м$ до подъемной машины, или развернуть направляющие шкивы относительно подъемных сосудов, или выбрать подъемную машину с барабанами меньшей ширины, но большего диаметра.

В подъемных установках с ведущим шкивом трения для устранения углов девиации копровый шкив устанавливают в одной вертикальной плоскости с ведущим шкивом.

Канатоемкость органов навивки подъемных машин.

Максимальная глубина подъема, которую может обеспечить подъемная машина, определяется канатоемкостью ее органа навивки. Канатоемкость зависит от параметров последнего (диаметра D и ширины B), допустимого числа слоев навивки, шага желобков на поверхности барабанов, числа витков трения и резервных витков, используемых при испытаниях каната.

Для людских и грузолюдских подъемов вертикальных и наклонных (до 60°) стволов навивка канатов на барабан должна быть однослойной. При углах 30 – 60° и грузовых вертикальных подъемах допускается двухслойная навивка канатов на барабаны. Для грузовых наклонных подъемов на поверхности и всех грузовых подъемных установок, установленных под землей, допускается трехслойная навивка [1, 7].

Длина рабочей части каната (максимальная высота подъема) может быть определена из выражений:
для одно – и двухбарабанных машин

$$L = \left(z \cdot \frac{B}{t} - n_{тр} - 2 \right) \cdot \pi \cdot D; \tag{7.25}$$

для машин с разрезным барабаном

$$L = \left(\frac{B}{t} - 2 \cdot (n_{\text{тр}} + 2) \right) \cdot \pi \cdot D; \tag{7.26}$$

для машин с бицилиндроконическим барабаном (БЦК)

$$L = [\left((\frac{B_{\text{м}}}{t} - n_{\text{тр}}) - 1 \right) \cdot \frac{D_{\text{м}}}{D_{\text{б}}} + \frac{B_{\text{б}}}{t} - 2] \cdot \pi \cdot D_{\text{б}} + L_{\text{к}}, \tag{7.27}$$

где B – ширина барабана (для БЦК индекс м – малый барабан; индекс б – большой барабан); z – число слоев навивки; $n_{\text{тр}}$ – число витков трения; $L_{\text{к}}$ – длина каната на конусной части органа навивки БЦК; 1 и 2 – число резервных витков на барабане.

Шаг нарезки t желобков под канат рассчитывают по диаметру каната и добавляют 2 – 3 мм для машин малых диаметров, а для машин большого диаметра он регламентирован ГОСТ 18115–72.

7.7. Кинематика и динамика подъема

В кинематике подъемных установок рассматриваются скорости, ускорения и пути подъемных сосудов в функции времени (рис. 7.6). Канатные подъемные установки работают циклически: за периодом движения сосудов продолжительностью $t_{\text{д}}$ следует пауза длительностью θ, необходимая для загрузки и разгрузки подъемных сосудов [1].

За период пуска подъемной машины скорость движения сосудов и канатов изменяется от нуля до максимального значения $v_{\max}$. На этой скорости подъемные сосуды перемещаются в течение определенного времени, а затем, при подходе сосудов к приемным площадкам, их скорость уменьшается до нуля. Графическое изображение скорости v сосуда в функции времени t называют тахограммой подъема или диаграммой скорости (рис. 7.6, *а*).

Тангенс угла наклона касательной к любой точке кривой $v = f(t)$ представляет собой ускорение подъемного сосуда $a = \text{tg}\gamma = dv/dt$. Высота подъема равна площади, ограниченной кривой на диаграмме скорости

$$H = \int_0^t v dt \tag{7.28}$$

В общем случае в период разгона и замедления сосудов их ускорение переменное и скорость изменяется не пропорционально времени, т. е. не линейно.

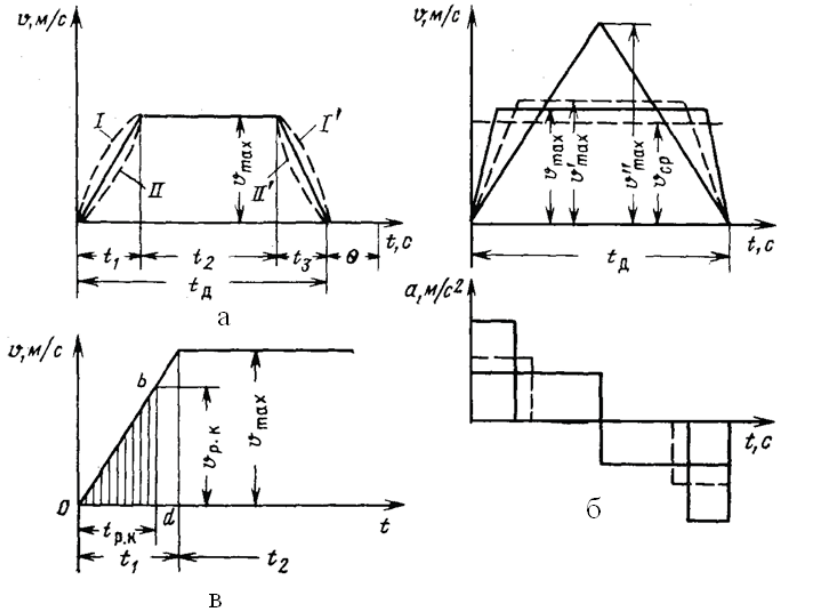


Рис. 7.6. Трехпериодные диаграммы подъема

Если законы изменения ускорений во время разгона и замедления подъемной машины одинаковы, то диаграмма скорости может иметь выпуклые (кривые *I* и *I'*) или вогнутые (кривые *II* и *II'*) бока. При постоянной величине ускорений скорость изменяется линейно и ее диаграмма имеет вид трапеции (показана сплошной линией). Возможны также варианты диаграмм скорости с различным изменением ускорений при разгоне и торможении, в частности, с возрастающими ускорением при разгоне (кривая *II*) и замедлением при торможении (кривая *I'*), с постоянным ускорением во время разгона (сплошная линия) и уменьшающейся величиной ускорения при замедлении (кривая *II'*) и т. п.

Наиболее удобными в большинстве случаев оказываются диаграммы скорости с постоянной величиной ускорения во время разгона и замедления машины. Они реализуются при использовании в качестве приводных двигателей подъемных машин асинхронных электродвигателей. Поэтому такие диаграммы и получили наибольшее распространение на практике. Значительно реже применяются диаграммы с вогнутыми бока-

ми и почти не применяются с выпуклыми боками, так как они приводят к возникновению максимальных динамических усилий в канате.

Для простоты изложения ограничимся рассмотрением диаграмм с постоянными ускорениями и замедлениями на участках разгона и торможения подъемных машин.

Трехпериодные диаграммы подъема при постоянном радиусе органа навивки

При заданной высоте подъема H (площади тахограммы) и длительности подъема сосудов $t_д$ можно построить бесчисленное множество тахограмм, которые будут отличаться различными значениями времени t_1 разгона, времени t_2 движения сосуда с v_{max} и времени t_3 торможения сосуда. При этом будут изменяться максимальная скорость подъема и значения ускорений, что легко видеть из рис. 7.6, *б,* на котором движения сосудов для упрощения приняты в переходные периоды равноускоренными и равнозамедленными, т. е. есть для каждого периода a = const.

В пределе при длительном разгоне и торможении отсутствует на тахограмме период t_2 движения сосуда с постоянной скоростью и тахограмма из трехпериодной превращается в двухпериодную. При этом максимальная скорость v_{max} достигнет наибольшего значения. Значение v_{max} будет уменьшаться с увеличением времени t_2 движения сосуда с постоянной скоростью $v_{max} < v'_{max} < v''_{max}$.

Предельное минимальное значение $v_{max} = v_{ср}$ будет в теоретическом случае, если бы разгон и замедление сосудов происходили мгновенно, т. е. t_1 и t_2 равнялись бы нулю.

При трапецеидальной диаграмме скорости v_{max} изменяется в пределах

$$v_{ср} < v_{max} < 2v_{ср} \tag{7.29}$$

В теории подъема для оценки тахограмм используется показатель неполноты тахограмм – множитель скорости α (см. выше)

$$\alpha = \frac{v_{max}}{v_{ср}} = \frac{v_{max}}{H / t_д}. \tag{7.30}$$

Для трехпериодных диаграмм этот показатель с учетом пределов изменения v_{max} лежит в пределах $1 < \alpha < 2$.

При полноте диаграммы $\alpha = 2$ диаграмма двухпериодная (см. рис. 7.6, *б),* t_2=0, ускорение и замедление минимальны, но такая диаграмма неприемлема из-за большой величины скорости v_{max}. По мере уменьшения α величина скорости v_{max} уменьшается, но одновременно

ускорения увеличиваются. Чем ближе множитель скорости к единице, тем меньше максимальная скорость, больше ускорения и тем экономичнее работает приводной двигатель подъемной машины.

Трехпериодная трапецеидальная диаграмма подъема (см. рис. 7.6, *б*) применяется при клетевом подъеме.

При работе скипов с разгрузкой через дно может применяться четырехпериодная диаграмма скорости, а при опрокидных сосудах – шести- и семипериодные диаграммы.

Задачами кинематики являются расчет диаграмм скорости и выбор таких кинематических параметров, которые обеспечивали бы необходимую производительность подъемной установки при удовлетворении следующих требований: максимальные значения скоростей и ускорений не должны превышать допустимых предельных значений; кинематические параметры должны быть наивыгоднейшими по условию максимальной загрузки приводного двигателя подъемной машины.

При этом наиболее часто приходится решать две задачи кинематики: определять максимальную скорость v_{max} при заданных значениях высоты H и времени подъема $t_д$ или находить время подъема $t_д$ при заданных значениях H и v_{max}.

Подъемная установка представляет собой сложную электромеханическую систему, которая состоит из инерционных тел (подъемных сосудов, канатов, органов навивки редукторов, электродвигателей и др.), связанных между собой упругими элементами (канатами, валопроводами). Большие движущиеся массы установок, перемещаемые в условиях неустановившегося движения, приводят к возникновению значительных инерционных нагрузок. Эти нагрузки оказывают существенное влияние на производительность установок, величину установленной мощности приводного электродвигателя подъемной машины и выбор запасов прочности элементов подъемных установок.

Анализ динамических процессов подъемных установок в общем случае с учетом упругости элементов, распределения масс канатов по их длине, нелинейностей и рассеяния энергии весьма сложен. Поэтому для решения конкретных практических задач кинематики и динамики прибегают к упрощениям расчетных схем подъемных установок. В частности, при рассмотрении их динамики широко используется представление подъемных установок в виде одномассных систем «подъемный сосуд – канат» без учета упругости звеньев, т. е. последние принимаются абсолютно твердыми телами, не подвергающимися деформациям.

Основное уравнение. Для реализации требуемой диаграммы скорости подъемного сосуда к ветвям каната, навиваемого на барабан подъемной машины, должны быть приложены усилия $F_{п}$ и F_{0}, достаточные для преодоления инерционных нагрузок, сопротивлений перемещению подъемных сосудов и канатов (рис. 7.7) [1].

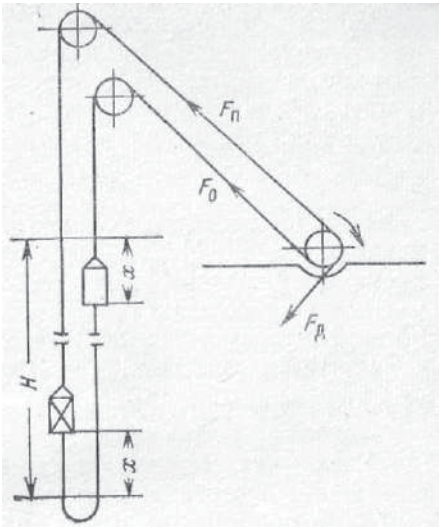


Рис. 7.7. Схема подъемной установки с уравновешивающим канатом

Такое допущение может быть принято только при установившемся движении подъемных сосудов, т. е. с постоянной скоростью или с постоянными ускорением и замедлением, когда отсутствуют их колебания. Рассмотрение подъемных установок как одномассных систем позволяет выбирать рациональные режимы подъемных установок и мощность приводного электродвигателя подъемной машины, пользуясь простым математическим аппаратом.

$$F_{п} = F_{п.ст} + F_{п.дин} \tag{7.31}$$

$$F_{о} = F_{о.ст} - F_{о.дин} \tag{7.32}$$

где $F_{п.ст}$ и $F_{о.ст}$ – статические составляющие, а $F_{п.дин}$ и $F_{о.дин}$ – динамические составляющие усилий натяжения головных канатов:

$$F_{н.ст} = g\sum m_н + R_п;\ F_{о.ст} = g\sum m_о + R_о; \quad (7.33)$$

$$F_{п.дин} = a\sum m_п;\ F_{о.дин} = a\sum m_о \quad (7.34)$$

В периоды равномерного движения $F_{п.дин}$ и $F_{о.дин}$ равны нулю и $F_п = F_{п.ст}$, $F_о = F_{о.ст}$. В уравнениях (7.33) и (7.34) $\sum m_п$ – суммарная масса поднимаемых сосудов и канатов, кг:

$$\sum m_п = m_г + m_с + m_к(H - x) + m'_к x \quad (7.35)$$

$\sum m_0$ – суммарная масса опускаемых сосуда и канатов, кг;

$$\sum m_о = m_с + m'_к(H - x) + m_к x \quad (7.36)$$

$m_г, m_с$ – соответственно масса полезного груза и сосуда, кг; $m_к$ – масса 1 м подъемного каната (одноканатные машины) или всех головных канатов (многоканатные машины), кг; $m'_к$ – масса 1 м уравновешивающего каната, кг; H – высота подъема, м; x – путь, пройденный сосудом от начала подъема, м; $R_п$ – сила сопротивления перемещению поднимаемых канатов и сосуда, H; R_0 – сила сопротивления перемещению опускаемых канатов и сосуда; $a=d^2x/dt^2$ – ускорение сосудов, м/с.

Особенности расчетов подъемных установок со шкивами и барабанами трения

В подъемных установках со шкивами трения (см. рис. 7.2, *в)* подъем грузов осуществляется за счет сил трения, возникающих между канатами, огибающими канатоведущий орган, и поверхностями его желобков. Используя формулу Эйлера для гибкой нити, получаем следующее выражение для предельного окружного усилия трения, которое может передать шкив:

$$F_{тр} = F_о(e^{fa} - 1) \quad (7.37)$$

Требуемую величину окружного усилия, как видно из приведенной формулы, можно получить, увеличивая:

- статическое натяжение сбегающей ветви каната навеской хвостового каната;
- коэффициент трения f применением специальной футеровки желобов под канат на канатоведущих органах;
- угол обхвата α применением отклоняющих шкивов.

Условием безопасной работы установок является отсутствие проскальзывания канатов относительно канатоведущего органа. Это условие определяется неравенством

$$F_{\text{п}} - F_{\text{о}} \le F_{\text{тр}} \tag{7.38}$$

т. е. во избежание проскальзывания сила трения каната о шкив должна быть больше разности натяжений рабочих ветвей канатов. Отношение этих величин, называемое коэффициентом безопасности σ против скольжения, должно быть больше единицы:

$$\sigma = \frac{F_0(e^{f\alpha} - 1)}{F_{\text{п}} - F_0} > 1. \tag{7.39}$$

Различают статический $\sigma_{\text{ст}}$ и динамический $\sigma_{\text{дин}}$ коэффициенты безопасности против скольжения:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{о.ст}}(e^{f\alpha} - 1)}{F_{\text{п.ст}} - F_{\text{о.ст}}} = \frac{F_{\text{о.ст}}(e^{f\alpha} - 1)}{F_{\text{ст}}}; \tag{7.40}$$

$$\sigma_{\text{дин}} = \frac{F_{\text{о.ст}} \mp a\sum m_0)(e^{f\alpha} - 1)}{(F_{\text{п.ст}} - F_{\text{о.ст}}) \pm a(\sum m_{\text{п}} + \sum m_{\text{о}})}, \tag{7.41}$$

где $\sum m_{\text{п}}$ и $\sum m_{\text{о}}$ – суммы приведенных масс подъемной установки со стороны поднимающихся и опускающихся ветвей канатов, определяются по выражениям (7.42).

В случае равновесного уравновешивающего каната ($m_{\text{к}} = m'_{\text{к}}$) получим:

$$\sum m_{\text{н}} = m_{\text{г}} + m_{\text{с}} + m_{\text{к}}H; \quad \sum m_{\text{о}} = m_{\text{с}} + m'_{\text{к}}H. \tag{7.42}$$

В выражении (7.41) верхний знак относится к периоду разгона, нижний – к периоду замедления подъемной машины. Коэффициент безопасности является одним из определяющих показателей безопасности и экономичности подъемных установок с канатоведущими органами трения. С точки зрения безопасности коэффициент желательно принимать возможно большим, а для обеспечения экономичности параметров подъемной установки – возможно меньшим.

Помимо коэффициентов, определяемых выражениями (7.43) – (7.44), на практике для оценки запаса по скольжению пользуются отношением статических усилий в головных канатах:

$$K_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{п.ст}}}{F_{\text{о.ст}}}. \tag{7.43}$$

Опытом эксплуатации подъемных установок со шкивами трения установлено, что при значениях коэффициентов трения f=0,2; 0,25; 0,3 обеспечивается безопасность соответственно при $K_{\text{ст}} \le 0{,}3$; 1,5; 1,75 или $\sigma_{\text{ст}} \ge 1{,}5$; 1,75; 2,3 [1].

При работе подъемной машины со шкивами трения ограничивается также действительное замедление $a_д$, которое должно быть меньше критического замедления $a_{кр}$, при котором начинается скольжение канатов. Рекомендуется принимать

$$a_д \leq 0{,}8\ a_{кр} \tag{7.44}$$

Наиболее тяжелым из всех режимов работы является спуск груза или противовеса, для этого режима и осуществляется, в основном, проверка по допустимому замедлению. Критическое ускорение $a_{кр}$ для режима замедления при спуске груза имеет следующие выражения:
установка без отклоняющих шкивов

$$a_{кр} = g\frac{e^{f\alpha} - K_{ст}}{e^{f\alpha} + K_{ст}}; \tag{7.45}$$

установка с отклоняющим шкивом, когда груженая ветвь расположена со стороны отклоняющего шкива,

$$a_{кр} = g\frac{e^{f\alpha} - K_{ст}}{e^{f\alpha} + K_{ст} + \dfrac{gm_ш}{F_{о.ст}}}; \tag{7.46}$$

то же, но груженая ветвь расположена на стороне, противоположной отклоняющему шкиву,

$$a_{кр} = g\frac{e^{f\alpha} - K_{ст}}{e^{f\alpha}(1 + \dfrac{gm_ш}{F_{о.ст}}) + K_{ст}}, \tag{7.47}$$

где $m_ш$ – приведенная масса отклоняющего шкива, кг.

При спуске груза последний случай расположения груженой ветви является более опасным, так как критические ускорения меньше. Из трех рассмотренных методов оценки невозможности скольжения канатов, последний метод обеспечивает наиболее точные результаты.

На подъемных установках со шкивами трения для уменьшения вероятности проскальзывания канатов применяют тяжелые хвостовые канаты.

7.8. Подъемные сосуды, конструкция, эксплуатационные особенности и области применения

По назначению сосуды разделяются на три группы: для насыпных грузов – скипы, бадьи; для людей, штучных грузов – клети и для обоих видов грузов – комбинированные подъемные сосуды (скипо-клети).

По конструкции подъемные сосуды подразделяются на клети, скипы, скипо-клети и бадьи (рис. 7.8) [1].

Клети предназначены для подъема в вагонетках полезного ископаемого и породы, для спуска и подъема людей, а также оборудования со скоростью не более 8 м/сек.

Скипы служат для подъема полезного ископаемого и породы. Подъем и спуск людей в скипах правилами безопасности запрещен.

Скипо-клети – представляют собой комбинированный сосуд, который может работать как клеть или как скип (обычно при замене кузова).

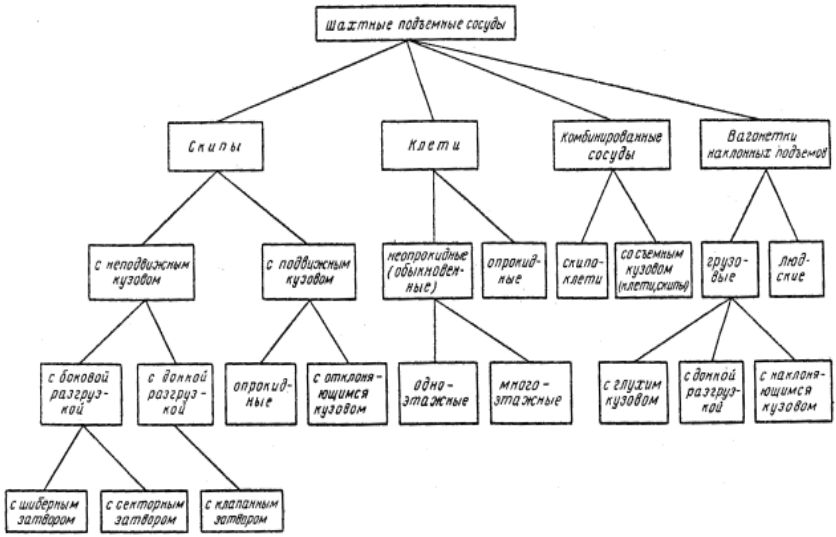


Рис. 7.8. Классификация шахтных подъемных сосудов

Бадьи применяют при проходке и углубке стволов шахт для транспортирования породы и материалов, а также подъема и спуска людей.

Подъемные сосуды должны удовлетворять следующим требованиям: иметь минимальную собственную массу и достаточную жесткость; центр тяжести груженого сосуда должен располагаться на вертикальной центральной его оси (т. е. сосуд должен быть центрирован); приведенные оси подвесных устройств для головного и хвостового канатов должны совпадать с вертикальной центральной осью.

Выполнение последних двух требований необходимо, чтобы избежать увеличения сил трения между опорами сосудов и проводниками.

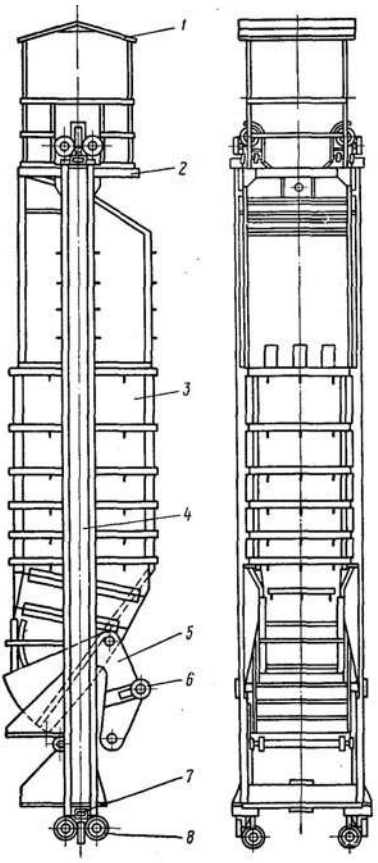


Рис. 7.9. Общий вид угольного скипа с неподвижным кузовом и секторным затвором:
1 – зонт; ***2*** – смотровая площадка; ***3*** – кузов; ***4*** – рама; ***5*** – секторный затвор; ***6*** – разгрузочные ролики; ***7*** – предохранительные башмаки; ***8*** – рабочие роликовые направляющие

Конструкция сосудов зависит от углов наклона стволов. При углах наклона более 35° скипы, во избежание просыпания сыпучего груза, выполняются закрытыми, при углах наклона менее 35° сыпучие грузы транспортируются в открытых сверху сосудах – скипах или просто вагонетках.

Скипы и клети для вертикальных стволов вместо колес снабжаются направляющими башмаками и роликами, которые перемещаются по вертикальным проводникам.

Согласно [7] клети для перевозки людей оборудуются специальными ловителями – парашютами, а грузовые и грузолюдские клети – стопорными устройствами. Парашюты не применяются при многоканатном подъеме.

По назначению скипы различают рудные, угольные и породные. Конструктивно они идентичны и различаются между собой в основном прочностью и соотношениями основных, габаритных размеров.

Скип с неподвижным кузовом (рис. 7.9) и секторным затвором представляет собой сварной короб, усиленный горизонтальными ребрами жестко-

сти, к боковым стенкам которого приварены вертикальные стойки рамы, которые вверху и внизу соединены горизонтальными несущими балками. По концам вертикальных стоек рамы крепятся направляющие устройства.

Для шифровки моделей скипов приняты следующие условные обозначения: буквенный индекс «СН» – скип с неподвижным кузовом; буквенный индекс «СО» – скип с опрокидным кузовом; цифра слева от буквенного индекса – порядковый номер типоразмера при одной и той же емкости скипа; цифра справа от буквенного индекса – геометрическая емкость скипа, м^3; цифра справа через дефис – порядковый номер модели данного типоразмера в зависимости от типа подъема («1» – одноканатный, «2» – многоканатный).

Все стволы с наклоном оси к горизонту от 3 до 85° считаются наклонными. Угол наклона ствола – один из главных факторов, определяющих область применения и конструктивные особенности подъемного сосуда того или иного вида.

Основная отличительная, конструктивная особенность подъемных сосудов для наклонных стволов заключается в том, что все они перемещаются на колесах по колее рельсового пути, уложенного на почве наклонной выработки ствола (рис. 7.10).

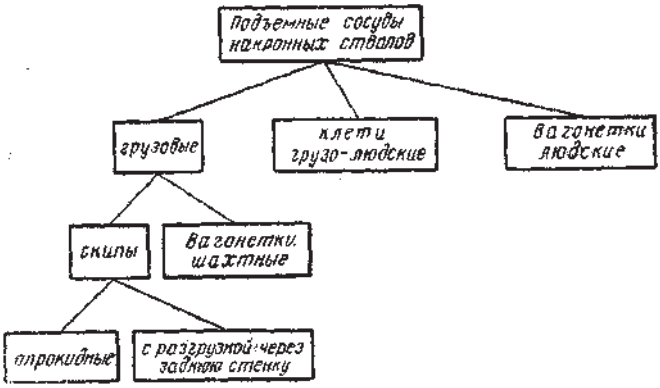


Рис. 7.10. Классификация подъемных сосудов наклонных стволов

Емкость эксплуатируемых скипов преимущественно составляет 7-15 м^3 при одноканатных подъемных машинах и 9,5-15 м^3 при много-

канатных. В отдельных случаях эксплуатируются угольные скипы одноканатного подъема емкостью 20 м^3, а многоканатного до 35 м^3. Скорость движения скипов вертикального подъема 4-13,5 м/сек.

Загрузка скипа в шахте, подземном руднике производится из бункера, оборудованного загрузочным устройством с весовым или объемным дозатором. Загрузка или разгрузка по отношению к скипу располагается с одной стороны. Кузов скипа выполняется в форме призматической оболочки, имеющей наибольший размер по вертикальной оси. Закрепляется кузов подвижно или неподвижно на несущей конструкции – раме, к которой присоединяются подвесные устройства.

Разгрузка скипа осуществляется путем выпуска насыпного груза под действием собственного веса через боковое или донное отверстие кузова, оборудованное специальным механизмом затвора. Механизм затвора приводится в действие от разгрузочных кривых, с которыми при движении скипа в зоне разгрузки взаимодействуют разгрузочные ролики.

Клети вертикальных стволов

По конструктивному исполнению различают неопрокидные (обыкновенные) и опрокидные клети, а по технологии изготовления – клепаные и сварные.

По транспортному назначению клети бывают грузо-людские и людские. Последние применяются на инспекторских подъемах и не снабжены устройствами для размещения и фиксирования грузовых вагонеток.

Неопрокидные клети бывают одно – и двухэтажные.

Большинство эксплуатируемых клетей составляют клети неопрокидные для одноканатного подъема. Они применяются на двуклетевых или одноклетевых (с противовесом) подъемах главных и вспомогательных стволов шахт.

Неопрокидные клети (рис. 7.11) для одноканатного подъема представляют собой несущий стальной каркас, обшитый перфорированной листовой сталью и снабженный направляющими устройствами, рельсовой колеёй для вагонетки, стопорным, подвесным и парашютным устройствами.

Недостатки неопрокидных клетей:

- невозможность увеличения полезной нагрузки, из-за типоразмера вагонетки;

- увеличение числа вагонеток в клети ведет к росту сечения ствола или числа этажей клети, что усложняет маневры подъемным сосудом в период погрузочно-разгрузочных операций, и большим затратам времени;

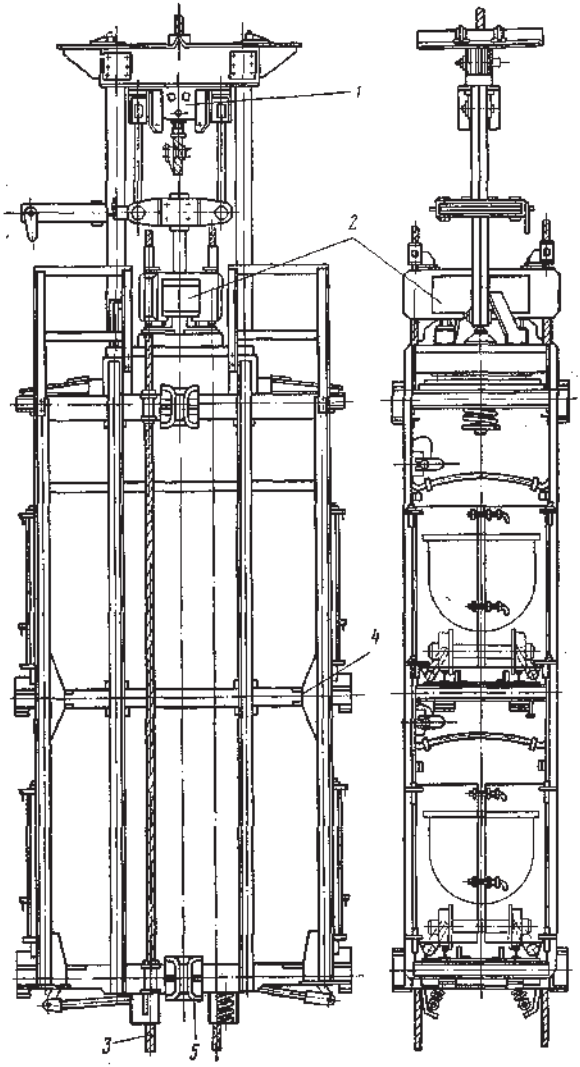


Рис. 7.11. Общий вид неопрокидной двухэтажной клети
для рельсовых проводников двустороннего расположения с парашютом ТК:
1 **–** подвесное устройство с коушем типа КРГ; ***2*** **–** ловитель парашюта;
3 **–** тормозной канат; ***4*** **–** несущий каркас; ***5*** **–** направляющий башмак

- по сравнению со скиповым подъемом требуется оборудовать приемные площадки сложной системой откатки и специальным оборудованием обмена вагонеток.

Шифр, принятый типажом для клетей параметрического ряда, обозначает: буквенный индекс «КН» – клеть неопрокидную; цифра слева от буквенного индекса – этажность; цифра справа от буквенного индекса – длина клети, м; цифра справа через дефис – тип подъема («1» – одноканатный, «2» – многоканатный).

Клети для наклонных стволов применяются для выполнения вспомогательных операций, обеспечивающих доставку людей и транспортирование вагонеток и платформ с материалами и оборудованием, а также для доставки вагонеток с полезным ископаемым или породой.

По исполнению клети различают по типу парашюта.

По количеству этажей конструкции клетей бывают одно-, двух- и трехэтажные (последние изготовляются по индивидуальным заказам).

Парашютное устройство включается автоматически при обрыве каната или сцепки и при превышении максимальной скорости на 15-20 %.

Сменное устройство, предназначенное для присоединения канатов к шахтным подъемным сосудам (клетям, людским вагонеткам, скипам, бадьям, противовесам), которое может отсоединяться от грузонесущей конструкции, называется подвесным устройством.

Подвесное устройство подъемного сосуда состоит из прицепного устройства – коуша и элементов конструкции подвески (рис. 7.12).

В качестве подвесных устройств, для вертикальных клетевых подъемов применяют конструкции: с предохранительными цепями и рабочей подвеской нерегулируемой длины; с предохранительными цепями и рабочей подвеской регулируемой длины; трапецеидальные жесткие и шарнирные; П – образные, с грушевидным коушем и металлическими жимками, рычажно-клиновым коушем (КРГ) или клиновым безжимковым коушем с односторонним зажатием каната (ККБ).

Подвесные устройства типа УПК в настоящее время являются наиболее совершенной и перспективной конструкцией присоединения подъемных сосудов к головным канатам (рис. 7.13).

Подвеска сосуда может осуществляться прямым присоединением каждого каната (безуравнительные) или посредством специальных уравнительных устройств (уравнительные), предназначенных для равномерного распределения концевой нагрузки по канатам.

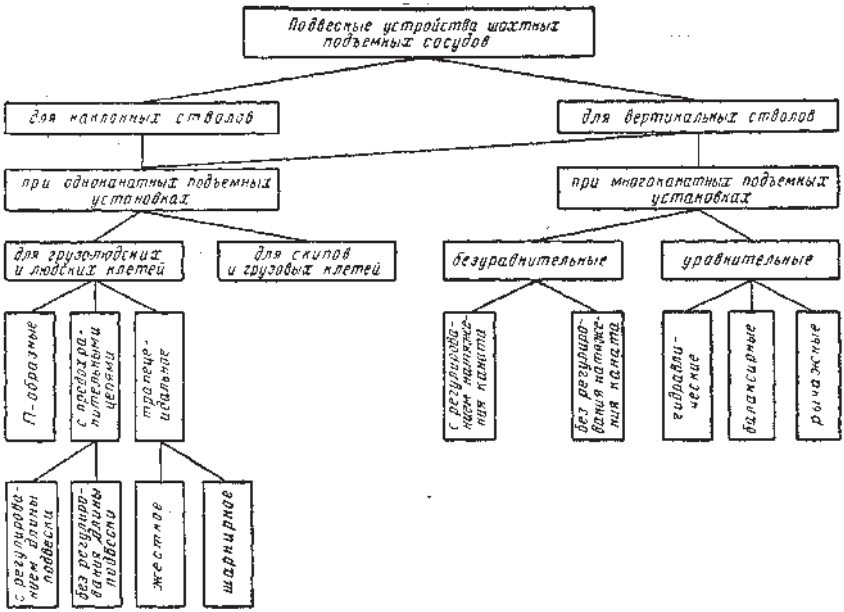


Рис. 7.12. Классификация подвесных устройств шахтных подъемных сосудов

Согласно ПБ [7] все подъемные сосуды одноканатных подъемов, предназначенные для перемещения людей в вертикальных и наклонных выработках шахт, оборудуются устройствами (парашютами) для плавной остановки и удержания в аварийной ситуации (обрыв подъемного каната или выход из строя подвесного устройства, а также напуск подъемного каната при заклинивании подъемного сосуда в стволе) (рис. 7.14).

В настоящее время серийно выпускаются парашюты типов ПТК и их модификации применительно к подъемам со шкивами трения (ПТКШ) и противовесам (ПТКП) – с клиновым ловителем, осуществляющим мгновенный захват за два тормозных каната при любом типе и любой схеме расположения металлических проводников; ПКЛ и их модификации применительно к подъемам со шкивами трения (ПКЛШ) – с эксцентриково-клиновым ловителем, осуществляющим мгновенный захват за один тормозной канат при одностороннем расположении рельсовых проводников; ПДП для деревянных проводников.

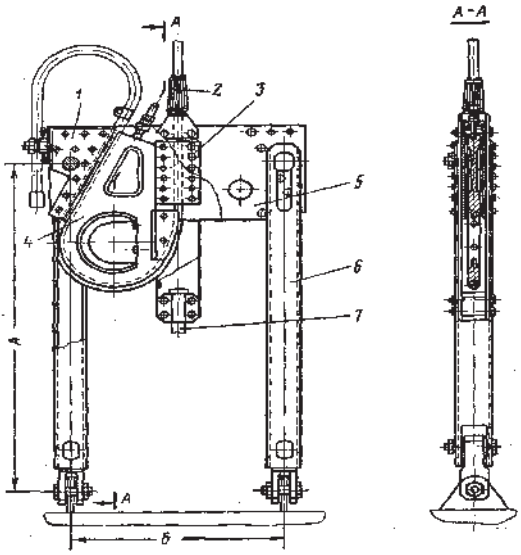


Рис. 7.13. Подвесное устройство типа УПК
с клиновым безжимковым коушем типа ККБ для клетей:
1 – наклонные вкладыши; ***2*** – канат с гасителем колебаний;
3 – вертикальные вкладыши; ***4*** – подвижный клин; ***5*** – верхняя балка;
6 – стойки; *7* – центральный шток

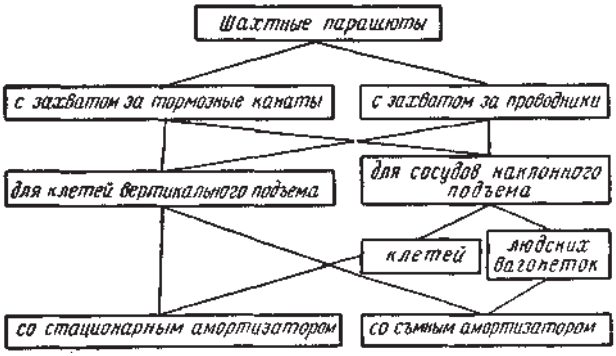


Рис. 7.14. Классификация шахтных парашютов

В качестве тормозных канатов при парашютах типа ПТК применяются нераскручивающиеся канаты крестовой свивки, имеющие наружные проволоки диаметром не менее 2 мм, а также канаты закрытого типа различных диаметров в зависимости от расчетной динамической нагрузки, действующей на тормозные канаты при срабатывании ловителя парашюта.

В транспортном положении приводная пружина сжата натяжением подъемного каната, ловитель лежит на опорах, и клинья его не соприкасаются с тормозными канатами (рис. 7.15).

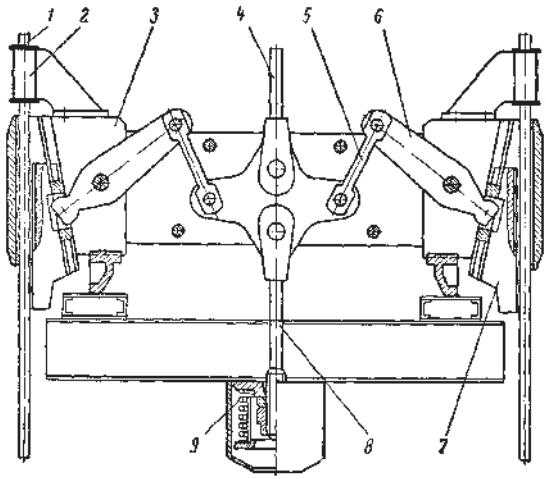


Рис. 7.15. Схема устройства ловителя парашюта ПТК:
1 – тормозной канат; ***2*** – направляющая втулка; ***3*** – корпус ловителя;
4 – шток рабочей подвески; ***5*** – вилка; ***6*** – рычаг; ***7*** – клин;
8 – шток привода; ***9*** – приводная пружина

При нормальной работе некоторая часть веса клети передается предохранительной подвеске, а остальной вес воспринимается приводной пружиной, сжатой штоком ловителя.

В случае обрыва головного каната или подвесного устройства приводная пружина разжимается и через шток, связанный с рычажной системой, перемещает клинья и тем самым вводит их в соприкосновение с тормозными канатами. Ловитель продолжает лежать на нижних опо-

рах до тех пор, пока силы взаимодействия между клиновыми зажимами и тормозными канатами не станут больше веса ловителя, после чего он останавливается, удерживаясь на тормозных канатах.

Начальное заклинивание ловителя на тормозных канатах происходит за счет упругой силы пружины. Продолжая двигаться вниз, клеть сжимает пружину и садится на шток, воздействуя через него на плечи рычагов еще больше заклинивая ловитель на тормозных канатах. С момента, когда нагрузка в тормозных канатах и сопротивление в направляющих устройствах сосуда достигают веса клети, начинается торможение последней. При этом клинья ловителя практически не проскальзывают относительно тормозных канатов.

7.9. Подъемные канаты. Конструкция и типы. Нормы правил безопасности по уходу и надзору за канатами

Подъемные канаты – наиболее ответственные элементы подъемных установок. Они изготовляются из стальных проволок диаметром от 0,5 до 4,0 мм и временным сопротивлением разрыву $\sigma_в$ = 1,4-5-2,2 ГПа. Канат имеет сердечник из органического материала или мягкой стали, вокруг которого по винтовой линии свиваются проволоки (канат одинарной свивки), пряди из проволок (канат двойной свивки) или стренги (канат тройной свивки).

Пряди – это канат одинарной свивки, но с металлическим сердечником, стренги – это пряди двойной свивки. Канаты имеют разнообразную конструкцию и отличаются характером свивки, формой сечения каната и пряди, формой сечения проволок, входящих в канат, и другими признаками. Ниже приведем классификацию по признакам, имеющим важное значение для подъемных канатов.

По форме сечения прядей канаты различают круглопрядные (рис. 7.16, *а* и *б*) и фасонные. Последние канаты имеют треугольное (рис. 7.16, *г*), овальное, плоское и другие сечения прядей и называются соответственно трехграннопрядными, овальнопрядными, плоскопрядными и т. д.

По сравнению с круглопрядными канатами фасонные характеризуются большим наполнением сечения каната проволоками, лучшим прилеганием к ободу навивки подъемной машины и, следовательно, меньшим удельным давлением, но они сложнее в изготовлении.

По форме сечения различают канаты круглые (см. рис. 7.16, *а*, *б, в, г*) и плоские (см. рис. 7.16, *д*). Первые применяются в качестве подъемных, амортизационных, тормозных и проводниковых, вторые – как уравновешивающие.

По конструкции различают канаты с точечным (ТК), линейным (ЛК) и точечно-линейным касаниями (ТЛК).

Здесь и далее в скобках даются обозначения канатов, принятые в ГОСТ и технических условиях на канаты. Точечное касание имеет место при различном шаге свивки проволок в каждом слое пряди, когда проволоки перекрещиваются, а линейное касание, когда все слои свиты с одинаковым шагом. Канаты с линейным касанием имеют большие сроки службы (на 30-40 %) по сравнению с канатами, имеющими точечное касание проволок.

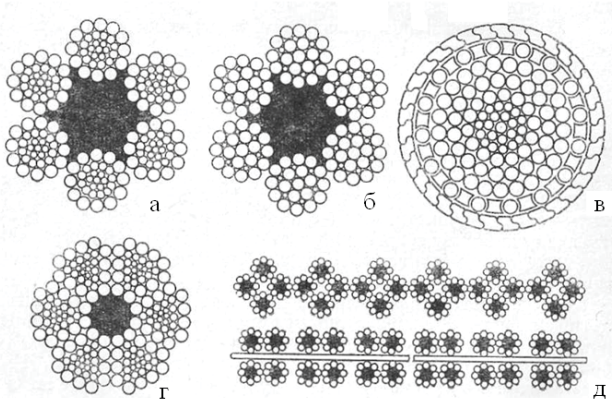


Рис. 7.16. Сечения канатов: круглопрядных с проволоками (***а***) и одинакового (***б***) диаметров, закрытого (***в***) трехграннопрядного (*г*) и плоских (***д***)

Канаты с линейным касанием могут иметь проволоки в каждом слое одинакового диаметра, но разного диаметра в различных слоях (ЛК-О), разного диаметра в части слоев (ЛК-РО), в наружном слое (ПК-Р) и проволоки заполнения между слоями (ЛК-3).

По сочетанию направлений свивки проволок в пряди и прядей различают канаты односторонней (правой или левой), крестовой (направление свивки проволок и прядей встречное) и комбинированной свивок. Канаты односторонней свивки благодаря совпадению направле-

ний свивки имеют склонность к раскручиванию, но имеют больший контакт с желобом органа навивки и меньшую изгибную жесткость по сравнению с канатами крестовой свивки.

По способности самораскручивания канаты различают: раскручивающиеся (Р), нераскручивающиеся (Н) и малокрутящиеся (МК).

Нераскручивающиеся канаты, в отличие от раскручивающихся, изготовляют из предварительно деформированных проволок, и при снятии бандажей они сохраняют форму по концам. Они более эффективны в эксплуатации и отличаются: большей гибкостью, более равномерным распределением усилий между проволоками и прядями, меньшим изменением шага свивки при нагрузке на канат и большим сроком службы.

Малокрутящиеся канаты – это многопрядные канаты, причем каждая прядь с несколькими слоями. В каждом последующем слое проволоки свиты в противоположном направлении по отношению к предыдущему. Такие канаты практически не раскручиваются и не закручиваются при изменении растягивающей их нагрузки.

По конструкции проволок наружного слоя канаты одинарной свивки бывают открытыми и закрытыми (см. рис. 7.16, *в*).

В качестве подъемных канатов применяются и рекомендуются ПТЭ к применению канаты*:* круглопрядные с линейным и точечным касаниями, трехграннопрядные и закрытой конструкции (см. рис. 7.16). На подъемных установках используются канаты с пеньковым сердечником, который выполняет две задачи – служит опорой для прядей и аккумулятором смазки. Смазка каната уменьшает истирание проволок, а также разрушение от ржавчины.

В последнее время все большее применение находят оцинкованные канаты (каждая проволочка покрыта слоем цинка), на которые меньше действуют агрессивные среды.

Расчет головных канатов. Головные канаты рассчитываются в соответствии с нормами ПБ [7] и ПТЭ по максимальной статической нагрузке $F_{ст}$ без учета динамических изгибных и контактных напряжений и по регламентируемым статическим запасам прочности каната:

$$n = \frac{P_с}{F_{ст}}, \qquad (7.48)$$

где $P_с$ – суммарное разрывное усилие всех проволок каната, Н.

$P_с$ определяют по результатам испытаний проволок, взятых из образца для испытаний. В сумму не входят усилия на разрыв проволок, не

выдержавших испытаний. Агрегатное разрывное усилие каната $P_а$ всегда меньше $P_с$, так как при растяжении каната проволоки испытывают сложное упруго-пластическое воздействие в связи с взаимовлиянием соседних проволок:

$$P_а = k \cdot P_с \tag{7.49}$$

где k – коэффициент, учитывающий условия свивки, принимают равным 0,9 для канатов одинарной и двойной свивки с одним рядом проволок в пряди и равным 0,85 и 0,82 для канатов двойной свивки соответственно с двумя и тремя слоями в пряди.

В расчетную статическую нагрузку $F_{ст}$ входят силы тяжести груза, сосуда, вагонеток в клети и головного каната.

Согласно ПБ [7] статический запас прочности n должен быть не ниже: 9-кратного для людских и аварийно-ремонтных подъемных установок; 7,5-кратного для грузолюдских подъемных установок; 6,5-кратного для грузовых подъемных установок; 8-кратного для подъемных установок со шкивами трения (людских, грузолюдских и грузовых) и грузолюдских многоканатных подъемных установок: 7-кратного для грузовых многоканатных подъемных установок. Эти запасы принимаются при глубине подъема до 600 м.

7.10. Подъемные машины. Классификация, конструкции и общая компоновка

По принципу действия подъемные машины разделяются на две группы: с барабанными органами навивки и со шкивами трения.

В барабанных подъемных машинах получили распространение следующие органы навивки (см. рис. 7.3): однобарабанные; однобарабанные с разрезным барабаном; двухбарабанные и бици-линдроконические с разрезным барабаном.

Однобарабанный орган навивки двухконцевой подъемной установки обслуживает два головных каната. Средняя часть барабана – общая для обоих канатов и попеременно служит для навивки левого и правого канатов.

Однобарабанный орган навивки придает подъемным машинам компактность, уменьшает их массу и размеры машинного здания, однако не позволяет обслуживать одновременно несколько горизонтов, и при его использовании также усложняются навеска и смена канатов, регулиро-

вание их длины после вытяжки канатов и обрубки их отрезков для испытаний.

Двухбарабанные органы навивки позволяют производить подъем груза с нескольких горизонтов и по сравнению с однобарабанными имеют большую канатоемкость. У подъемных машин с двумя цилиндрическими барабанами каждый головной канат обслуживается отдельным барабаном. Причем один барабан наглухо связан с валом машины, а другой является переставным и специальным механизмом перестановки, может отключаться от вала и после поворота последнего на любой угол снова с ним соединяться. При смене горизонта, с которого поднимается груз, подъемный сосуд, канат которого навивается на переставной барабан, устанавливается на верхней приемной площадке. Затем переставной барабан отсоединяется от вала и стопорится тормозом. Включается подъемная машина и поднимается на нужный горизонт сосуд, канат которого навивается на барабан, жестко связанный с валом. После этого переставной барабан соединяется с валом и подъемная установка готова для работы с нового горизонта. Аналогично осуществляется регулирование длины каната.

Вместе с тем двухбарабанные подъемные машины имеют большую, по сравнению с однобарабанными, ширину. Двухбарабанный орган навивки при расположении направляющих шкивов в одной плоскости не всегда может обеспечить требуемый угол девиации струн канатов (см. рис. 7.4, *а*).

Последний недостаток устранен в однобарабанном органе навивки с разрезным барабаном (см. рис. 7.3, *в*). Такой барабан состоит из двух частей – длинной, заклиненной на валу, и короткой, переставной, и позволяет регулировать длину каната. Регулировка осуществляется таким образом, чтобы один канат находился на переставной части, а другой на заклиненной и при навивке не переходил на переставную часть, т. е. подъемный сосуд должен переставляться относительно другого на высоту, равную длине каната на переставной части.

Навивка каната на разрезной барабан может производиться только в один слой, на одно- и двухбарабанных органах навивка может быть многослойной. Однако при многослойной навивке увеличиваются нагрузки на канат и его износ.

Бицилиндроконические разрезные барабаны (см. рис. 7.3, *г*) обеспечивают уравновешивание системы подъемной установки и позволяют осуществлять регулировку длины каната и смену горизонта.

Механизмы перестановки современных машин управляются дистанционно и позволяют в течение 2-3 мин производить регулирование длины подъемных канатов, а при работе с нескольких горизонтов – смену горизонта.

В зависимости от типа органа навивки и технических данных подъемных машин выбирается область их применения. Подъемные машины с двумя цилиндрическими барабанами следует устанавливать на двухсосудных подъемных установках при работе с нескольких горизонтов; с одним цельным барабаном – на вспомогательных одноклетевых и односкиповых подъемных установках с противовесом; с одним разрезным барабаном – на двухсосудных подъемных установках при работе с одного горизонта. Машины с бицилиндрическим барабаном применяются для глубоких шахт и рудников с большой грузоподъемностью сосудов.

Подъемные машины со шкивом трения снабжаются одноканатным и многоканатным шкивами.

Подъемные машины с барабанными органами навивки состоят из следующих основных узлов: коренной части, ее привода и тормозной системы управления (рис. 7.17). Каждая подъемная машина оборудуется пультом управления и контрольно-измерительной аппаратурой (указателем глубины, ограничителем скорости, регулятором хода и т. п.).

Подъемная установка с одноканатным шкивом трения компактна, имеет малую ширину, но ей присущи значительные недостатки: снижение безопасности подъема, так как при обрыве каната в ствол падают оба сосуда; сложные навеска канатов и регулирование их длины; невозможность работы двумя подъемными сосудами с нескольких горизонтов и т. д.

Подъемные машины с многоканатными шкивами трения (многоканатные машины) имеют следующие преимущества по сравнению с машинами, оборудованными барабанными органами и одноканатными шкивами – меньший диаметр каната (в связи с применением нескольких канатов), равный $d = d_1 / \sqrt{n}$, где d_1 – диаметр каната одноканатной машины; n – число канатов многоканатной машины; меньший диаметр канатоведущего органа (из-за меньшего диаметра каната), а следовательно, и меньший крутящий момент; более безопасны в работе, так как шкив трения представляет собой фрикционную защиту против чрезмерных возрастаний усилий в подъемных канатах от экстренных и аварийных нагрузок; исключаются парашюты на клетях, так как одновременный разрыв нескольких канатов практически невозможен; мень-

шие размеры и компактность, что удешевляет изготовление машин и упрощает их транспортирование; возможность поднятия тяжелых грузов с больших глубин; возможность размещения подъемной машины непосредственно на копре (над устьем ствола), что требует меньших площадей под поверхностные сооружения шахты и улучшает условия эксплуатации канатов, предохраняя их от вредного воздействия атмосферы.

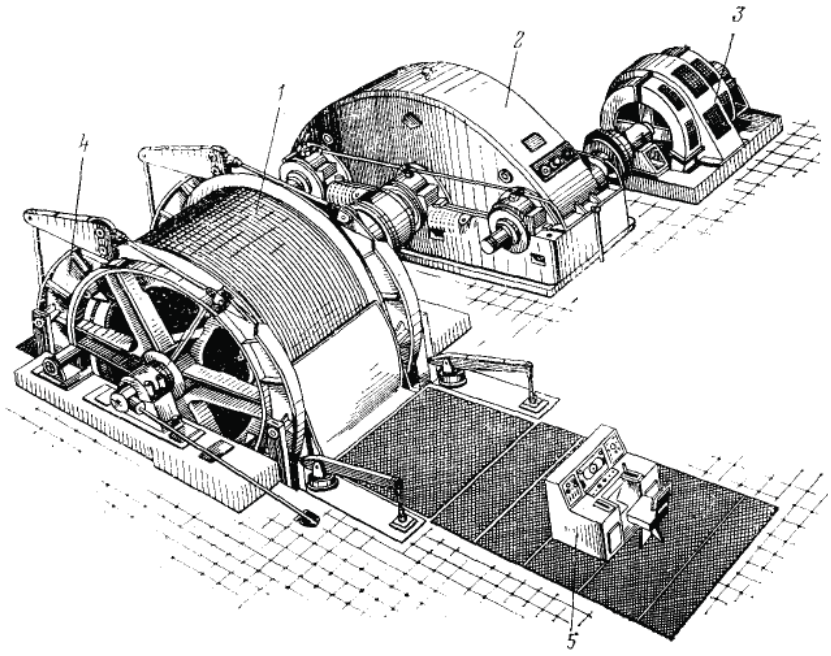


Рис. 7.17. Подъемная машина типа Ц:
1 – однобарабанный орган навивки; ***2*** – редуктор; ***3*** – электродвигатель;
4 – тормозное устройство; ***5*** – пульт управления

Недостатки многоканатных машин: сложность надзора за канатами и контроля за их состоянием, так как на каждой подъемной установке по нескольку подъемных и уравновешивающих канатов; возможность скольжения подъемных канатов из-за уменьшения коэффициента трения; неравномерное распределение нагрузки между отдельными канатами.

Многоканатными подъемными машинами оборудуются вертикальные подъемные установки с двумя сосудами или одним сосудом с противовесом. Однососудные многоканатные установки применяют обычно для обслуживания нескольких горизонтов.

Экономическая эффективность многоканатных машин и указанные выше их преимущества привели к быстрому распространению многоканатных установок в угольной и рудной промышленности, особенно на глубоких шахтах.

Подъемные машины с барабанными органами навивки изготовляются четырех типов, которые обозначаются в соответствии с требованиями ГОСТ на подъемные машины: Ц – цилиндрические однобарабанные; ЦР – цилиндрические однобарабанные с разрезным барабаном; 2Ц – цилиндрические двухбарабанные; БЦК – бицилиндроконические с разрезным барабаном.

Многоканатные подъемные машины выпускают двух серий: МК и ЦШ. Обозначение машины серии МК (например МК-5×4р-2*)* расшифровывается: многоканатная подъемная машина, диаметр канатоведущего шкива – 5 м, число головных канатов – 4, р – с редуктором, 2 (или 3, 4) – номер модификации машины. Машины серии МК (12 типоразмеров) имеют приводные шкивы диаметром от 2,1 до 5 м, число канатов от 2 до 8, максимальную разность статических натяжений от 30 до 500 кН и максимальное статическое натяжение в ветвях канатов от 140 до 2200 кН. Масса машин 22000-420000 кг.

Стандартизованы следующие параметры машин: диаметр и длина органов навивки, передаточное отношение редуктора, величины максимального натяжения канатов и разность их статических натяжений. Первые два параметра входят в условное обозначение машины. Примеры обозначений: ЦР-5×3/0,6 – подъемная машина цилиндрическая с разрезным барабаном диаметром 5 м, полной шириной барабана 3 м и шириной узкой части барабана 0,6 м; БЦК-8/5-2,7 – машина бицилиндроконическая с диаметрами большого барабана 8 и малого 5 м и шириной большего цилиндра 2,7 м.

Машины изготовляются с редукторным и безредукторным приводами от тихоходного электродвигателя с правым или левым (по заказу) расположением приводов. Редукторы применяются цилиндрические одноступенчатые (ЦО) и двухступенчатые (ЦД). В обозначении редукторов с зацеплением Новикова добавляется буква Н (ЦОН, ЦДН).

В зависимости от диаметра барабанного органа навивки цилиндрические машины разделяются на малые и средние – с диаметром барабанов от 1,2 до 3,5 м и крупные – с диаметром от 4 до 6 м.

У двухбарабанных (рис. 7.18) и разрезных органов навивки один барабан или основная (большая) часть жестко соединяется с валом, а второй (переставной) барабан или меньшая (переставная) часть органа навивки устанавливается на валу на подшипниках скольжения или качения для возможности проворачивания. Переставной барабан или переставная часть с валом связывается посредством специального переставного механизма.

Управление машиной (см. рис. 7.17 и 7.18) осуществляется с пульта, на котором установлена контрольно-измерительная и предохранительная аппаратура, а также с помощью рукоятки управления. Пульт управления с подъемной машиной имеет только электрическую связь и может быть установлен в машинном или надшахтном здании. Дистанционное или автоматическое управление машиной осуществляется аппаратом задания и контроля хода АЗК, механически связанным с тихоходным валом редуктора и другими аппаратами.

Тип электродвигателя и пускорегулирующей аппаратуры выбирается в соответствии с местом установки машины – на поверхности или под землей.

В современных подъемных установках находят все большее распространение способы непосредственного соединения сборки коренного вала с двигателем. Это объясняется несомненными преимуществами привода постоянного тока по сравнению *с* асинхронным двигателем с точки зрения точности выполнения заданной диаграммы скорости и возможностей, заложенных в приводе для автоматизированных схем управления. Однако надежность привода с двигателями постоянного тока несколько ниже, чем привода с асинхронными двигателями, а капитальные и эксплуатационные затраты выше. Удорожание безредукторного привода в зависимости от момента на валу приводного шкива составляет 20-50 %. В настоящее время область применения безредукторного привода подъемных машин расширяется.

Обозначение многоканатных подъемных машин серии ЦШ (например, ЦШ2,1×4рп*)* расшифровывается следующим образом: цилиндрические шкивы (приводные), диаметр канатоведущего шкива – 2,1 м, число головных канатов – 4, номер модели – 2, рп – машина редукторная с правым расположением приводного электродвигателя.

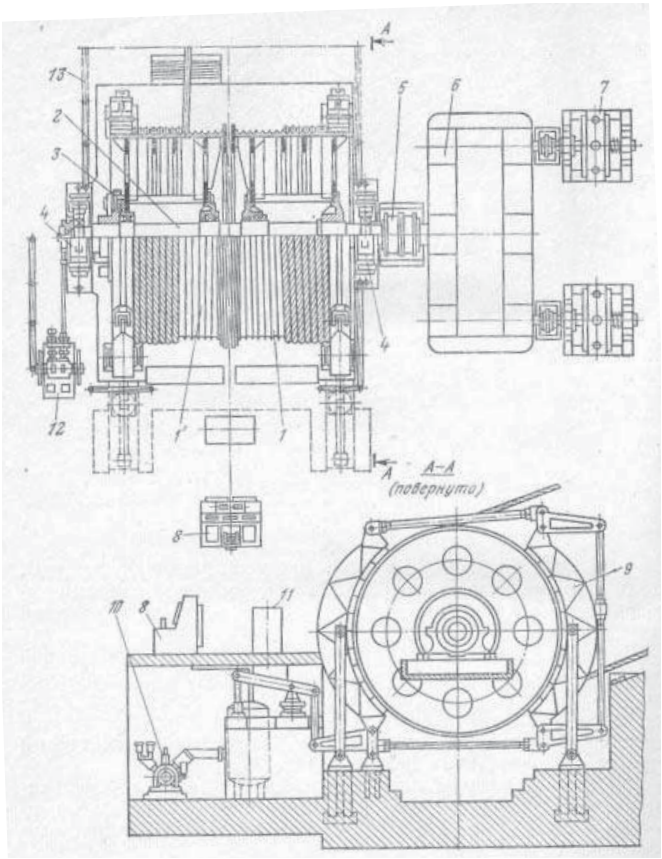


Рис. 7.18. Подъемная машина типа 2Ц: ***1*** и ***1'*** – заклиненный и переставной барабаны; ***2*** – вал; ***3*** – переставной механизм барабана; ***4*** – подшипниковые опоры вала; ***5*** – муфта; ***6*** – редуктор; ***7*** – электродвигатель; ***8*** – пульт управления; ***9*** – исполнительный орган тормоза; ***10*** и ***11*** – соответственно пневмосистема и панель управления тормозом; ***12*** – аппарат задания и контроля хода машины (АЗК); ***13*** – ограждение

Предусмотрено 9 типоразмеров машин с диаметром приводных шкивов от 2,1 до 5 м, числом канатов от 4 до 8, максимальным статическим усилием в ветви канатов от 260 до 2350 кН. Типоразмер машины ЦШ2,8×6 не имеет отклоняющих шкивов.

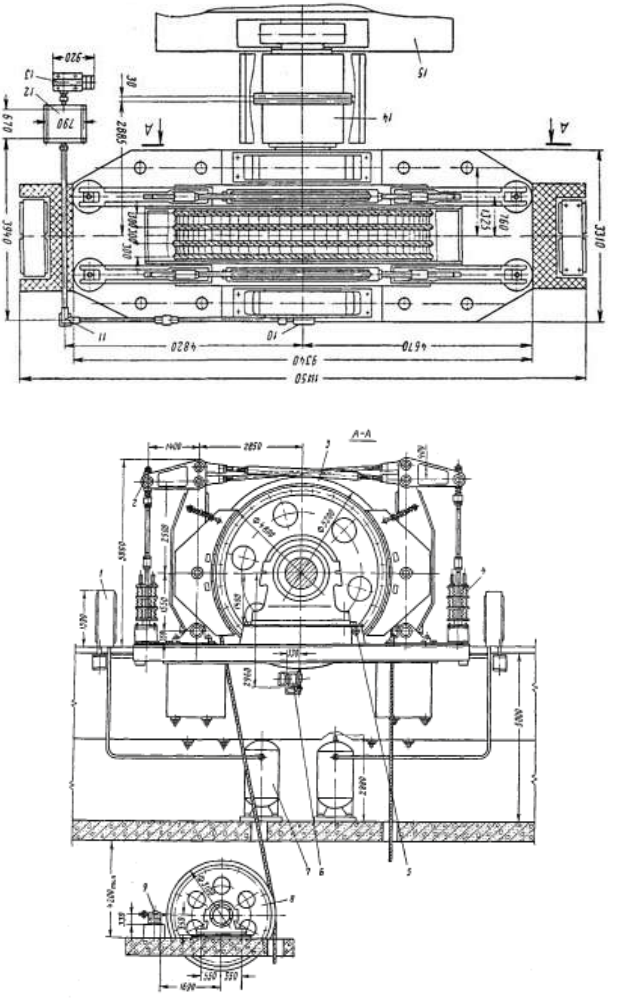


Рис. 7.19. Многоканатная подъемная машина ЦШ5×4: ***1*** – ведущий шкив; ***2*** – тормоз; ***3*** – панель управления тормозом; ***4*** – пружинные приводы тормоза; ***5*** – воздухосборник системы управления тормозом; ***6*** – отклоняющий шкив; ***7*** и ***8*** – приспособления для проточки отклоняющего шкива; ***9*** – электродвигатель; ***10*** – зубчатая муфта; ***11*** – угловой редуктор; ***12*** – аппарат АЗК; ***13*** – установка тахогенератора

Многоканатные подъемные машины обеих серий состоят из следующих основных узлов: коренной части, редуктора, устройств управления тормозом, аппарата контроля хода, пульта управления, отклоняющих шкивов, тахогенераторов, приспособления для проточки канавок в футеровке, устройств для смены-навески канатов и др.

Многоканатные подъемные машины серии МК снабжаются пружинно-пневмогрузовыми тормозными устройствами, машины серии ЦШ – пружинно-пневматическими тормозами с двумя приводами на каждый исполнительный орган.

Многоканатные машины обеих серий выпускаются с редукторами и в безредукторном исполнении. Редуктор обычно соединяется с электродвигателем зубчатой муфтой, а с главным валом коренной части – жесткой фланцевой муфтой. Редукторы устанавливаются на пружинных опорах, что снижает динамические нагрузки на подъемную машину.

На рис. 7.19 приведена в качестве примера компоновка многоканатной машины ЦШ5×4, изготовляемой в безредукторном исполнении.

Ее приводом служат один или два тихоходных электродвигателя постоянного тока.

Компоновка других многоканатных машин может отличаться наличием редуктора и некоторыми другими особенностями. Редуктор может приводиться в движение одним или двумя электродвигателями.

7.11. Тормозные устройства подъемных машин

Все шахтные подъемные машины снабжаются тормозными системами, предназначенными для стопорения канатоведущих органов во время пауз между подъемами, аварийного торможения при нарушении нормальной работы подъемной машины, а также управления подъемной установкой в период замедления. Поэтому тормоза подъемных машин в отличие от лебедок выполнены регулируемыми. С помощью тормозных систем осуществляется рабочее регулируемое или нерегулируемое подтормаживание для выполнения заданной диаграммы скорости и предохранительное торможение для быстрой и надежной остановки подъемной машины при нарушении нормального режима работы.

В отечественных подъемных машинах предохранительное торможение двухступенчатое: вначале тормозное усилие достигает величины рабочего торможения, а затем увеличивается до величины предохранительного торможения.

От совершенства тормозных систем зависят надежность и безопасность эксплуатации подъемных установок.

Правилами ПБ [7] и ПТЭ к тормозным устройствам установок для вертикальных и наклонных подъемов предъявляются следующие требования:

1. Тормозной момент $M_т$ во время предохранительного торможения должен быть не менее 3-кратного максимального статического момента вращения при подъеме и спуске расчетного для машины груза ($M_т \geq 3M_{ст\,max}$). Значения $M_{ст\,max}$ определяются для установок с уравновешивающими канатами при $m'_к < m'_к$:

$$M_{ст\ мах} = r_б \cdot g \cdot \left[m_г + (m_к - m'_к) \cdot n_к \cdot H\right] \qquad (7.50)$$

при двухсосудном подъеме;

$$M_{ст\ мах} = r_б \cdot g \cdot \left[\psi_{пр} \cdot m_г + (m_к - m'_к) \cdot n_к \cdot H\right], \qquad (7.51)$$

при однососудном подъеме с противовесом,

где $r_б$ – радиус барабана канатоведущего органа, м; $n_к$ – число канатов, для одноканатного подъема $n_к = 1$.

2. При перестановке барабанов тормозное устройство должно развивать на одном ободе тормозной момент, равный не менее 1,2 статического момента, создаваемого силой весом подъемного сосуда и одной ветви каната.

3. При включении предохранительного торможения замедление системы соответственно при спуске и подъеме расчетного груза должно быть не менее $a_т \geq 1{,}5$ м/с^2 и не более $a_т \leq 5$ м/с^2.

4. В подъемных установках со шкивами трения замедление, создаваемое рабочим или предохранительным торможением, не должно превышать величины, обусловленной проскальзыванием каната на шкиве, т. е. $a_к$.

5. Время холостого хода тормоза при предохранительном торможении не должно превышать в новых машинах 0,3 с.

Тормозные системы включают тормоза, состоящие из исполнительных органов и их приводов, и системы управления тормозами.

Исполнительные органы тормозов выполняются двух видов: с радиальным и осевым приложениями усилий к тормозному ободу.

Тормоза с радиальным приложением усилия могут иметь поступательное, угловое и комбинированное перемещения тормозных колодок. Тормоза с осевым приложением усилия выполняются с поступатель-

ным перемещением колодок при торможении. Эти тормоза называют дисковыми.

Исполнительные органы с радиальным поступательным перемещением колодок (рис. 7.20) обладают рядом преимуществ перед исполнительными органами с радиальным угловым перемещением: развивают в 1,5-1,7 раза больший тормозной момент и имеют примерно в 2 раза больший срок службы, что объясняется большим углом охвата и более равномерным распределением давления по дуге охвата. Недостатками тормоза с поступательным движением колодок являются сложность конструкции и большое число шарниров, затрудняющих монтаж и наладку тормозной системы. Тормозами с поступательным движением колодок снабжается большинство отечественных машин; тормозами с угловым перемещением колодок – машины со шкивами трения [1].

Исполнительные органы тормозных устройств имеют однотипную схему (см. рис. 7.20, *а*).

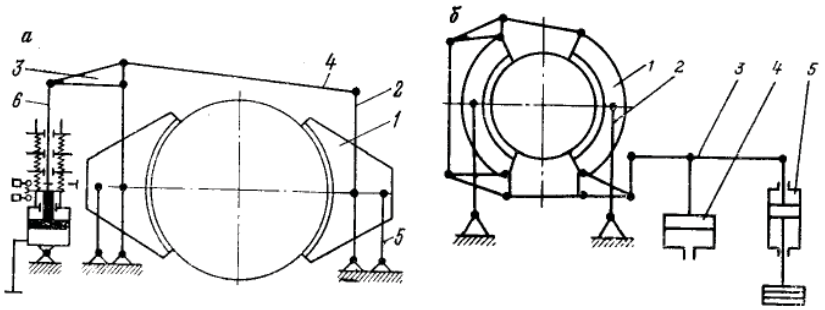


Рис. 7.20. Схемы тормозов подъемных машин Донецкого завода им. ЛКУ (*а*) и НКМЗ (*б*)

Каждый исполнительный орган состоит из двух колодок 1, охватывающих обод канатоведущего органа, двух вертикальных рычагов 2, к которым шарнирно крепятся колодки, треугольного рычага 3, регулируемой тяги 4, соединяющей одну из колодок с треугольным рычагом, и тяги 5, с помощью которой регулируется положение тормозных колодок. К концу треугольного рычага 3 крепится шток 6 привода.

Вертикальные рычаги 2 и тяги 5 образуют шарнирный параллелограмм, который обеспечивает поступательное перемещение тормозных колодок.

При растормаживании, когда шток 6 движется вверх, рычаг 3 поворачивается по часовой стрелке, рычаги 2 отклоняются и колодки отходят от обода канатоведущего органа. При торможении под действием штока 6 рычаг поворачивается в обратном направлении, и тормозные колодки прижимаются к ободу, затормаживая его. У исполнительных органов тормозов (см. рис. 7.20, *б*) машин НКМЗ тормозные колодки 1, подвешенные шарнирно на рычагах 2, прижимаются к ободу органа навивки усилием, которое передается через систему треугольных рычагов и тяг от рычага 3 пневматического тормозного привода.

Тормозные колодки футеруются пресс-массовыми фрикционными накладками.

Исполнительный орган дискового тормоза (рис. 7.21) представляет собой набор тормозных элементов ***1***, расположенных с двух сторон тормозного диска ***2***.

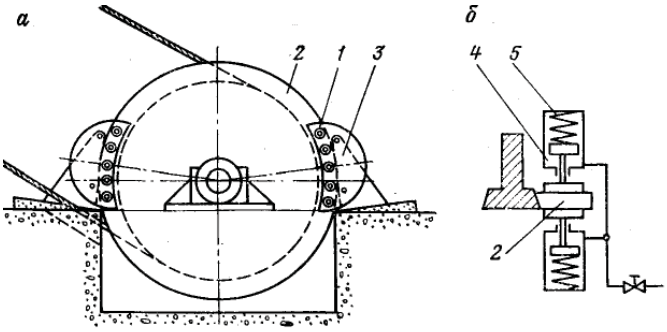


Рис. 7.21. Схема дискового тормоза (***а***)
и его тормозного гидравлического элемента (***б***)

Каждый элемент состоит из тормозной колодки ***3***, предварительно сжатой пружины ***5*** гидродомкрата ***4***. Два противолежащих элемента образуют одну тормозную единицу. При торможении и растормаживании колодки перемещаются в осевом направлении. Передача тормозных усилий на них производится от гидродомкратов через предварительно сжатые пружины.

Дисковый исполнительный орган, имеющий осевое перемещение колодок, обладает по сравнению с тормозами с радиальным перемещением колодок рядом преимуществ: большим быстродействием (до 0,1 с) вслед-

ствие уменьшения движущихся масс; более высокой надежностью вследствие разделения исполнительного органа на несколько элементов (от 6 до 12); более простой конструкцией и меньшими габаритами.

Отечественные подъемные машины оборудуются тормозами с радиальным перемещением колодок. Тормоза с осевым перемещением (дисковые) находятся в стадии испытаний.

Привод тормозов служит для создания усилий при торможении и растормаживании подъемной машины. Усилия от привода на колодки передаются через рычажную систему тормоза.

В нерабочем состоянии машина нормально заторможена, колодки тормозов прижаты к тормозным ободьям усилиями пружин или груза, или пружин и груза одновременно. Источником сил при растормаживании машины является давление рабочей жидкости (воздуха или масла), поднимающей груз или сжимающей пружину.

Применяются следующие типы тормозных приводов:

1) гидрогрузовые;
2) пневмогрузовые;
3) пружинно-пневмогрузовые;
4) пружинно-гидрогрузовые;
5) пружинно-гидравлические.

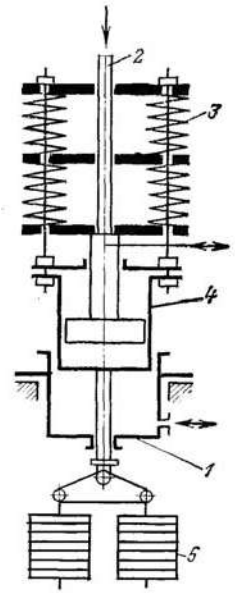


Рис. 7.22. Схема пружинно-пневмогрузового тормозного привода

Пружинно-пневмогрузовой привод (рис. 7.22) состоит из телескопического двойного домкрата ***1*** со штоком ***2*** и блока предварительно сжатых цилиндрических пружин ***3***. Внутренний цилиндр ***4*** является одновременно поршнем предохранительного торможения и к нему снизу подвешивается тормозной груз ***5***.

При растормаживании сжатый воздух (масло) одновременно подается во внутренний и во внешний цилиндры домкрата, благодаря чему пружины сжимаются, и шток ***2*** растормаживает колодки тормоза. Рабочее торможение осуществляется выпуском воздуха из внутреннего цилиндра и действием на тормоз разжимающихся пружин. Воздух во

внешнем цилиндре удерживает цилиндр ***4*** рабочего торможения в верхнем положении. В случае предохранительного торможения воздух одновременно выпускается из обоих цилиндров и из-за разной инерционности действий пружин и груза тормозное усилие увеличивается ступенчато. Вначале создается усилие рабочего торможения действием разжимающихся пружин, а затем добавляется усилие от тормозного груза, которое передается штоку через пружины. Под действием груза внутренний цилиндр опускается, пружины сжимаются дополнительно и тормозное усилие возрастает. Тормозной груз вызывает торможение машины и при заклинивании поршня рабочего цилиндра, а также при поломке пружин.

Каждый тормоз подъемной машины снабжается индивидуальным тормозным приводом. Каждый канатоведущий орган оборудуется двумя тормозами, которые воздействуют на тормозные ободья, выполненные как одно целое с органом навивки.

Системы управления тормозами подъемных машин выполняются пневматическими и гидравлическими. Они включают распределительную и регулирующую аппаратуру, воздухо- или маслопроводы, компрессоры или насосы.

Однако наибольшее распространение получили пневматические системы управления тормозами в связи с тем, что они обеспечивают большую плавность приложения тормозных усилий.

7.12. Электропривод подъемных установок и основные требования к электроприводу

Электропривод подъемных машин должен:

1) развивать большой начальный пусковой момент, иметь большую перегрузочную способность и реверсироваться;

2) обеспечивать независимость частоты вращения от изменения нагрузки;

3) осуществлять динамическое торможение;

4) работать устойчиво при максимальной и минимальной скоростях при изменении нагрузки;

5) обеспечивать регулирование скорости в широких пределах – от 0 до v_{max} и от v_{max} до 0;

6) быть удобным для автоматического управления, надежным и безопасным в работе.

Этим требованиям удовлетворяют в основном два типа электродвигателей: асинхронный с фазным ротором и постоянного тока с независимым возбуждением. Асинхронные электродвигатели широко используются в приводе подъемных машин малой и средней мощностей до 1200 Вт и в двухдвигательном приводе с суммарной мощностью до 2000 Вт, двигатели постоянного тока используются при большой мощности привода – более 1000 Вт. Из-за потерь энергии в реостатах при управлении асинхронными двигателями экономически целесообразнее при большой мощности применять двигатели постоянного тока [1, 15, 16].

Замедление подъемной машины с асинхронным двигателем осуществляется механическим торможением при отключении электродвигателя и с помощью электродвигателя. В последнем случае электродвигатель может использоваться для двигательного замедления и динамического торможения.

Двигательное замедление осуществляется введением сопротивлений в цепь ротора и применяется в режиме, когда при свободном выбеге системы требуется небольшое двигательное усилие для дотягивания.

Динамическое торможение осуществляется отключением статора от сети переменного тока и питанием его постоянным током. В статоре создается постоянное магнитное поле. Взаимодействие этого поля с индуктируемым магнитным полем в роторе создает тормозной момент, который может регулироваться изменением величины постоянного тока и сопротивлений реостата в цепи ротора.

Динамическое торможение дает возможность регулировать скорость в широких пределах.

Как при двигательном, так и при динамическом торможении в конце накладываются механические тормоза.

Наиболее часто применяется первый способ управления замедлением подъемной машины с асинхронным приводом – механическое торможение.

Скорость подъемного двигателя постоянного тока регулируется изменением напряжения, подаваемого на его якорь от преобразователя тока. В случае преобразователя по системе Г-Д постоянный ток на якорь подъемного двигателя поступает от генератора, э.д.с. которого зависит от тока в его обмотке возбуждения. При использовании системы привода ТП-Д (тиристорный преобразователь-двигатель) постоянный ток к двигателю поступает от тиристорного преобразователя с устройством управления приводом.

Мощность электродвигателя подъемной машины обычно определяется в два этапа. На первом этапе производится ориентировочный расчет мощности и выбор электродвигателя для определения момента инерции (необходимого при построении диаграмм усилий) и сравнения различных вариантов проектируемого подъема. На втором этапе проводится уточненный расчет установленной мощности электродвигателя.

Ориентировочная мощность электродвигателя определяется по формуле:

$$N_0 = \rho \cdot \frac{K}{\eta_р} \cdot N_{пол}, \tag{7.52}$$

где ρ – коэффициент, называемый по предложенной терминологии акад. М. М. Федорова характеристикой динамического режима и зависящий от момента инерции подъемной установки, степени ее неуравновешенности и множителя скорости α; K – коэффициент, учитывающий увеличение нагрузки за счет вредных сопротивлений; $\eta_р$ – к.п.д. редуктора подъемной машины.

На основе опыта проектирования принимают следующие значения ρ подъемных установок: с неопрокидными скипами 1,3-1,4; с опрокидными скипами 1,4-1,5; с неопрокидными клетями 1,5-1,6; с опрокидными клетями 1,8-2,2 и для многократных установок 1,2-1,3.

Полезная мощность электродвигателя $N_{пол}$ (без учета потерь), затрачиваемая на подъем полезного груза с массой $m_г$ средней скоростью:
для однососудной установки с противовесом

$$N_{пол} = \frac{(1-\psi) \cdot g \cdot m_г \cdot v_{ср}}{1000}; \tag{7.53}$$

для двухсосудной вертикальной установки

$$N_{пол} = \frac{g \cdot m_г \cdot v_{ср}}{1000}, \tag{7.54}$$

где ψ – коэффициент, учитывающий степень уравновешивания массы груза $m_г$ массой противовеса; $v_{ср}$ – средняя скорость движения сосуда, м/с:

$$v_{ср} = \frac{H}{t_д}. \tag{7.55}$$

Окончательно мощность электродвигателя подъемной машины выбирается по допустимому нагреву его обмоток и электродвигатель проверяется на перегрузочную способность по максимальным усилиям в подъ-

емной установке. При переменных по величине нагрузках подъемных машин мощность электродвигателя по нагреву определяется исходя из эквивалентных усилий. Под эквивалентным усилием $F_{эк}$ понимают такое воображаемое постоянное усилие, при котором в двигателе выделяется в течение времени $T_{эк}$ такое же количество теплоты, как при работе двигателя с фактическими переменными нагрузками $F_д$ за цикл подъема T:

$$T_{эк} = k \cdot (t_1 + t_3) + t_2 + k_п \cdot \theta, \tag{7.56}$$

где $k_д$ и $k_п$ – коэффициенты, учитывающие ухудшение охлаждения электродвигателей в переходные периоды и во время пауз, принимают $k_д = 0{,}6 – 0{,}7$ и $k_п = 0{,}25 – 0{,}4$; θ – пауза между циклами подъема, с.

В общем случае эквивалентное усилие выражается формулой

$$F_{эк} = \sqrt{\frac{1}{3}\frac{\sum\left(F_{i2}^2 + F_{i1} \cdot F_{i2} + F_{i2}^2\right) \cdot t_i}{t_2 + k_д \cdot \sum t_i + k_ц \cdot \theta}}, \tag{7.57}$$

если $m_к \neq m'_к$ или уравновешивающий канат не применяется, и

$$F_{эк} = \sqrt{\frac{\sum F_i^2 \cdot t_i}{t_2 + k_д \cdot \sum t_i + k_п \cdot \theta}}, \tag{7.58}$$

если $m_к = m'_к$,

где F_{i1} и F_{i2} – величина движущего усилия соответственно в начале и конце интервала времени t_i.

Для промежутков времени, когда электродвигатель отключен от сети, значения интегралов равны нулю.

Мощность электродвигателя подъемной машины определяется по эквивалентному усилию $F_{эк}$:

$$N = \frac{F_{эк} \cdot v_{max}}{1000 \cdot \eta_р}, \tag{7.59}$$

где $\eta_р$ – к.п.д. редуктора подъемной машины.

Мощность двигателя принимается больше расчетной на 10-15 % с учетом возможного падения напряжения в электрической сети [1].

Выбранный электродвигатель проверяется на допустимую перегрузку

$$\gamma \geq \frac{F_{д\ max}}{F_н}, \tag{7.60}$$

где γ – перегрузочная способность электродвигателей; $F_{д\ max}$ – максимальное движущее усилие, установленное по диаграмме; $F_н$ – номи-

нальное усилие двигателя, определяется по его номинальному моменту и приводится к ободу канатоведущего органа.

Определение расхода энергии и к.п.д. подъемной установки

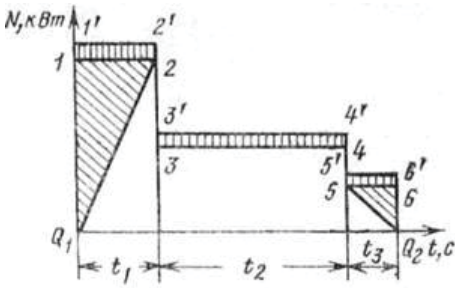


Рис. 7.23. Диаграмма мощности,
потребляемая асинхронным электродвигателем

Расход энергии из сети определяется по диаграммам мощности и зависит от типов электродвигателей. Диаграммы мощности (рис. 7.23) на валу канатоведущего органа строятся на основании диаграмм скорости и усилий с использованием формулы при органе навивки с постоянным радиусом [1].

$$N_i = \frac{F_i \cdot v_i}{1000}, \tag{7.61}$$

где F_i, и v_i – усилие на канатоведущем органе и скорость движения сосуда в момент времени t_i.

Расход энергии $W_ц$ из сети за цикл равен площади диаграммы мощности, потребляемой из сети, кВт·ч:

$$W_ц = \frac{K_м}{3600} \sum_1^n N_{i\ ср} \cdot t_i, \tag{7.62}$$

где n – число периодов диаграммы; $K_м$ – 1,03-1,05 – коэффициент, учитывающий расход энергии во время маневров и торможения; $N_{iср}$ – средняя мощность за i-й период диаграммы, при линейном изменении мощности определяется как среднее значение мощности в начале N_{i2} и в конце $N_{iср}$ периода, $N_{iср} = (N_{i1} + N_{i2})/2$.

Расход энергии Wт на 1 т поднимаемой массы груза, кВт·ч:

$$W_{т} = \frac{W_{ц}}{G_{г}}, \tag{7.63}$$

где $G_{г}$ – грузоподъемность подъемного сосуда, т.

Расход энергии на 1 т·км при высоте подъема *H:*

$$W_{т\cdot км} = \frac{W_{т}}{H}. \tag{7.64}$$

Годовой расход электроэнергии $W_{г}$ подъемной установки, кВт·ч:

$$W_{г} = Q_{г} \cdot W_{т} \tag{7.65}$$

где $Q_{г}$ – годовая производительность установки, т.

К.п.д. подъемной установки определяется как отношение полезного расхода энергии за цикл к расходу энергии, потребляемой из сети:

$$\eta_{п.у} = \frac{W_{пол}}{W_{ц}}. \tag{7.66}$$

Полезный расход энергии за цикл у вертикальных двухсосудных подъемных установок, кВт·ч:

$$W_{пол} = \frac{g \cdot m_{г} \cdot H}{1000 \cdot 3600}. \tag{7.67}$$

К.п.д. подъемной машины будет больше к.п.д установки так как он не учитывает сопротивлений в стволе и направляющих шкивах.

$$\eta_{п.у} = K \cdot \eta_{п.м}, \tag{7.68}$$

где *K* – коэффициент вредных сопротивлений.

Список используемой литературы

1. *Картавый Н. Г.* Стационарные машины. М.: Недра, 1981.

2. *Хаджиков Р. Н.* Горная механика. М.: Госгортехиздат, 1962.

3. *Киселев В. И.* Горная механика. М.: Госгеолтехиздат, 1961.

4. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Энергия, 1977.

5. *Борохович А. И., Гусев В. В.* Стационарные машины и установки на открытых горных разработках. М.: Недра, 1969.

6. *Попов В. М.* Водоотливные установки: справ. пособие. М.: Недра, 1990.

7. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности* «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полез-

ных ископаемых». Утверждены Приказом Ростехнадзора от 11.12.2013 № 599. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2015. 212 с.

8. *Алексеев В. В.* Стационарные машины. М.: Недра, 1989.

9. *Гришко А. П., Шелоганов В. И.* Стационарные машины и установки. М.: МГГУ, 2007.

10. *Долганов А. В.* Современное состояние рудничного водоотлива при отработке медно-колчеданных месторождений Южного Урала // Горный информ.-аналит. бюл. М.: МГГУ, 2009. № 2. С. 12–15.

11. *Долганов А. В.* Влияние износа элементов проточной части шахтных насосов ЦНС(К) 300-360 на режимы их работы // Известия Уральского государственного горного университета: сб. науч. тр. Екатеринбург: Изд-во Уральск. гос. горн. ун-та, 2012. Выпуск 27–28. С. 110–113.

12. *Долганов А. В.* Разработка классификации способов очистки от шламов отстойников горных производств // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. науч. тр. Екатеринбург: Изд-во Уральск. гос. горн. ун-та, 2016. С. 33–36.

13. *Долганов А. В.* Шламы медно-колчеданных рудников: проблемы и пути решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2013. № 4. С. 10–14.

14. *ОАО НИПИГОРМАШ*: каталог продукции, 2012.

15. *Стационарные установки шахт* / под ред. Б. Ф. Братченко. М.: Недра, 1977.

16. *Правицкий Н. К.* Рудничные подъемные установки. М., 1963.

17. *Найденко И. С., Белый В. Д.* Шахтные многоканатные подъемные установки. М.: Недра, 1979.

18. *Долганов А. В., Великанов В. С.* Стационарные машины: конспект лекций. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 218 с.

ЧАСТЬ 2
МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН

1. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА ШАХТНОЙ И КАРЬЕРНОЙ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК

Задачами эксплуатационного расчета водоотливной установки являются: выбор схемы водоотлива, подбор насоса и диаметр става, составление гидравлической схемы водоотливной установки, аналитическое и графическое определение режима насоса водоотливной установки, выбор электродвигателя и расчет расхода электроэнергии, обоснование объема водосборника и насосной камеры [14].

Исходные данные для расчета

1. Вид добываемого полезного ископаемого:
- уголь (У);
- железная руда (Fe);
- медная руда (Cu);
- полиметаллические руды (Пм).
2. Глубина шахты (рудника) $H_{ш}$, м.
3. Глубина обработанной части карьера $H_{ко}$, м.
4. Высота уступа $h_{у}$, м.
5. Угол откоса уступа $\alpha_{у}$, (град).
6. Нормальный водоприток в карьер $Q_{норм\ к}$, м^3/ч.
7. Максимальный водоприток карьера $Q_{max\ к,}$ м^3/ч.
8. Коэффициент водообильности пород, $k_{во}$.
9. Коэффициент кратности водопритока $k_{кр}$.
10. Количество дней в году:
- с минимальным водопритоком z_{min};
- с максимальным водопритоком, z_{max}.
11. Годовая производительность шахты $A_{ш}$, млн т/год.

1.1. Определение водопритока

1.Карьер

Определяем нормальный, суточный водоприток в карьер по выражению, м³/сут.,

$$Q^{\text{сут}}_{\text{норм.к}} = Q_{\text{норм к}} \cdot 24, \quad (1.1)$$

где $Q_{\text{норм к}}$ – нормальный водоприток в карьер, м³/ч.

Определяем максимальный суточный водоприток в карьер, м³/сут.,

$$Q^{\text{сут}}_{\text{max.к}} = Q_{\text{max к}} \cdot 24, \quad (1.2)$$

где $Q_{\text{max к}}$ – максимальный водоприток в карьер, м³/ч.

2.Шахта (подземный рудник)

Определяем нормальный суточный водоприток в шахту, м³/сут.,

$$Q^{\text{сут}}_{\text{норм.ш}} = \frac{A_{\text{г}} \cdot k_{\text{во}}}{Д_{\text{к}}}, \quad (1.3)$$

где $A_{\text{г}}$ – годовая производительность шахты, млн т/год; $k_{\text{во}}$ – коэффициент водообильности; $Д_{\text{к}}$ – количество календарных дней в году.

Определяем максимальный суточный водоприток в шахту, м³/сут.,

$$Q^{\text{сут}}_{\text{max.ш}} = Q^{\text{сут}}_{\text{норм.ш}} \cdot k_{\text{кр}}, \quad (1.4)$$

где $k_{\text{кр}}$ – коэффициент кратности водопритока.

1.2. Определение подачи насоса

Расчетная подача насоса $Q_{\text{р}}$ (м³/ч) определяется:

- по нормальному водопритоку $Q_{\text{норм}}$, м³/ч,

$$Q_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{норм}}}{T}; \quad (1.5)$$

- по максимальному водопритоку Q_{max}, м³/ч,

$$Q_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{max}}}{T}, \quad (1.6)$$

где T – нормативное число часов в сутки для откачки суточных водопритоков, устанавливаемое правилами безопасности ПБ [1]. Для угольных месторождений, разрабатываемых подземным способом, T = 16 ч.

Для рудных месторождений, разрабатываемых подземным способом, а также дренажных шахт, $T = 20$ ч.

1.3. Определение напора насоса

Расчетный напор насосной станции $H_р$ (м) определяется из выражения (при $D_н = D_{вс}$)

$$H_р = H_г + \left(\frac{L}{D_н} \cdot \lambda + \sum \xi + 1\right) \cdot \frac{v_р^2}{2 \cdot g}, \quad (1.7)$$

где $Н_г$ – расчетная геодезическая высота подъема воды, м, $D_н$, $D_{вс}$ – внутренние диаметры нагнетательного и всасывающего трубопроводов, мм;

$$H_г = H_ш + H_{вс} + H_п, \quad (1.8)$$

где $H_{вс} = 2 – 5$ м – геодезическая высота всасывания насоса; $H_п = 1 – 2$ м – высота переподъема воды на поверхности; L – ориентировочная длина трубопровода водоотливной установки, м;

$$L = H_ш + l_1 + l_2 + l_3 + l_4, \quad (1.9)$$

где l_1 – длина всасывающего трубопровода, м (для карьера и для шахты); $l_2 – 25 – 30$ м – длина трубопровода в насосной камере; $l_3 – 15 – 20$ м – длина трубопровода в трубном ходке; $l_4 – 15 – 30$ м длина трубопровода на поверхности шахты, карьера до места слива.

По исходным данным ($H_{ко}$ и $\alpha_у$) находим длину напорного трубопровода в карьере $L_к$, м.

Диаметр нагнетательного трубопровода определяется по формуле:

$$D_н = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_р}{3600 \cdot \pi \cdot v_н}}, \quad (1.10)$$

где $Q_р$ – расчетный расход жидкости по одному нагнетательному ставу труб, м^3/ч; $v_н = 1,5 – 2,5$ м/с – экономически наивыгоднейшая скорость движения воды по нагнетательному трубопроводу водоотливной установки.

Диаметр всасывающего трубопровода определяется по формуле:

$$D_{вс} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_р}{3600 \cdot \pi \cdot v_{вс}}}, \quad (1.11)$$

где $v_{вс} = 0,9 – 1,2$ м/с – рекомендуемая скорость воды во всасывающем трубопроводе; λ – коэффициент местных гидравлических сопротивлений.

$$\lambda = \frac{0{,}0195}{\sqrt[3]{D_н}}, \qquad (1.12)$$

где $\Sigma\zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений (для типовой гидравлической схемы трубопроводов $\Sigma\zeta = 25 – 35$).

1.4. Выбор типа и количества насосов

Выбор типа насоса производят по расчетным значениям Qр (см. п. 1.2) и Нр (см. п. 1.3). Для этого необходимо на сводный график рабочих зон промышленного использования насосов нанести точку с координатами $Q_р$ и $H_р$ [2 – 4]. Если точка попадет в рабочую зону нескольких насосов, то выбор окончательного варианта будет зависеть от результатов технико-экономического сравнения.

В случае, если требуемый напор не может быть обеспечен насосом данной подачи, необходимо рассмотреть следующие варианты:

- применение насоса с большей подачей и напором;
- применение ступенчатого водоотлива с последовательным включением насосов, расположенных на различных горизонтах;
- применение ступенчатого водоотлива с водосборником на промежуточном горизонте.

Если необходимая подача превышает максимальную для насоса, который проходит по напору, следует рассмотреть вариант применения параллельной работы насосов на один трубопровод.

Для главных водоотливных установок шахт применяются в основном многосекционные насосы типа ЦНС (ГОСТ 19407-70), одноступенчатые типов Д (ГОСТ 10273-73), К (ГОСТ 22247-76) и др [2].

Согласно рекомендациям по выбранной характеристике из каталогов [2] выписываем тип принятого насоса и по условному обозначению насоса определяем внутренний диаметр всасывающего $D_{вс}$ и нагнетательного $D_н$ трубопроводов. Далее делаем выкопировку индивидуальной характеристики насоса (см. рис. 2.16, часть I) и определяем по ней подачу $Q_{нас}$ и напор $H_к$, развиваемый одним рабочим колесом насоса при максимальном коэффициенте полезного действия (к.п.д.).

1. Карьер ($Q_р$, м^3/ч и $H_р$, м)

Предварительно принимаем насос (указать тип) и приводим его техническую характеристику в табличной форме.

2. Шахта ($Q_р$, м^3/ч и $H_р$, м)

Предварительно принимаем насос (указать тип) и приводим его техническую характеристику в табличной форме.

Определяем стандартные размеры внутренних диаметров всасывающего $D_{вс}$ и нагнетательного $D_{н}$ трубопроводов.

1. Карьер:

-диаметр нагнетательного трубопровода $D_{н}$, мм;

-диаметр всасывающего трубопровода $D_{вс}$, мм.

2. Шахта:

-диаметр нагнетательного трубопровода $D_{н}$, мм;

-диаметр всасывающего трубопровода $D_{вс}$, мм.

Напор насоса при нулевой подаче, т. е. при закрытой задвижке, для карьера и шахты определяется по выражению, м

$$H_0 = H_к \cdot z \tag{1.13}$$

где $H_к$ – напор, развиваемый одним колесом насоса при закрытой задвижке, м (см. рис. 2.16, часть I); z – число рабочих колес.

Число рабочих колес для насосов карьерной и шахтной водоотливных установок по выражению:

$$z = \frac{H_р}{Н_к} \quad , \tag{1.14}$$

где $H_р$ – расчетный напор насоса, м.

Если в результате расчета число рабочих колес насоса получилось дробным, то округляем его до ближайшего, большего целого числа.

Количество рабочих насосов для откачки суточного притока определяется:

- при откачке нормального водопритока

$$n_{н.в} = \frac{Q_н}{Q_{нас}} \; ; \tag{1.15}$$

- при откачке максимального водопритока

$$n_{max.в} = \frac{Q_{max}}{Q_{нас}} \; . \tag{1.16}$$

Помимо рабочих насосов, на насосной станции предусматриваются резервные насосы и насосы, находящиеся в ремонте. Так, при расчетном количестве рабочих насосов [2 – 4]:

- $n_{р.н.}$ = 1 принимают 3 насоса (один рабочий, один в ремонте, один в резерве);

- $n_{р.н.}$ = 2 принимают 4 насоса (два рабочих, один в ремонте, один в резерве);

- $n_{р.н.}$ = 3 принимают 5 насосов (три рабочих, один в ремонте, один в резерве);

- $n_{р.н.}$ = 5 принимают 8 насосов (пять рабочих, один в ремонте, два в резерве).

Соотношение насосов рабочих, резервных и находящихся в ремонте устанавливается согласно требованиям правил безопасности ПБ [1]. При этом суммарная подача рабочих и резервных насосов должна быть не меньше расчетной подачи насосной станции по максимальному притоку.

1.5. Обоснование количества нагнетательных ставов водоотливных установок

Центральная и главная водоотливные установки карьеров и шахт должны иметь не менее двух нагнетательных трубопроводных ставов по требованиям ПБ [1]: рабочий и резервный (рис. 1.1).

Для установки с четырьмя насосами, из которых два постоянно действующие, а также при откачивании агрессивных (кислотных и щелочных) вод ПБ требуют применения трех нагнетательных ставов.

Число напорных ставов на шахтах, карьерах и подземных рудниках можно определить из условия скорости течения воды в трубопроводе, которая не должна превышать 2,5 м/с при одном отключенном напорном трубопроводе [1].

1.6. Составление гидравлической схемы насосной установки

На основании расчетных и принятых данных числа насосов и водородного показателя *ph* откачиваемых вод составляются эксплуатационные гидравлические схемы карьерной и шахтной водоотливных установок.

Гидравлическая схема должна отображать:

1) водосборник, насосную станцию, всасывающий и нагнетательный трубопроводы;

2) количество и схему соединения насосов;

3) схему разводки трубопроводов в насосной станции;

4) расстановку пускорегулирующей и предохранительной арматуры (задвижек, вентилей, обратных клапанов, предохранительных сеток, манометров и т.д.);

5) водоотливную канаву или сливной трубопровод (рис. 1.1).

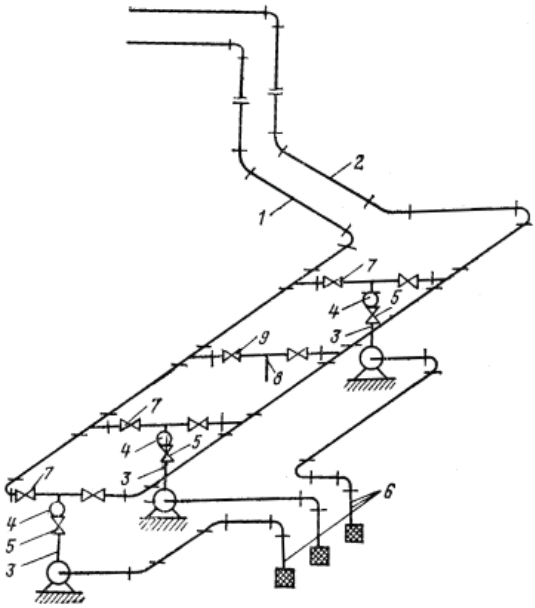


Рис. 1.1. Типовая гидравлическая схема трубопроводов главного водоотлива:
1 и 2 – рабочий и резервный магистральные трубопроводы;
3 – соединительный патрубок; 4 – обратный клапан; 5 – запорная задвижка;
6 – всасывающие трубопроводы; 7 – распределительная задвижка;
8 и 9 – труба и задвижка для выпуска воды из ставов в водосборник

Схема разводки нагнетательного трубопровода по насосной станции должна обеспечивать переключение любого насоса на любой нагнетательный став. В зависимости от типа принимаемых при проектировании насосов прокладка трубопроводов в насосной камере может быть с верхней или нижней разводкой. Верхняя разводка преимущественно применяется при использовании секционных насосов, а нижняя – при использовании спиральных насосов.

1.7. Расчет характеристики внешней сети

Расчетным путем находим характеристику внешней сети водоотливной установки (для наиболее протяженной ветви внешней сети) по формуле:

$$H_{\text{с}} = H_{\text{г}} + ((\lambda_{\text{н}} \frac{l_{\text{н}} + \Sigma l_{\text{экв.н}}}{D_{\text{н}}} + 1) \frac{1}{D_{\text{н}}^4} +$$

$$+ (\lambda_{\text{вс}} \frac{l_{\text{вс}} + \Sigma l_{\text{экв.вс}}}{D_{\text{вс}}} + 1) \frac{1}{D_{\text{вс}}^4}) \times$$

$$\times \frac{8 \cdot Q^2}{3600^2 \cdot \pi^2 \cdot g} = H_{\text{г}} + R_{\text{т}} Q^2 \quad , (1.17)$$

где $H_{\text{г}}$ – расчетная геодезическая высота подъема воды, м; $\lambda_{\text{н}}$, $\lambda_{\text{вс}}$ – коэффициенты местных гидравлических сопротивлений:

$$\lambda_{\text{н}} = \frac{0{,}0154}{\sqrt[3]{D_{\text{н}}}} \quad \lambda_{\text{вс}} = \frac{0{,}0154}{\sqrt[3]{D_{\text{вс}}}} \quad ,(1.18)$$

$l_{\text{н}}$, $l_{\text{вс}}$ – длина *i*-х прямолинейных участков нагнетательного и всасывающего трубопроводов (рис. 1.2), м:

$$l_{\text{вс}} = l_{\text{вс1}} + l_{\text{вс2}} + \ldots + l_{\text{вс}i};$$

$$l_{\text{вс}} = l_{\text{н1}} + l_{\text{н2}} + \ldots + l_{\text{н}i},$$

$\Sigma l_{\text{экв.н}}$, $\Sigma l_{\text{экв.вс}}$ – эквивалентная длина *i*-й арматуры нагнетательного и всасывающего трубопроводов:

$$\Sigma\, l_{\text{экв.вс}} = n l_{\text{экв.вс1}} + n l_{\text{экв.вс2}} + \ldots + n l_{\text{экв.вс}i};$$

$$\Sigma\, l_{\text{экв.н}} = n l_{\text{экв.н1}} + n l_{\text{экв.н2}} + \ldots + n l_{\text{экв.н}i},$$

где n – количество одноименных *i*-х элементов арматуры всасывающего и нагнетательного ставов; Q – подача насоса при максимальном к.п.д., м^3/ч; R_m – удельное сопротивление трубопровода:

$$R_{\text{т}} = (\lambda_{\text{н}} \frac{l_{\text{н}} + \Sigma l_{\text{экв.н}}}{D_{\text{н}}} + 1) \frac{1}{D_{\text{н}}^4} +$$

$$+ (\lambda_{\text{вс}} \frac{l_{\text{вс}} + \Sigma l_{\text{экв.вс}}}{D_{\text{вс}}} + 1) \frac{1}{D_{\text{вс}}^4}) \frac{8}{3600^2 \pi^2 g} \quad . \quad (1.19)$$

Если диаметр всасывающего и нагнетательного трубопроводов одинаков, то

$$R_{т} = (\lambda_{н} \cdot \frac{L_{общ}}{D} + \sum \xi + 1) \cdot \frac{8}{3{,}6 \cdot 10^{4} \cdot D^{4} \cdot g} \quad . \qquad (1.20)$$

Расчетные значения коэффициента местных гидравлических сопротивлений приведены в табл. 1.1 [2, 4].

Таблица 1.1

Расчетные значения коэффициентов гидравлических сопротивлений

Диаметр трубы $D_{вн}$, мм	50	100	150	200	300	400	600
Коэффициент сопротивления λ	0,052	0,042	0,037	0,032	0,03	0,276	0,0244

Расчетные значения эквивалентной длины арматуры трубопроводов приведены в табл. 1.2 [2, 4, 14].

Таблица 1.2

Расчетные значения эквивалентной длины арматуры трубопроводов

Наименование арматуры трубопровода	**Эквивалентная длина арматуры, м, при внутреннем диаметре труб, мм**					
	50	100	150	250	400	600
Обратный клапан	10	25	45	70	150	250
Приемный клапан	5	12	20	30	70	110
Задвижка	0,5	1,2	2	3	7	11
Нормальное колено	0,3	0,8	1,3	2	4,5	7
Тройник	3	8	13	20	45	70
Переходный патрубок	11	22	3	5	11	18

Расчет характеристики внешней сети $H_{с}$ ведется по уточненной гидравлической схеме для карьерной и рудничной водоотливных установок. Для этого определяем $H_{г}$ и $R_{т}$, задаваясь подачей Q в интервале от 0 до 2, находим $H_{с}$ для каждого значения Q, а результаты сводим в таблицу 1.3.

На графике индивидуальной характеристики насоса (см. рис. 1.2) в том же масштабе строим характеристику внешней сети $H_{с}$.

Действительный режим работы насосной установки определяется графически (см. рис. 1.2) как точка пересечения напорной характеристики $H = f(Q)$ и характеристики внешней сети $H_{с}$, т.е. определяются

фактические значения подачи $Q_ф$, напора $H_ф$, к.п.д. – $\eta_ф$, допустимой вакуумметрической высоты всасывания $H_{вак.\ нд}$.

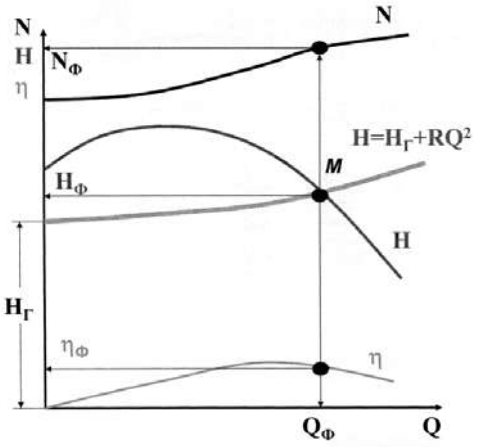


Рис. 1.2. Действительный режим работы насосной установки

Данные расчета внешней сети водоотливной установки приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Расчет внешней сети водоотливной установки

Параметры	0	0,25Q	0,5Q	0,75Q	Q	1,25Q	1,5Q	1,75Q	2Q
Q^2, м^3/ч									
$R_m \cdot Q^2$									
$H_c = H_г + R_m \cdot Q^2$									

При этом для насосов типа ЦНС, для которых в каталогах напорная характеристика дается на одно колесо, напорная характеристика насоса получается путем увеличения (умножения) значений точек кривой напорной характеристики насоса на одно колесо на количество рабочих колес насоса.

Определение режима работы водоотливной установки в случае совместной работы нескольких насосов, соединенных последовательно

или параллельно, определяется как суммарный режим их работы, так и режим работы каждого насоса.

1.8. Проверка действительного режима работы водоотливной установки

Проверка действительного режима работы насосов карьерной и шахтной водоотливной установок выполняется по следующим параметрам [2 – 4, 14]:

- на обеспечение расчетной подачи $Q_{ф} \geq Q_{р}$,
- на устойчивость (напор) $H_{ф} \leq 0{,}9 \cdot H_{0}$;

где H_{0} – напор, развиваемый насосом при нулевой подаче, определяется по напорной характеристике (см. рис. 1.2);

- по экономичности $\eta_{ф} \geq 0{,}9 \cdot \eta_{мах}$,

где $\eta_{мах}$ – максимальный к.п.д. насоса, определяемый по индивидуальной характеристике насоса (см. рис. 1.2).

Водоотливная установка проверяется также на отсутствие режима кавитации по выражению

$$H_{\text{вак.д}} \leq H^{\text{доп}}_{\text{вак.д.насоса}} , \tag{1.21}$$

где $H_{\text{вак.д}}$ – вакуумметрическая высота всасывания в действительном режиме работы насоса, м:

$$H_{\text{вак.д}} = H_{\text{вс}} + \left(\frac{l_{\text{вс}}}{D_{\text{вс}}} \lambda_{\text{вс}} + \sum \xi_{\text{вс}} \right) \frac{\nu^2_{\text{вс}}}{2 \cdot \text{g}} , \tag{1.22}$$

где $\lambda_{\text{вс}}$ – коэффициент местного гидравлического сопротивления; $Д_{\text{вс}}$ – диаметр всасывающего трубопровода, м; $\Sigma\xi_{\text{вс}} = 3{,}5 – 7$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений всасывающего трубопровода, м; $\nu_{\text{вс}}$ – скорость движения воды во всасывающем трубопроводе, м/с:

$$\nu_{\text{вс}} = \frac{4 \cdot Q_{\text{раб}}}{3600 \cdot \pi \cdot D^2_{\text{вс}}} . \tag{1.23}$$

Если условие безкавитационной работы не выполняется, т. е. разница между $H_{\text{вак.д}}$ и $H^{\text{доп}}_{\text{вак.д.насоса}}$ незначительна, то можно увеличить диаметр всасывающего трубопровода до ближайшего большего по стандарту.

Если увеличение диаметра не дает нужного эффекта, то уменьшают геометрическую высоту всасывания, максимально допустимое значение, которой определяется по формуле, м

$$H_{\text{вс.доп}} = H_{\text{вак.д}}^{\text{доп}} - \left(\lambda_{\text{вс}} \frac{l_{\text{вс}}}{D_{\text{вс}}} + \sum \xi_{\text{вс}} \right) \frac{v_{\text{вс}}^2}{2 \cdot \text{g}} \quad . \tag{1.24}$$

Если $H_{\text{вс. доп}} \leq 3{,}5$ м, то сооружается насосная станция заглубленного типа, в которой насосы размещаются ниже уровня воды в водосборнике, или применяют специальные подкачивающие насосы, например, ВП-340 [2].

Если несколько или одно из вышеперечисленных условий проверки не соблюдаются, то необходимо увеличить число рабочих колес или выбрать другой насос, а далее аналогично выполнить его проверку в соответствии с вышеперечисленными условиями.

По результатам проверки к установке окончательно принимается насос для водоотливной установки.

1.9. Расчет трубопровода на гидравлический удар

Повышение давления в трубопроводе до величины Δp при гидравлическом ударе определяется из уравнения проф. Н. Е. Жуковского, МПа

$$\Delta p = \rho \cdot v \cdot c \cdot 10^{-6}, \tag{1.25}$$

где $\rho = 1020 – 1040$, кг/м^3 – плотность перекачиваемой воды; v – фактическая скорость движения жидкости в трубопроводе, м/с; c – скорость распространения упругой волны давления в воде (для инженерных расчетов рекомендуется принимать $c = 1200$ м/с).

Определим максимальное давление, которое должен выдержать трубопровод насосной установки, МПа

$$P_{\text{max}} = P_{\text{н}} + \Delta p, \tag{1.26}$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальное расчетное давление воды в трубопроводе, МПа;

$$P_{\text{н}} = H_{\text{р}} \cdot 10^{-2}, \tag{1.27}$$

$H_{\text{р}}$ – расчетный напор, м.

Определим минимальную толщину стенки трубопровода насосной установки по выражению, мм

$$\delta = \frac{D}{2 \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{р}}}{P_{\text{max}}} - 1 \right)}, \tag{1.28}$$

где D – внутренний диаметр трубопровода, мм; $\sigma_р$ – допускаемое напряжение материала трубопровода разрыву, которое составляет 25 – 30 % временного сопротивления $\sigma_в$, МПа.

Толщина стенки трубопровода принимается с учетом срока его службы и скорости коррозионного износа внутренней поверхности трубы. Скорость коррозионного износа внутренней поверхности труб определяется химическим составом транспортируемой воды и может быть принята в пределах, приведенных в табл. 1.4 [2].

Таблица 1.4

Значения скорости и коррозионного износа внутренней поверхности трубы

Транспортируемая вода	**Водопроводная**	**Нейтральная или щелочная**	**Слабокислотная**	
			pH=6-7	**pH=5-6**
Скорость коррозионного износа внутренней поверхности трубы, мм/год	0,05	0,1	0,2	0,4

Для водоотливных трубопроводов принимают стальные бесшовные трубы из сталей марок: Ст2сп; Ст4сп, Ст5сп, Ст6сп (ГОСТ 8732-78).

Эти трубы имеют наружный диаметр от 25 до 820 мм при толщине стенки от 2,5 до 7,5 мм. Величина временного сопротивления разрыву $\sigma_в$ для приведенных выше марок стали дана в табл. 1.5 [2].

Таблица 1.5

Величина временного сопротивления разрыву

Марка стали	Ст2сп	Ст4сп	Ст5сп	Ст6сп
Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$	350	420	500	600

1.10. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя насоса

Мощность на валу электродвигателя насоса определяется для действительного режима работы насоса по выражению, кВт

$$N_н = \frac{H_ф \cdot Q_ф \cdot \rho}{102 \cdot \eta_ф \cdot 3600}, \qquad (1.25)$$

где $Q_ф$, $H_ф$, $\eta_ф$ – соответственно фактическая подача, напор и к.п.д. насоса.

Мощность электродвигателя, кВт

$$N_{дв} = (1{,}1 – 1{,}15) \cdot N_{н}. \quad (1.26)$$

По каталогу [2] принимаем ближайший больший по мощности электродвигатель с учетом частоты вращения насоса. При этом на главных и участковых водоотливных установках шахт, карьеров и подземных рудников в качестве привода преимущественно используют электродвигатели.

Двигатели внутреннего сгорания применяют на передвижных насосных установках. Пусковые нагрузки насосов обычно не превышают 36 – 40 % номинальной, поэтому наиболее экономичны асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

При номинальной мощности насоса более 100 кВт, как правило, используют высоковольтные двигатели специального исполнения типов МА, ТАМ-6, ДАМ-6, ДАМТ-6, ДАМСО и др. Для привода насосов небольшой мощности применяют единую серию низковольтных электродвигателей типов А и АО влагозащитного исполнения.

Для снижения пусковых токов у насосных агрегатов мощностью более 500 – 700 кВт в ряде случаев применяют асинхронные двигатели с фазным ротором типа ФАМСО. При мощности насосных агрегатов более 1000 – 1400 кВт выбирают синхронные двигатели.

Насосные агрегаты типов ЦТВ и НА оборудуются асинхронными короткозамкнутыми вертикальными электродвигателями серий АВ, АОВ, АПВ. На насосах типа ЭЦ преимущественно используют водозаполненные серии МАП-3 и ПЭДВ.

Для подключения и пуска в работу в приводе низковольтных двигателей насосов применяют магнитные пускатели типов П, ПМ, ПМВ, а для высоковольтных электродвигателей – распределительные, нормального исполнения, типов, ВЯП-6, ЯК-16, ЯКМ-16, КРШ, КРУН-6, РВД-6, КРУВ-6, УРВМ-43, выкатного и стационарного типов и т. д. После выбора типа и мощности электродвигателя выбирается комплект пусковой и защитной аппаратуры.

На принятое элекрооборудование из справочной литературы приводится техническая характеристика в табличной форме, включающая в себя:

- тип электродвигателя и пусковой аппаратуры;
- мощность;
- к.п.д.;

- частоту вращения;
- cos φ;
- стоимость.

С учетом выбранного и принятого оборудования составляется принципиальная электрическая схема насосной станции карьера, шахты и т. д.

1.11. Автоматизация водоотливных установок

После выбора типа электродвигателя принимается пусковая и защитная аппаратура с обоснованием выбора схемы автоматизации и краткого описания принципа работы автоматизированной установки.

Автоматическое управление работой водоотливных установок должно удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Обеспечение слежения за уровнем воды в водосборнике.
2. Обеспечение заливки насоса перед его пуском.
3. Обеспечение автоматического пуска и остановки в зависимости от уровня воды в приемном колодце или водосборнике.
4. Обеспечение контроля за подачей, напором, нагревом подшипников и загрузкой двигателя.
5. Обеспечение автоматического включения в работу резервного насоса в случае неисправности рабочего или резкого увеличения притока воды.
6. Автоматизированная водоотливная установка должна быть обеспечена ручным управлением на случай выхода из строя автоматики, а также для целей опробования и наладки.

1.12. Обоснование объема водосборника и насосной камеры

Общие сведения о насосной камере и водосборнике

Шахтные водоотливные установки включают водосборник и насосную камеру, соединенную ходками с околоствольным двором и шахтным стволом.

Карьерные водоотливные установки при открытом способе дренажа размещаются на самой низкой отметке карьера для эффективного сбора и откачивания всех поступающих вод.

Шахтные водосборники предназначены для сбора воды, поступающей из горных выработок, а карьерные – для сбора естественного водопритока и атмосферных осадков.

Водосборник и насосная камера главной водоотливной установки, как правило, располагаются в околоствольных выработках рудного двора на свежей струе у клетьевого ствола.

Насосные камеры обычно примыкают к камере центральной подземной электроподстанции горизонта и независимо от ее расположения камера должна иметь два выхода. Один, наклонный, выходит в выработку околоствольного двора и снабжается герметическими и решетчатыми дверями. В шахтах с большим притоком в этом ходке сооружается водонепроницаемая перемычка с герметичной дверью. Второй, наклонный ходок, проходит к стволу под углом $20 – 30^0$ и в месте сопряжения с ним он заканчивается горизонтальной площадкой на высоте 7 м от головки рельса рудного двора [2, 5].

Размеры обоих ходков должны быть рассчитаны на прокладку нагнетательных трубопроводов, электрокабелей и возможности выдачи через него в ствол оборудования из насосной станции, для чего в нем монтируется рельсовый путь и устанавливается лебедка, а для передвижения обслуживающего персонала – лестницы.

Размеры насосной камеры определяются габаритами насосных агрегатов, их количеством, размещением и применяемыми грузоподъемными средствами. Наибольшее распространение для шахтных водоотливных установок получили насосные камеры с продольным расположением насосных агрегатов, а карьерные – поперечное расположение, по причине ограниченности площади дна карьера и крупных габаритных размеров карьерных экскаваторов, буровых станков и транспортной техники. В соответствии с требованиями ПБ [1, 2, 5] насосные камеры шахтного и карьерного водоотливов оборудуются грузоподъемными механизмами (кран-балка, тельфер) для выполнения монтажно-демонтажных и ремонтных работ электромеханического оборудования водоотливных установок.

Определение основных размеров насосных камер

Длину насосной камеры L определим по уравнению:

$$L = n_н \cdot l_ф + (n_н - 1) \cdot B + l_1 + l_2 + l_3, \qquad (1.27)$$

где $n_н$ – число насосов в камере; $l_ф$ – длина фундамента, м; $B = 0{,}8 – 1{,}5$ – расстояние между фундаментами, м; $l_1 = 2{,}0 – 8{,}5$ – расстояние между стеной и фундаментом со стороны выхода трубопровода в ствол шахты, м; $l_2 = 7{,}5$ – расстояние между стеной и фундаментом для ремонта насо-

сных агрегатов, м; $l_3 = 8 – 10$ – расстояние в камере для установки дренажных насосов, м.

Длина фундамента, м

$$l_ф = l_н + l_{дв} + 2l_п, \quad (1.28)$$

где $l_н$ – длина рамы насоса, м; $l_{дв}$ – длина двигателя, м; $l_п = 0{,}2$ – длина припуска на одну сторону фундамента, м.

Ширина насосной камеры B, м

$$B = b_1 + b_2 + b_3, \quad (1.29)$$

где b_1 – ширина фундамента насоса, м; $b_2 = b_3 – 1{,}0 – 3{,}0$ – расстояние между стенкой камеры и насосом, м.

Высота насосной камеры H, м

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (1.30)$$

где $h_1 = 0{,}2$ – высота фундамента, м; h_2 – высота насоса, м; h_3 – расстояние от верхней точки насоса до зева крюка грузоподъемного механизма, м; h_4 – расстояние от зева крюка грузоподъемного механизма до перекрытия камеры, м.

Обоснование объемов карьерного и шахтного водосборников

Для сбора воды перед поступлением к насосам устраивают водосборники емкостью не менее четырехчасового притока при подземном и поверхностном водоотливах. Следовательно, объем водосборника составит, м^3

$$4 \cdot Q_{норм} = V_{в.сб.} L \cdot B \cdot H, \quad (1.31)$$

где – L – длина водосборника, м; B – ширина, м; H – высота, м; $Q_{норм}$ – нормальный водоприток в карьер или шахту, м^3/ч.

Длина водосборника определяется по выражению, м

$$L = V_{в.сб.} / S, \quad (1.32)$$

где S – площадь поперечного сечения выработки водосборника, м^3.

Сечение выработки под водосборник принимается равным типовому сечению однопутевого штрека, а при ёмкости водосборника более 1500 м^3 – двухпутевого.

При подземном водоотливе на шахте устраиваются два водосборника.

Атмосферные воды, выпадающие непосредственно в карьер, поступают во временные водосборники (отстойники), обустраиваемые вслед

за перемещением забоев очистных работ. В одной их половине происходит предварительное осветление воды от частиц породы, а в другой – сбор чистой воды и забор ее насосами.

В зависимости от протяженности карьера и его конфигурации в плане проходят один или несколько водосборников (отстойников) и в них вода направляется со всего карьера по специальным канавкам.

Зная объем водосборника $V_{\text{в.сб.}}$ и варьируя ширину, длину и глубину водосборника по месту устройства, определяют их количественные значения.

1.13. Расчет расхода и стоимости электроэнергии

Определяем годовой расход электроэнергии на карьерный и шахтный водоотлив по формуле

$$W = \frac{1{,}05\rho g}{3600 1000 \eta_{\text{Д}} \eta_{\text{С}}} \left(\frac{Q_{\text{н}} H_{\text{он}}}{\eta_{\text{он}}} Z_{\min} + \frac{Q_{\max} H_{\text{ом}}}{\eta_{\text{ом}}} Z_{\max} \right) \qquad (1.33)$$

где $\eta_{\text{с}} = 0{,}95$ – к.п.д. электросети; $\eta_{\text{д}}$ – к.п.д. электродвигателя принимается из технической характеристики; $Q_{\text{н}}$, $Q_{\text{мах}}$ – соответственно нормальный и максимальный суточные водопритоки, м^3/сут; $H_{\text{он}}$, $\eta_{\text{он}}$ – ожидаемый номинальный напор, м, и к.п.д. насоса при откачивании нормального водопритока; $H_{\text{ом}}$, $\eta_{\text{ом}}$ – ожидаемый максимальный напор, м, и к.п.д. насоса при откачивании максимального водопритока; $Z_{\min}$, $Z_{\max}$ – количество дней в году соответственно с нормальным и максимальным водопритоком.

1.14. Расчет затрат на электроэнергию

Определяем стоимость электроэнергии на водоотлив, руб:

$$C_{\text{ээ}} = C_{\text{уд}} \cdot W,$$

где $C_{\text{уд.}}$ – удельная стоимость 1 кВт·ч., руб.

Удельный расход электроэнергии, отнесенный к единице объема откачиваемой жидкости, определяется по формуле, кВт·ч/м^3:

$$\omega_{\text{уд}} = \frac{W}{Q_{\text{н}} \cdot Z_{\min} + Q_{\max} \cdot Z_{\max}} . \qquad (1.34)$$

Полезный расход электроэнергии, отнесенный к единице объема откачиваемой жидкости, определяется по формуле, кВт·ч/м^3:

$$\omega_{пол} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{нд}}{3600 \cdot 1000} \ . \qquad (1.35)$$

КПД водоотливной установки определяется по формуле:

$$\eta_{ну} = \frac{\omega_{пол}}{\omega_{уд}}. \qquad (1.36)$$

1.15 Решение вопросов техники безопасности и экологии при водоотливе

Все прорабатываемые вопросы при проектировании карьерного и шахтного водоотливов обосновываются согласно требованиями ПБ [1] с указанием ссылки на определенный пункт.

Решение вопроса экологии рассматривается с точки зрения очистки и осветления откачиваемых вод в отстойниках на поверхности (в районе горного отвода) до требований санитарно-технических норм.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА И ВЫБОРА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

2.1. Исходные данные для проектирования

Исходные данные:
- род полезного ископаемого;
- категория рудника, шахты по газу и пыли.

$A_г$ – годовая производительность шахты, млн т/год;
$H_ш$ – глубина шахты, м;
$T_{сл}$ – срок службы шахты, лет;
$Q_{возд}$ – количество воздуха, необходимое для проветривания шахты, м^3/с;
P_{min} – минимальная депрессия рудника, шахты, Па;
P_{max} – максимальная депрессия рудника, шахты, Па.

Для перевода внесистемных единиц в единицы системы СИ используются следующие соотношения: 1 Па = 0,102 мм вод.ст.; 1 кгс/м^2 = 9,81 Па; 1 мин’ = 60 об/мин.

2.2. Выбор вентилятора главного проветривания и определение его режимных параметров

Выбор и описание схемы проветривания рудника, шахты

Схема вентиляции рудника, шахты (всасывающая, нагнетательная, нагнетательно-всасывающая) принимается в зависимости от типа рудника, шахты: рудная, угольная, соляная, а также условий залегания и отработки месторождения.

Для заданных условий приводятся описание схемы проветривания и ее преимущества и недостатки перед другими схемами проветривания.

Выбор типа вентилятора

Производительность вентилятора главного проветривания по выражению, м^3/с [6],

$$Q_в = 1{,}2 \cdot k_{ут} \cdot Q_{возд} \qquad (2.1)$$

где $Q_{возд}$ – расход воздуха на проветривание рудника, шахты, м^3/с; $k_{ут}$ = 1,1-1,3 – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через надшахтные сооружения и каналы вентилятора.

При выборе вентиляторов главного проветривания (ВГП) необходимо руководствоваться рекомендациями технической литературы [6, 7, 8], что при депрессии рудника, шахты менее 300 кгс/м^2 могут применяться осевые вентиляторы, а при депрессии свыше следует использовать только центробежные вентиляторы для главного проветривания. При депрессии 150 – 300 кгс/м^2 могут использоваться как осевые, так и центробежные вентиляторы.

На основании исходных данных о потреблении расхода воздуха на проветривание рудника, шахты и депрессии рудника, шахты по графикам зон промышленного использования шахтных вентиляторов [4, 7] (рис. 2.1), производится выбор типа вентилятора главного проветривания. Для этого из точки на оси абсцисс с координатой $Q_{\text{возд}}$ и из точек с координатами $P_{\min}$, $P_{\max}$ на оси ординат восстанавливаются перпендикуляры, точки пересечения которых попадают в область промышленного использования осевых или центробежных вентиляторов (см. рис. 2.1) с координатами ($Q_{\text{возд}}$, $P_{\min}$) и ($Q_{\text{возд}}$, $P_{\max}$).

Для проветривания шахты принимается вентилятор, в зону промышленного использования которого (область экономичных режимов работы) вписываются все расчетные режимы работы. Выбранный вентилятор будет экономично работать в течение всего срока его службы. Он должен иметь резерв для увеличения в случае необходимости значений $Q_{\text{возд}}$ и $P_{\text{возд}}$.

В течение срока эксплуатации вентилятора допускается однократное изменение частоты вращения его рабочего колеса путем замены двигателя.

Если ни один из выпускаемых вентиляторов не может обеспечить требуемых режимов вентиляции, то возникает необходимость использования нескольких вентиляторов при их совместной работе. В случае работы вентиляторов в расчетных режимах проверки устойчивости их совместной работы не требуется. Такая проверка требуется при существенном изменении режимов работы параллельно включенных вентиляторов.

На рудных шахтах при массовых взрывах для усиления вентиляции может потребоваться установка дополнительного вентилятора. Оба вентилятора соединяют параллельно. Дополнительный вентилятор включается лишь на время вентиляции шахты после массового взрыва ВВ. В таких случаях необходимо проверять целесообразность совместной работы основного и дополнительного вентиляторов, так как при весьма большой мощности последнего может оказаться целесообразным применение одного мощного вентилятора. При совместной работе несколь-

ких вентиляторов предпочтение должно отдаваться центробежным вентиляторам, обеспечивающим большую устойчивость их совместной работы по сравнению с осевыми.

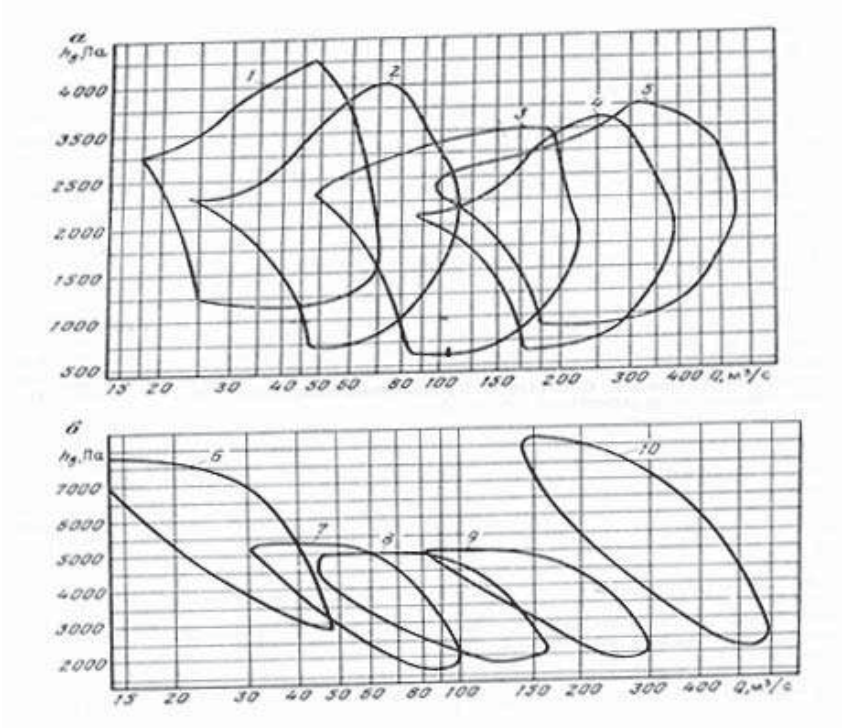


Рис. 2.1. График зон промышленного использования осевых (***а***) и центробежных (***б***) вентиляторов главного проветривания:
1, ***2***, ***3***, ***4***, ***5*** – соответственно для осевых вентиляторов ВО-16, ВО-21, ВО-30, ВО-40, ВО-50; ***6***, ***7***, ***8***, ***9***, ***10*** – для центробежных вентиляторов ВЦ-15 ВЦ-25М, ВЦ-31,5М, ВЦД-31,5М ВЦД-47,5У

Если параметры проветривания (точки с координатами $Q_{\text{возд}}$, $P_{\min}$ и $Q_{\text{возд}}$, $P_{\max}$) могут быть обеспечены одним или несколькими однотипными вентиляторами, то предпочтение следует отдавать вентилятору, имеющему:

- более высокий средневзвешенный статический к.п.д. в области промышленного использования;

- меньшую массу и габаритные размеры, а следовательно, меньшую стоимость вентилятора;

- большую частоту вращения и, следовательно, меньший по массе, габаритным размерам и стоимости электродвигатель;

- меньший маховый момент ротора, следовательно, более легкий пуск вентилятора.

Обычно при проектировании вентиляторной установки главного проветривания окончательный выбор типоразмера вентилятора и вспомогательного оборудования должен производиться на основании технико-экономического сравнения вариантов, обеспечивающих расчетные вентиляционные параметры.

Экономическая оценка возможных вариантов производится по приведенным затратам в расчете на одинаковый отрезок времени (обычно один год). Кроме экономической оценки должны учитываться такие технические факторы, как возможность и удобство размещения вентиляторной установки на поверхности шахты, надежность работы, громкость шума, создаваемого вентилятором, регулировочные качества и другие, которые в ряде случаев являются решающими.

С учетом рассмотренных рекомендаций производится выбор типа вентилятора. Для выбранного типа вентилятора приводятся индивидуальная аэродинамическая характеристика и техническая характеристика, где обязательно должен указываться срок службы ($T_{сл}$) вентилятора главного проветривания.

2.3. Расчет и построение характеристик вентиляционной сети в начале и конце эксплуатации рудника, шахты

Вентиляционной сетью вентиляторов главного проветривания являются горные выработки.

Выбор ВГП производится по графикам их аэродинамических характеристик [4, 7, 8].

Ориентируясь на полученную величину $Q_в$ по формуле (2.1) предварительно выбирают 2-3 вентилятора [4, 6, 7, 8] и наносят на графики их аэродинамических характеристик, характеристики шахтных вентиляционных сетей, соответствующих значениям $P_{ш.мин}$, $P_{ш.мах}$ (рис. 2.2).

Построение характеристик вентиляционной сети шахты, рудника, произведем по уравнениям соответствующим минимальной и максимальной депрессии, задаваясь значениями Q от 0 до 1,5 $Q_{возд}$:

$$P_{\text{ш.мин}} = R_{\text{ш.мин}} \cdot Q^2_{\text{возд}}, \quad P_{\text{ш.мах}} = R_{\text{ш.max}} \cdot Q^2_{\text{возд}}, \qquad (2.2)$$

где $R_{\text{ш.мин}}$, $R_{\text{ш.мах}}$.– аэродинамические сопротивления шахтной вентиляционной сети, соответственно для начального и конечного периодов эксплуатации ВГП.

Значения $R_{\text{ш.min}}$, $R_{\text{ш.max}}$ определяются по выражениям:

$$R_{\text{ш.мин}} = \frac{P_{\text{ш.мин}}}{Q^2_{\text{возд}}}; \quad R_{\text{ш.мах}} = \frac{P_{\text{ш.мах}}}{Q^2_{\text{возд}}}; \qquad (2.3)$$

Расчет характеристик вентиляционной сети рудника, шахты в начале и конце эксплуатации рекомендуется вести задаваясь значениями $Q = 0$ до $Q = 1{,}5Q$. Результаты расчета записываем в таблицу 2.1

Таблица 2.1

Расчет характеристик вентиляционной сети шахты

Q, м^3/с	0	0,25Q	0,5Q	0,75Q	1,0Q	1,25Q	1,5Q
$P_{\text{ш мин}}$, Па							
$P_{\text{ш мах}}$, Па							

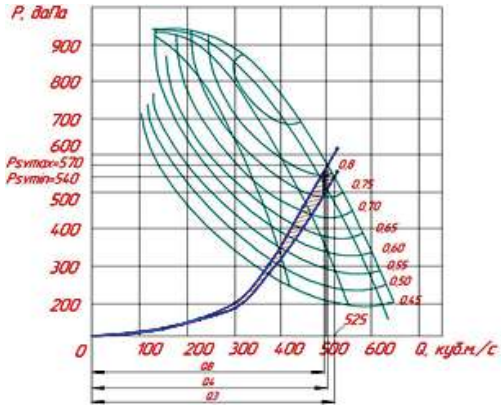


Рис. 2.2. Выбор вентилятора главного проветривания типа ВЦД – 47,5УМ

Наносим графики характеристики вентиляционной сети на аэродинамическую характеристику вентилятора. Выясняем, что точки действительных режимов работы вентилятора на данную сеть лежат в области практического использования вентилятора.

При совмещении указанных характеристик находим точки их пересечений, лежащие правее линии параллельной оси ординат с абсциссой $Q = Q_в$ – точки действительных режимов работы вентилятора на данную сеть.

Вентилятор можно считать выбранным правильно, если эти точки (см. рис. 2.2, точки ***3***, ***4***) лежат в области промышленного использования (рабочей области) вентилятора и при этом Q_3; $Q_4 \geq Q_в$.

Необходимо привести техническую характеристику выбранной вентиляторной установки в табличной форме.

2.4. Электропривод вентилятора, автоматизация и электроснабжение вентиляторной установки главного проветривания шахты

Электропривод вентилятора главного проветривания

Электропривод вентиляторного агрегата главного проветривания включает вентилятор и электродвигатель.

Вентиляторную установку оборудуют двумя вентиляторными агрегатами.

Расчет мощности и выбор типа электродвигателя вентилятора.

Номинальная мощность на валу электродвигателя вентилятора определяется для наиболее трудного периода проветривания, соответствующего максимальной депрессии шахтной вентиляционной сети по формуле, кВт;

$$N_н \geq k_з \cdot \frac{Q_{мах} \cdot P_{мах}}{1000 \cdot \eta_{мах} \cdot \eta_{пр}}, \qquad (2.4)$$

где $k_з$ – коэффициент запаса мощности электродвигателя, равный 1,1–1,2; $Q_{мах}$, $P_{мах}$, $\eta_{мах}$ – производительность, статическое давление и к.п.д. вентилятора соответствующие максимальной депрессии сети (см. рис. 2.2, данные параметры определяются по точке ***4***); $\eta_{пр}$ – к.п.д. приводного электродвигателя.

Выбор электродвигателя вентилятора на весь срок службы рудника, шахты производится из условия, если [6, 7]:

- $N_н \leq 200$ кВт, то обычно принимают низковольтные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии АО как наиболее простые и надежные в эксплуатации;

- $N_н \geq 200$ кВт, то обычно принимают высоковольтные синхронные двигатели серий СДВ, СД, СДС и СДН.

В случае, если принят синхронный электродвигатель, то устанавливается электродвигатель с максимальной мощностью на весь срок службы рудника, шахты.

По каталогу принимаем ближайший больший по мощности электродвигатель с учетом частоты вращения вентилятора.

В качестве привода рудничных вентиляторов главного проветривания получили применение трехфазные электродвигатели переменного тока. Обычно при большой мощности на валу вентилятора применяют синхронные двигатели серий СДН, СД и другие, выпускаемые на напряжение 6 кВ, а при малой мощности – асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серий А, АК, А3, АП. Асинхронные двигатели с фазным ротором серий АК и другие применяют только в тех случаях, когда по условиям пуска применение синхронных и асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором оказывается невозможным, так как наличие реостата в цепи ротора существенно усложняет управление электроприводом.

Мощность электродвигателя должна быть на 10-15 % больше максимальной расчетной мощности на валу вентилятора на случай возможных перегрузок.

В рудничных вентиляторных установках главного проветривания применяют обычно прямой пуск электродвигателей от полного напряжения. При наличии в установке синхронных двигателей получили распространение схемы управления с наглухо подключенным возбуждением.

Автоматизация работы вентиляторной установки

Современные вентиляторные установки главного проветривания оборудованы обычно аппаратурой дистанционного управления и контроля, которая позволяет повысить надежность работы вентиляторных установок, улучшить условия их эксплуатации, сэкономить значительные средства вследствие высвобождения большого числа машинистов. Управление такими установками и контроль за их работой осуществляется из диспетчерского пункта шахты.

Все проектируемые вентиляторные установки главного проветривания следует оборудовать аппаратурой дистанционного управления и контроля типа УКАВ-М (унифицированный комплект атоматизации вентиляторов).

Аппаратура УКАВ-М обеспечивает возможность автоматизированного управления шахтными вентиляторами главного проветривания при соблюдении всех нормативов безопасности и соответствии всем современным эксплуатационным требованиям, предъявляемым к автоматизации системы проветривания. Она предназначена для автоматизации вентиляторных установок, оборудованных одним или двумя реверсивными или нереверсивными осевыми вентиляторами, либо центробежными вентиляторами одностороннего или двухстороннего всасывания, поэтому в данном проекте принимается аппаратура УКАВ-М.

Пусковая и защитная аппаратура, обеспечивающая дистанционный пуск и остановку приводных двигателей, защиту от токов короткого замыкания и перегрузки, нулевую, минимальную и другие защиты, выбирается в зависимости от типа и мощности электродвигателей, принятого способа их пуска и напряжения.

Аппаратура УАШВ обеспечивает дистанционное управление и контроль работы шахтных реверсивных и нереверсивных вентиляторов с низковольтным электроприводом. Промышленностью изготовляется две модификации аппаратуры УАШВ: УАШВ-1 – для управления вентиляторной установкой при расстоянии от нее до диспетчерского пункта до 10 км и УАШВ-2, применяемой при расстоянии до диспетчерского пункта до 2 км.

Аппаратура УАШВ-1 позволяет управлять вентиляторной установкой с пульта диспетчера по четырехпроводной (включая резервную пару проводов) линии связи, а УАШВ-2 по 28-проводной.

В комплект аппаратуры УАШВ-1 входят: аппарат приема команд АПВК, аппарат приема сигналов АПСВ, два аппарата управления вентилятором АВГ и аппарат управления вспомогательными приводами АУВП. В комплект УАШВ-2 входят: два аппарата АВГ, аппарат АУВП и аппарат воспроизведения сигналов АВС. В комплекты обеих модификаций входят по два комплекта аппаратуры контроля температуры АКТ-2.

При низковольтных асинхронных электродвигателях обычно применяются контакторы серий КГ или КТЭ и автоматические воздушные выключатели серий А3100 или А15. При высоковольтных электродвигателях применяют комплексные распределительные устройства (КРУ), представляющие собой шкаф или ячейку, внутри которых размещены все необходимые элементы коммутационной и защитной аппаратуры (для включения и выключения высоковольтных двигателей в КРУ устанавливаются высоковольтные, вакуумные выключатели типа ВВР-10

или др.) Высоковольтные вакуумные выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока с изолированной нейтралью частоты 50 Гц с номинальным напряжением от 6 до 10 кВ. Вакуумные выключатели устанавливается в шкафах комплектных распределительных устройств (ячейках КРУ и камерах КСО), а также используются для замены маломасляных и электромагнитных выключателей. Как правило, КРУ размещают в главной поверхностной подстанции (ГПП), а при значительном удалении вентиляторной установки от ГПП – в здании установки.

Электроснабжение вентиляторной установки

Передача электроэнергии от ГПП к вентиляторной установке осуществляется обычно по бронированным кабелям марки ААБ (при укладке в траншеях) или ААБГ (при укладке в кабельных каналах). При значительном удалении вентиляторной установки от ГПП передача электроэнергии осуществляется по воздушным линиям.

Для обеспечения надежности и бесперебойной работы вентиляторной установки главного проветривания при проектировании электроснабжения рудника, шахты необходимо предусмотреть резервное питание вентиляторной установки (второй фидер).

Расход электроэнергии на проветривание шахты

Среднегодовой расход электроэнергии на проветривание рудника, шахты ориентировочно определяется по формуле, кВт·ч:

$$W_{\text{г}} = \frac{Q_{\text{ср}} P_{\text{ср}}}{1000 \eta_{\text{ср}} \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{п}} \eta_{\text{сети}} \eta_{\text{р}}} t_{\text{сут}} N_{\text{дн}} \quad , (2.5)$$

где $Q_{\text{ср}}$, $P_{\text{ср}}$, $\eta_{\text{ср}}$ – средние значения производительности, статического давления и к.п.д. вентилятора за срок его службы до списания (принимаются по графику аэродинамических характеристик вентилятора, совмещенному с характеристиками вентиляционных сетей, см. рис. 2.2); $\eta_{\text{дв}}$ – к.п.д. двигателя, $\eta_{\text{дв}} = 0{,}94 – 0{,}95$; $\eta_{\text{п}}$ – к.п.д. передачи; $\eta_{\text{сети}}$ – к.п.д. электрической сети, $\eta_{\text{сети}} = 0{,}95 – 0{,}98$; $\eta_{\text{р}}$ – к.п.д. регулирования, $\eta_{\text{р}} = 0{,}8 – 0{,}9$; $t_{\text{сут}}$ – время работы в сутки, $t_{\text{сут}} = 24$ ч; $N_{\text{дн}}$ – количество рабочих дней в году, $N_{\text{дн}} = 365$.

Удельный расход электроэнергии на тонну добычи на проветривание рудника, шахты

$$e = \frac{E}{A_{ш}} \quad . \tag{2.6}$$

Удельный расход воздуха на тонну добычи, т возд/сут:

$$q = \frac{M}{A_{ш}} = \frac{Q\rho_{возд}3600t_{сут}N_{дн}10^{-3}}{A_{ш}} \quad , \tag{2.7}$$

где М – масса воздуха, подаваемого вентилятором, т/год; $\rho_{возд}$ – плотность воздуха, $\rho_{возд}$ =1,2 кг/м^3.

2.5. Техника безопасности при эксплуатации вентиляторной установки

В данной части расчета и выбора вентиляторной установки необходимо перечислить требования ПБ [1] и требования техники безопасности при проветривании рудника, шахты.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА ПНЕВМОСНАБЖЕНИЯ ШАХТЫ

Исходные данные

$A_г$ – годовая производительность шахты, млн т/год;
$H_ш$ – глубина шахты (рудника), м;
$T_{сл}$ – срок службы шахты, $T_{сл}$ = 20-25 лет;
n – количество и тип потребителей сжатого воздуха.

3.1. Определение расчетной производительности рудничной пневматической установки

Рудничная пневматическая установка представляет сложный комплекс энергомеханического оборудования, предназначенного для получения сжатого воздуха и подачи его под заданным давлением к различным потребителям на горных производствах (см. рис. 6.1, I часть).

3.2. Расчетная схема рудничной пневматической установки

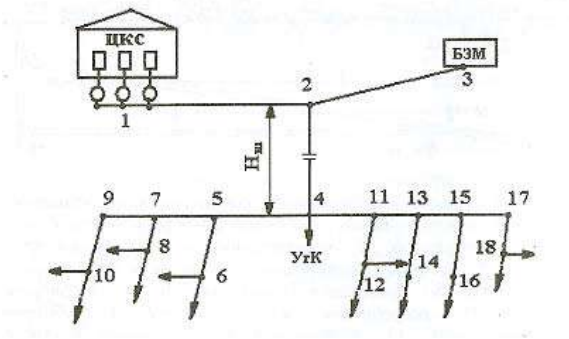


Рис. 3.1. Расчетная схема рудничной пневматической установки:
ЦКС – центральная компрессорная станция; ***БЗМ*** – буро-заправочная и ремонтная мастерские; $\boldsymbol{H_ш}$ – глубина шахты, м; ***УгК*** – углубочный комплекс; ***1***, ***2***,..., ***18*** – узлы присоединения пневмосети

Расчетная схема (рис. 3.1) рудничной пневматической установки принимается и составляется по данным задания с условными обозначе-

ниями согласно ГОСТ (ЕСКД), типа и количества воздухопотребителей (табл. 3.1) в каждом узле пневмосети, запорно-регулирующей арматуры и вспомогательного оборудования, а так же с указанием всех номеров узлов пневмосети от ЦКС до всех пневмопотребителей, длин магистральных и участковых воздухопроводов [4].

Внешняя пневматическая сеть, соединяющая компрессорную станцию с потребителями сжатого воздуха должна иметь минимальное количество колен и изгибов, выполненных без глухих отводов и застойных зон (рис. 3.1).

3.3. Расчет расхода сжатого воздуха по шахте

Определение расхода сжатого воздуха по руднику (шахте) выполняется с учетом коэффициентов одновременности работы и износа пневмопотребителей, а также потерь сжатого воздуха в пневмосети.

Расчетный суммарный расход сжатого воздуха однотипными потребителями $Q_{\text{п}}$ определяется по выражению, м^3/мин

$$Q_{\text{п}} = \sum_{i-1}^{z} n_i \cdot q_i \cdot k_{из} \cdot k_0, \qquad (3.1)$$

где z – количество групп однотипных потребителей сжатого воздуха; n_i – количество однотипных машин, работающих на сжатом воздухе (см. рис. 3.1); q_i – номинальный расход сжатого воздуха i-м однотипным потребителем, м^3/мин; k_0 – коэффициент одновременности работы группы однотипных потребителей.

Таблица 3.1

Расход сжатого воздуха по руднику, шахте

Номер	Наименование потребителей сжатого воздуха,	Тип воздухоприемника	Количество однотипных машин, шт.	Расход воздуха одной машиной, м^3/мин	Рабочее давление, бар	Коэффициенты		Расход сжатого воздуха однотипными попотребителями, $Q_{\text{п}}$
						износа	одновременности работы	
1	2		4	5	6	7	8	9
…	….	.	….	….	….	…	…	…..
Всего:								

Расчет расхода воздуха пневмопотребителями $Q_{п}$ по i – м участкам и по всему руднику (шахте) рекомендуется вести по форме табл. 3.1.

Если машина имеет несколько приводных двигателей, то номинальный расход воздуха представляет собой сумму расхода воздуха всеми установленными двигателями.

3.4. Расчетная производительность компрессорной станции с учетом потерь сжатого воздуха

Расчетная производительность компрессорной станции составит

$$Q_{ркс} = Q_{п} + Q_{ут}, \tag{3.2}$$

где $Q_{п}$ – расход сжатого воздуха пневмопотребителями по руднику (шахте), м^3/мин; $\Delta Q_{ут}$ – расход сжатого воздуха на утечки в пневматической сети, м^3/мин.

Потери сжатого воздуха из-за утечек в пневматической сети определяются по выражению

$$\Delta Q_{ут} = a\sum l_i + b\sum m_i, \tag{3.3}$$

где a – величина удельных потерь воздуха, отнесенная к единице длины воздухопроводов, a = 0,003 – 0,005 (м^3/мин)/м; $\sum l_i$ – суммарная протяженность воздухопровода до наиболее удаленного потребителя, м; b – нормативные утечки сжатого воздуха в узлах присоединения пневмопотребителей к пневматической сети, b = 0,4 м^3/мин; m_i – количество узлов присоединения (см. рис. 6.1, I часть, рис. 3.1), шт.

Для выбора типа компрессоров, кроме расчетной производительности $Q_{ркс}$ компрессорной станции, необходимо знать избыточное (конечное) давление сжатого воздуха $P_{ркс}$ на выходе из компрессорной станции.

3.5. Определение расчетного избыточного давления сжатого воздуха на выходе из компрессорной станции

Необходимое избыточное давление сжатого воздуха на выходе из компрессорной станции определяется рабочим давлением пневмопотребителей с учетом потерь давления до наиболее удаленного потребителя в соответствии со схемой воздухопроводной сети по формуле, МПа,

$$P_{к} = \frac{P_{\min}}{1-\lambda_{ут}}, \quad (3.4)$$

где $P_{\min}$ – рабочее давление сжатого воздуха у самого отдаленного потребителя (см. приложение), $P_{\min}$ = 0,5 МПа; $\lambda_{ут}$ – относительная потеря давления сжатого воздуха при движении к самому отдаленному потребителю

$$\lambda_{ут} = 10^{-5}\,\lambda_0 \sum l_i \quad (3.5)$$

λ_0 – относительная удельная потеря давления в пневматической сети, %/1 км;

$$\lambda_0 = \frac{Q_{ут}}{Q_{п}} \cdot 100\% \quad ; (3.6)$$

$\sum l_i$ – максимальная длина воздухопроводной сети до самого удаленного потребителя (см. рис. 6.1, I часть, рис. 3.1) компрессорной станции определяется как, м,

$$\sum l_i = l_{(i-1)-i} + \ldots + l_{1-2}\,, \quad (3.7)$$

где $l_{(i\text{-}1)\text{-}i}$, $l_{1\text{-}2}$ – длина i-х участков воздухопроводной сети, м.

Конечное давление $P_{к}$ на самом удаленном участке т. 17 – 18 (см. рис. 6.1, I часть) принимается равным давлению сжатого воздуха потребителя по его технической характеристике (см. табл. 3.1), т.е. $P_{к}$ – 5 – 6 атм (0,5-0,6 МПа).

Начальное давление $P_{н}$ на участке 17 – 18 равно

$$P_{н(17\text{-}18)} = P_{к} + \Delta P_{уч(17\text{-}18)} \quad , (3.8)$$

где $P_{к}$ – максимальное давление сжатого воздуха, на котором работает один из конечных потребителей; $\Delta P_{уч(17\text{-}18)}$ – потери давления на участке 17 – 18.

В свою очередь, начальное давление $P_{н}$ участка 17 – 18 является конечным давлением $P_{К}$ (15 – 17) участка 15 – 17.

Следовательно, начальное давление для остальных точек

$$P_{н\,i} = P_{к\,i} + \Delta P_{уч\,i}. \quad (3.9)$$

Потери давления $\Delta P_{уч\,i}$ на i – м участке определяются по выражению

$$\Delta P_{уч\,i} = \Delta P_{уд} \cdot l_{pi}\,, \quad (3.10)$$

где $\Delta P_{уд}$ – удельные потери давления сжатого воздуха; l_{pi} -длина i – го участка воздухопроводной сети, м.

Установлено и рекомендуется принимать в расчетах, что максимальные потери давления сжатого воздуха от компрессорной станции до самого удаленного участка не должны превышать $\Delta P_{max} = 1{,}5 - 2$ атм [1, 4]. Тогда удельные потери давления сжатого воздуха на 1 км длины воздухопроводной сети можно определить по формуле

$$\Delta P_{уд} = \frac{\Delta P_{max}}{L_р}, \quad \text{ат/м(Па/м)} \tag{3.11}$$

где ΔP_{max} – максимальные потери давления сжатого воздуха до самого удаленного участка; $L_р$ – расчетная длина воздухопроводной сети от компрессорной станции до самого удаленного пневмоприемника, м (см. рис. 3.1, т. 18).

$$L_р = (1{,}10 - 1{,}15)\, L\,, \tag{3.12}$$

где L – действительная длина прямолинейных участков воздухопроводной сети до самого удаленного пневмопотребителя, м.

$$L = l_{17-18} + l_{15-17} + l_{13-15} + l_{11-13} + l_{4-11} + l_{2-4} + l_{1-2} \tag{3.13}$$

Значение коэффициента (1,10 – 1,15) в формуле для определения $L_р$ учитывают потери давления в местных сопротивлениях воздухопроводной сети (изгибы, колена, запорно-регулирующая арматура и др.), эквивалентные прямолинейной длине трубопровода.

Установлено, что местные сопротивления дают 10 – 15 % приращение прямолинейной (первоначальной) длины трубопровода. Опытом проектирования и эксплуатации пневматических сетей установлено и рекомендуется принимать при проектировании количественные значения удельных потерь давления на 1-м км длины воздуховода равными:

$$\Delta P_{уд} = 0{,}3 - 0{,}6 \ \text{атм/км(Па/км)};$$

$$\Delta P_{уд} = (0{,}03 - 0{,}06), \ (\text{МН/м}^2)/\text{к}/\ ;$$

$$\Delta P_{уд} = (0{,}0002 - 0{,}0004) \ \text{бар/м}.$$

Среднее давление $P_{ср}$ на участке или по всей воздухопроводной сети определяется по формулам

$$P_{ср} = \frac{P_к + P_н}{2} \quad \text{или} \quad P_{ср} = p_п + \frac{1}{2}\Delta P_{max}\,, \tag{3.14}$$

где $P_п$ – максимальное рабочее давление у пневмопотребителей сжатого воздуха.

По избыточному (конечному) давлению сжатого воздуха $P_{ркс}$ на выходе из компрессорной станции и расчетной производительности $Q_{ркс}$ компрессорной станции выбираются тип и количество компрессоров [4, 14].

3.6. Выбор типа и числа компрессоров

Вопрос о выборе типа и количества компрессоров крупных станций (станций большой производительности) решается путем технико-экономических сравнений.

Ориентировочно можно считать, что компрессорные станции производительностью менее 500 м^3/мин оборудуются поршневыми компрессорами (имеющими более высокий к.п.д. и меньший расход электроэнергии), а при производительности 500 м^3/мин и более – турбокомпрессорами.

Специальными исследованиями установлено, что при расчетной производительности компрессорной станции в пределах:

- менее 200 м^3/мин наиболее целесообразны однотипные поршневые компрессоры горизонтального или прямоугольного типа с номинальной подачей от 10 до 50 м^3/мин;
- 200-500 м^3/мин следует применять горизонтальные компрессоры 4М10-100/8 с номинальной подачей 100 м^3/мин;
- 500-1000 м^3/мин целесообразны центробежные компрессоры ЦК-115/9 и К-250-61-2 с подачей соответственно 115 и 250 м^3/мин;
- более 1000 м^3/мин следует ориентироваться на центробежные компрессоры К-500-61-1 с номинальной подачей воздуха 500 м^3/мин.

Представление об области применения различных типов компрессоров дает график, приведенный на рис. 3.2 [9].

Турбокомпрессоры рекомендуется принимать с некоторым числом поршневых компрессоров (до 25 % от суммарной производительности), используемых для регулирования расхода сжатого воздуха в междусменные периоды, а так же для подачи в пневмосеть некоторого количества масла с целью предотвращения коррозии трубопроводов.

Резерв компрессоров принимается из условия [4]:

- если в качестве рабочих выбраны поршневые компрессоры, то при их количестве от 1 до 3 – в резерве достаточно иметь один однотипный с рабочим компрессор;
- при количестве рабочих поршневых компрессоров 4 – 6 и выше – устанавливают два резервных компрессора;

- если в качестве рабочих выбраны центробежные компрессоры, то при их количестве 1 – 2 – в резерве достаточно иметь один однотипный компрессор;

- при количестве рабочих центробежных компрессоров три и более – устанавливают два резервных компрессора.

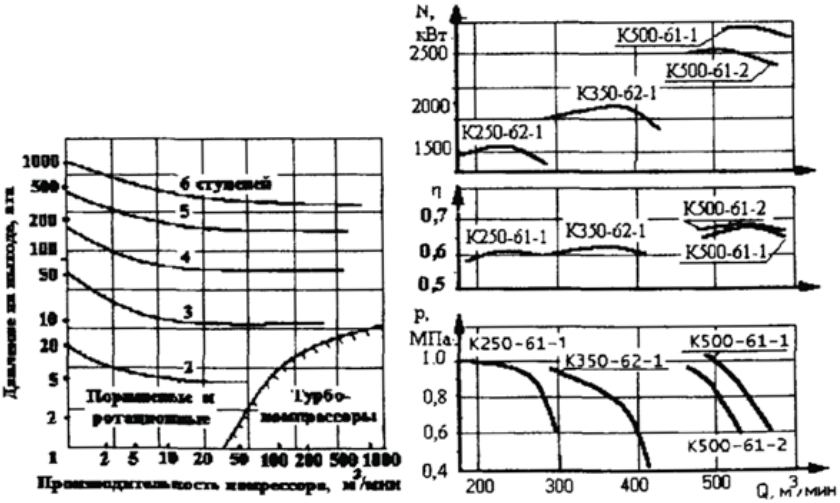


Рис. 3.2. Области промышленного применения компрессоров

Для выбранных типов компрессоров приводится техническая характеристика с обязательным указанием основных технических данных [4].

3.7. Расчет внешней рудничной пневмосети

Рудничная пневмосеть (см. рис. 3.1) – это всасывающий и нагнетательный трубопроводы пневматической установки рудника (шахты).

Обоснование длины и диаметра всасывающего трубопровода пневмосети

Длина всасывающего трубопровода должна выбираться таким образом, чтобы потери давления Δh_i в нем не превышали допустимых пределов Δh_i = 30 – 50 мм вод.ст [1, 4].

Диаметр всасывающего трубопровода определяется по формуле

$$d = 0{,}006 \cdot \sqrt[5]{\frac{l_{\text{экв}} \cdot V^2}{\Delta h_i}} \ . \qquad (3.15)$$

Расчет нагнетательного трубопровода пневмосети

Расчет нагнетательного трубопровода (внешней пневмосети) сводится к определению его диаметра по расходу сжатого воздуха и принятым потерям давления в пневмосети [4, 9].

Диаметр трубопровода *Di* (мм) *i*-го участка по всей пневматической сети (при предварительно выбранной средней скорости движения сжатого воздуха v_c = 4 – 8 м/с) определяется по формуле

$$D_{i-j} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{i-j}}{60 \cdot \pi \cdot v_c}} \qquad (3.16)$$

или по эмпирической формуле

$$D_i = 20\sqrt{V_{i-j}} \ , \qquad (3.17)$$

где V_i – расход воздуха на участке пневматической сети между пунктами ветвления *i* и *j*, м^3/мин.

Расчет диаметров *i*-го участка нагнетательного трубопровода пневмосети ведем по форме табл. 3.2.

Таблица 3.2

Данные расчета воздухопроводной сети

Номер участка сети	Расход воздуха, Q, м^3/мин	Заданная длина трубопровода, L, м	Расчетная длина трубопровода, l_p, м	Расчетные удельные потери давления $\Delta P_{уд} = \frac{\Delta P_{max}}{L_p}$, $\frac{ат}{м}\left(\frac{Па}{м}\right)$	Расчетные потери давления на участке $\Delta P_{уч} = \Delta P_{уд} \cdot l_p$, ат (Па)	Конечное давление на участке $P_к$, (Па)	Начальное давление на участке $P_н = P_к + \Delta P_{уч}$, (Па)	Расчетный диаметр трубопровода D_p, мм	Принятый стандартный фактический диаметр трубопровода
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

3.8. Расчет и выбор вспомогательного оборудования пневматической установки

Расчет и выбор воздушных фильтров

Для очистки атмосферного воздуха перед поступлением его в цилиндры в начале всасывающего трубопровода устанавливаются фильтры различных конструкций (см. рис. 6.1, 6.7, I часть).

Лобовая площадь фильтра определяется по формуле, м^2

$$F_{ф} = f \cdot V_{мин}, \tag{3.18}$$

где f – удельная лобовая площадь фильтра, м^2/ мин.

Число кассет фильтра для одного компрессора определяется по формуле

$$N_{к} = F_{ф} / f_{к}, \tag{3.19}$$

где $f_{к}$ – лобовая площадь кассеты, м^2.

Рекомендуется принимать один фильтр для всей компрессорной станции, состоящей из двух независимых камер, каждая из которых обеспечивает очистку воздуха в объеме рабочей производительности компрессорной станции.

Общее число установленных в фильтре кассет определяется по формуле

$$\sum N_{к} = 2 \cdot N_{к} \cdot n_{р}\ , \tag{3.20}$$

где $n_{р}$ – число рабочих компрессоров.

Расчет и выбор типа масловлагоотделителя

Внутренний объем масловлагоотделителя (рис. 6.1, 6.9, I часть) определяется по формуле:

- для компрессора простого действия

$$V_{м} = (0{,}06...0{,}13)\sqrt{D^2_{цил} \cdot S \cdot n_{р}}, \tag{3.21}$$

- для компрессора двойного действия

$$V_{м} = (0{,}06...0{,}13)\sqrt{(2D^2_{цил} - d^2_{шт} S \cdot n_{р}}, \tag{3.22}$$

где $D_{цил}$, $d_{шт}$ – соответственно диаметр цилиндров и штоков, м; S – ход поршня, м; $n_{р}$ – частота вращения вала компрессора, об/мин.

Расчет и выбор воздухосборника

Объем воздухосборника выбирается по формуле

$$V_{в} = 1{,}6\sqrt{V_{мин}} \quad , (3.23)$$

где $V_{мин}$ – рабочая производительность компрессорной станции, м³/мин.

Расчет и выбор предохранительного клапана

Наименьшая площадь проходного сечения предохранительного клапана (см. рис. 6.1, I часть) определяется по формуле, см²,

$$f_0 = 60 \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{\pi \cdot a}{P \cdot n_0} \right) \cdot V_{\max} \quad , (3.24)$$

где ρ_0 – плотность воздуха, кг/м³; a – коэффициент пропорциональности; P – абсолютное давление среды, кг/см²; n_0 – частота вращения вала компрессора, об/мин; V_{max} – максимальная подача воздуха в воздухосборник, м³/мин.

Весовой расход воздуха через клапан должен быть равен производительности компрессора.

3.9. Определение основных размеров компрессорной станции и выбор грузоподъемного механизма

Основные размеры компрессорной станции определяются графическим способом. Сущность графического способа определения размеров компрессорной станции состоит в том, что на плане и разрезе здания компрессорной станции в принятом масштабе выполняют расстановку выбранных компрессоров и вспомогательного оборудования с соблюдением габаритных (геометрических) размеров компрессорных агрегатов, вспомогательного оборудования и величин проходов между компрессорами, а также зазоров между компрессорами и стенками компрессорной станции, щитами электроснабжения, ограждениями и т. д. (см. рис. 6.1, I часть).

Высота здания компрессорной станции зависит от высоты устанавливаемого оборудования и принятого типа грузоподъемного механизма. Тип и грузоподъемность подъемного механизма компрессорной станции принимаются по наибольшей массе установленного и подлежащего ремонту оборудования.

При решении этих вопросов рекомендуется использовать техническую литературу.

3.10. Электропривод компрессорного агрегата, электроснабжение и автоматизация компрессорной станции

Электропривод компрессорного агрегата

В качестве привода компрессоров общего назначения используются почти исключительно электрические двигатели переменного тока, асинхронные и синхронные.

Как правило, компрессорные агрегаты большой производительности поставляются на рудники (шахты) комплектно с электродвигателем, аппаратурой пуска и управления, поэтому мощность электродвигателя в таком случае принимается по технической характеристике компрессорного агрегата.

В других случаях мощность электродвигателя компрессорного агрегата определяется по выражению

$$N_{\text{дв}} = \frac{1{,}15 \cdot N_{\text{в}}}{\eta_{\text{дв}}}, \qquad (3.25)$$

где $N_{\text{в}}$ – мощность на валу двигателя; кВт; $\eta_{\text{дв}}$ – к.п.д. двигателя.

Электроснабжение компрессорной установки

Передача электроэнергии от ГПП к компрессорной установке осуществляется обычно по бронированным кабелям марки ААБ (при укладке в траншеях) или ААБГ (при укладке в кабельных каналах). При значительном удалении компрессорной установки от ГПП передача электроэнергии осуществляется по воздушным линиям.

Для обеспечения надежности и бесперебойной работы компрессорной установки при проектировании электроснабжения рудника, шахты необходимо предусмотреть резервное питание (второй фидер) и системы электрических защит, контроля и управления её работой.

Автоматическое управление и регулирование работы компрессорной станции

В данном разделе необходимо обосновать выбор схемы автоматизации и кратко описать принцип работы автоматизированной установки.

При автоматизации компрессорной станции необходимо обеспечить:

1. Автоматический запуск и остановку компрессоров.

2. Очередность регулирования производительности компрессоров, очередность их включения и отключения при изменении расхода воздуха в пневмосети.

3. Включение в цепь управления двигателем блокировочных контактов защиты против:

- чрезмерного повышения температуры воздуха в цилиндрах или холодильнике;
- прекращения подачи смазки;
- чрезмерного нагрева подшипников поршневых компрессоров (крейцкопфных, коренных и т. д.).

Перед отключением компрессора при появлении вышеперечисленных ненормальностей в работе машины должна включаться аварийная сигнализация.

Примеры выполнения схем автоматизации, применяемые приборы и аппаратура описаны в технической литературе.

Расход электроэнергии на производство сжатого воздуха

Расход электроэнергии на производство сжатого воздуха определяется по выражению, кВтч,

$$E_{\text{год}} = 60 \cdot k_{\text{з}} \cdot Q_{\text{кс}} \cdot q_{\text{уд}} \cdot t_{\text{г}}, \qquad (3.26)$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент загрузки компрессорной станции, $k_{\text{з}} = 0{,}7 - 0{,}8$; $Q_{\text{кс}}$ – производительность компрессорной станции, м^3/мин; $q_{\text{уд}}$ – удельный расход энергии на производство 1 м^3 сжатого воздуха, $q_{\text{уд}} = 0{,}105$ кВт·ч/м^3; $t_{\text{г}}$ – время работы компрессорной станции в течение года, ч.

Расход сжатого воздуха на 1 т добытого полезного ископаемого определяется по выражению, м^3/т,

$$q_{\text{пи}} = \frac{Q_{\text{год}}}{A_{\text{ш}}}, \qquad (3.27)$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовое производство сжатого воздуха компрессорной станцией, м^3/год:

$$Q_{\text{год}} = 60 \cdot k_{\text{з}} \cdot Q_{\text{кс}} \cdot t_{\text{г}}; \qquad (3.28)$$

$A_{\text{ш}}$ – годовая производительность шахты по полезному ископаемому, т/год.

3.11. Вопросы техники безопасности при эксплуатации пневматических установок

В данной части расчета и выбора пневматической установки необходимо перечислить требования ПБ [1] и требования техники безопасности при производстве сжатого воздуха на горном производстве.

4. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА ШАХТНОГО ПОДЪЕМА

4.1. Цель и задачи выполнения расчета и выбора рудничных подъемных установок

Подъемная установка является главной магистралью, транспортирующей весь поток полезного ископаемого на дневную поверхность, а также служит для спуска и подъема людей, материалов, леса и т. п. Поэтому вопросы безопасности, надежности и экономичности работы подъема имеют первостепенное значение. Скорости движения подъемных сосудов по величине на сравнительно коротких дистанциях достигают скоростей железнодорожных составов. Следовательно, недостаточное внимание к подъему может привести к катастрофе или остановке работы шахты.

Подъемная установка должна работать не только бесперебойно, но и экономично, т. е. потреблять наименьшее количество электроэнергии. На рудниках зачастую на подъем затрачивается до 40-50 % всей подводимой электроэнергии.

Исходные данные для расчета

Наименование объекта – шахта, рудник

Годовая производительность рудника – $A_г$, т/год

Глубина вертикального ствола – $H_ш$, м

Число подъемных горизонтов – 1

Назначение подъема – подъем руды

Число рабочих дней – N, дней/год

Продолжительность работы подъема – t, ч/сут

Основными частями подъемной установки являются: подъемная машина, привод к ней, подъемные сосуды, канаты, соединяющие подъемные сосуды с органом навивки подъемной машины, копер со шкивами (см. рис. 7.1, 7.2, 7.4, 7.5, I часть).

Подъемные установки можно классифицировать по следующим признакам:

1. Наклону ствола шахты:

а) наклонные;

б) вертикальные.

2. Типу органов навивки канатов:

а) с постоянным радиусом навивки:

- одним цилиндрическим барабаном;
- двумя цилиндрическими барабанами;
- со шкивом трения;

б) с переменным радиусом навивки (для уравновешивания подъемной системы):

- коническими барабанами;
- цилиндроконическими барабанами;
- бицилиндроконическими барабанами;
- биконоцилиндрическими барабанами;
- бобинами.

3. Типу привода:

а) гидропривод;

б) электропривод:

- асинхронный;
- постоянного тока (система – Г-Д и т. п.).

4. Типу подъемных сосудов:

а) бадьевые;

б) клетевые;

в) скиповые;

г) с комбинированными подъемными сосудами.

5. Степени уравновешенности подъемной системы:

а) неуравновешенная (система с цилиндрическими барабанами без подвесного каната);

б) статически уравновешенная (система с равновесным подвесным канатом при наличии цилиндрических барабанов или система с коническими барабанами);

в) динамически уравновешенная (система с тяжелым подвесным канатом, т. е. с канатом, линейный вес которого больше линейного веса головного каната при постоянном радиусе навивки, или система с коническими барабанами с большим углом конусности).

6. Назначению:

а) главный;

б) вспомогательный;

в) грузовой;

г) людской.

Главной частью подъемной машины являются органы навивки.

Органом навивки называют ту часть подъемной, машины (барабаны, шкивы трения, бобины), при помощи которой канат вместе с подъемными сосудами приводится в движение; при этом на барабаны он навивается, а на шкиве трения удерживается силой трения (см. рис. 7.3, I часть).

Значительная и всевозрастающая часть полезных ископаемых в нашей стране добывается подземным способом. Это связано с переходом горных работ на более глубокие горизонты и необходимостью значительного увеличения объема добычи, что сопряжено с увеличением скорости движения грузонесущих органов по стволу, возрастанием их грузоподъемности. Для рационального режима работы подъемной установки важно правильно выбрать тип подъемной машины, а также определить мощность приводного электродвигателя.

Подъемная установка представляет собой сложную электромеханическую систему, которая состоит из инерционных тел (подъемных сосудов, канатов, органов навивки редукторов, электродвигателей и др.), связанных между собой упругими элементами (канатами, валопроводами). Большие движущиеся массы установок, перемещаемые в условиях неустановившегося движения, приводят к возникновению значительных инерционных нагрузок. Эти нагрузки оказывают существенное влияние на производительность установок, величину установленной мощности приводного электродвигателя подъемной машины и выбор запасов прочности элементов подъемных установок.

Анализ динамических процессов подъемных установок в общем случае с учетом упругости элементов, распределения масс канатов по их длине, нелинейностей и рассеяния энергии весьма сложен. Поэтому для решения конкретных практических задач кинематики и динамики прибегают к упрощениям расчетных схем подъемных установок. В частности, при рассмотрении их динамики широко используется представление подъемных установок в виде одномассных систем «подъемный сосуд – канат» без учета упругости звеньев, т. е. последние принимаются абсолютно твердыми телами, не подвергающимися деформациям. Такое допущение может быть принято только при установившемся движении подъемных сосудов, т. е. с постоянной скоростью или с постоянными ускорением и замедлением, когда отсутствуют их колебания. Рассмотрение подъемных установок как одномассных систем позволяет выбирать рациональные режимы подъемных установок и мощность приводного электродвигателя подъемной машины, пользуясь простым математическим аппаратом.

Для анализа переходных процессов подъемные установки приходится рассматривать как многомассные динамические системы с упругими элементами. Ввиду сложности получаемой при этом математической модели подъемной установки, определение нагрузок в звеньях, их скоростей и ускорений осуществляют в последнее время с использованием современной вычислительной техники.

4.2. Выбор типа подъемных сосудов и установление их грузоподъемности

Основным видом подъемных сосудов для выдачи полезного ископаемого являются скипы, имеющие наименьшую массу.

Тип подъемного сосуда всецело определяется значением подъема и рода полезного ископаемого, а грузоподъемность – годовой производительностью шахты, подземного рудника.

Часовая производительность скипового подъема (т/ч) определяется по формуле :

$$Q_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{р}} \cdot A_{\text{г}}}{n \cdot T_{\text{сут}}}, \qquad (4.1)$$

где $K_{\text{р}}$ = 1,15 – 1,5 – коэффициент резерва производительности и неравномерности работы подъема; $A_{\text{г}}$ – годовая производительность шахты, рудника, т/г; n=305 число рабочих дней в году; $T_{\text{сут}}$ – число часов работы подъема в сутки, в зависимости от числа смен в шахте, ч.: 14 ч – при двух сменах основного подъема; 18 ч – при двух сменах вспомогательного подъема и трех сменах основного подъема; 20 ч – при реконструкции, подготовке новых горизонтов и т. д.

Грузоподъемность $Q_{\text{г}}$ подъемных сосудов выбирается из условия необходимой производительности:

- для двухсосудного подъема

$$Q_{\text{г}} = \left(\frac{4\sqrt{H_{\text{ш}}} + \theta}{3600}\right) Q_{\text{ч}}, \qquad (4.2)$$

- для однососудного подъема

$$Q_{\text{г}} = \left(\frac{4\sqrt{H_{\text{ш}}} + \theta}{3600}\right) 2Q_{\text{ч}}, \qquad (4.3)$$

где $H_{\text{ш}}$ – глубина шахты (ствола), м; θ – продолжительность паузы между подъемами, зависящая от грузоподъемности, принимаемая в среднем для

одноканатных машин 8-10 с и 20-25 с для многоканатных (см. табл. 7.1, I часть).

Грузоподъемность скипов (т) для вертикального подъема лимитируется максимально допустимой по ПБ [1] скоростью их движения и устанавливается по приближенной формуле:

$$Q_{\text{г}} = \frac{0{,}1H + \theta}{3600} Q_{\text{ч}}, \tag{4.4}$$

где H – вертикальная высота подъема, м.

Полученную величину грузоподъемности $Q_{\text{г}}$ округляют до ближайшего стандартного значения. После чего выписывают из каталога все его технические показатели, а именно: полезную емкость, размеры, грузоподъемность, массу скипа.

4.3. Выбор максимальной скорости подъема

Необходимое число подъемов в час:

$$n_{\text{ч}} = \frac{Q_{\text{ч}}}{Q_{\text{г}}}. \tag{4.5}$$

Продолжительность одного подъема, с:

$$T_{\text{р}} = \frac{3600}{n_{\text{ч}}}. \tag{4.6}$$

Время движения подъемного сосуда, с:

$$T = T_{\text{р}} - \theta, \tag{4.7}$$

где θ – продолжительность загрузки и разгрузки подъемных сосудов, с.

Средняя скорость подъема, м/с:

$$v_{\text{ср}} = \frac{H}{T}, \tag{4.8}$$

где H – вертикальная высота подъема, м;

$$H = H_{\text{ш}} + H_{\text{доп}} \tag{4.9}$$

$H_{\text{доп}}$ – ориентировочная высота разгрузки скипа и углубки под загрузку, м, не более: 45 – для одноканатных скиповых ПУ; 60 – для многоканатных ПУ; 10 – для одноканатных клетевых ПУ; 15 – для многоканатных клетевых ПУ [12].

Ориентировочная максимальная скорость подъема, м/с:

$$v_{max} = \alpha \cdot v_{ср}, \tag{4.10}$$

где α – множитель скорости.

Допускаемая правилами ПБ [1] скорость движения для вертикальных подъемников при подъеме грузов не ограничена, а скорость подъема людей не более 12 м/с.

4.4. Расчет и выбор подъемных канатов

Расчет и выбор канатов при высоте подъема до 600 м

Линейная масса каната (кг/м) определяется по выражению:

$$m_к = \frac{m_г + m_с}{(\frac{\sigma_в}{n\rho_0 g} - H_о)z}, \tag{4.11}$$

где $m_г + m_с = Q_0$ – концевая масса, сумма полезного груза и масса подъемного сосуда, кг; z – число канатов; $\sigma_в$ – временное сопротивление проволок каната разрыву, принимаемое для расчетов 1600-1800 МПа; n – статический запас прочности каната по ПБ [1] должен быть не ниже 9-кратного для людского подъема, 7,5-кратного для грузолюдского подъема, 6,5-кратного для грузового, 8-кратного для людских и грузолюдских подъемников со шкивами трения, 7-кратного для грузовых многоканатных со шкивами трения; ρ_0 – условная плотность каната, принимаемая для круглопрядной конструкции двойной свивки равной 9680 кг/м^3, трехграннопрядных – 9025 кг/м^3 и закрытой конструкции – 8530 кг/м^3; g – сила тяжести, 9,81 м/с^2; $H_о$ – суммарная, вертикальная длина отвеса каната (м), которую можно определить по формуле:

$$H_о = H + l_о, \tag{4.12}$$

где $l_о$ – длина отвеса каната ПУ [12]: 25 м – одноканатной клетевой; 50 м – многоканатной клетевой; 75 м – одноканатной скиповой; 90 м – многоканатной скиповой.

Определив $m_к$, по таблицам ГОСТ 7668-80, ГОСТ 7669-80, ГОСТ 3085-80, ГОСТ 10506-76 выбирают канат с ближайшим большим значением массы 1 м и находят его параметры – диаметр и суммарное разрывное усилие проволок $P_с$. Затем проверяют фактический запас прочности выбранного каната.

Для выбранного каната находят фактический запас прочности:

$$n_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{р}}}{g((m_{\text{г}} + m_{\text{с}}) + m_{\text{к}} H_{\text{о}} z)} \geq n_{\text{ст}}, \tag{4.13}$$

где $Q_{\text{р}}$ – суммарное разрывное усилие выбранного каната.

Запас прочности в канате должен быть не менее указанного в ПБ [1].

Расчет и выбор канатов при высоте подъема более 600 м

Линейная масса каната (кг/м) определяется по выражению:

$$m_{\text{к}} = \frac{m_{\text{г}} + m_{\text{с}}}{\frac{\sigma_{\text{в}}}{n\rho_0 g} z}, \tag{4.14}$$

где n – статический запас прочности каната по ПБ [1] при высоте подъема более 600 м.

Определив $m_{\text{к}}$, по таблицам ГОСТ 7668-80, ГОСТ 7669-80, ГОСТ 3085-80, ГОСТ 10506-76 выбирают канат, который затем проверяют на соответствие двум условиям требований ПБ [1] (без учета массы головного каната и с её учетом):

$$n_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{р}}}{g(m_{\text{г}} + m_{\text{с}})} \geq n_{\text{ст}}; \tag{4.15}$$

$$n_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{р}}}{g((m_{\text{г}} + m_{\text{с}}) + m_{\text{к}} H_{\text{о}} z)} \geq n'_{\text{ст}}, \tag{4.16}$$

где $Q_{\text{р}}$ – суммарное разрывное усилие каната, кг.

Запас прочности в канате должен быть не менее указанного в ПБ [1].

Расчет и выбор канатов для наклонного подъема

Расчет и выбор подъемного каната для наклонного подъема производится по следующим формулам.

Линейная масса каната (кг/м) определяется по выражению:

$$m_{\text{к}} = \frac{(m_{\text{г}} + m_{\text{с}})(\sin\alpha_{\text{н}} + f_1 \cos\alpha_{\text{н}})}{\frac{\sigma_{\text{в}}}{n\rho_0 g} - L_{\text{н}}(\sin\alpha_{\text{н}} + f_2 \cos\alpha_{\text{н}})}, \tag{4.17}$$

где f_1=0,022 – коэффициент сопротивления движению сосуда при подшипниках качения; f_2=0,15-0,2 – коэффициент сопротивления движе-

нию каната по роликам или почве; $L_н$ – суммарная наклонная высота подъема карьерного подъемника, м:

$$L_н = \frac{H + 20}{\sin \alpha_н}. \tag{4.18}$$

Для выбранного каната находят фактический запас прочности (4.19)

$$n_ф = \frac{Q_р}{g((m_г + m_с)(\sin \alpha_н + f_1 \cos \alpha_н) + m_к L_н (\sin \alpha_н + f_2 \cos \alpha_н))} \geq n_{ст}.$$

Запас прочности в канате должен быть не менее указанного в ПБ, при меньшем фактическом запасе нужно принять канат с большим значением линейной массы или иной маркировочной группы при соответствующем значении суммарного разрывного усилия всех проволок в канате.

4.5. Расчет и выбор уравновешивающих канатов

Уравновешивающие канаты при одноканатном подъеме рекомендуют, как правило, использовать при глубинах более 550 м (см. рис. 7.2, *б,* I часть) при условии:

$$\frac{m_к \cdot H}{к \cdot m_г} \geq 0{,}6, \tag{4.20}$$

где $m_к$ – масса одного погонного метра каната, кг/м; H – вертикальная высота подъема, м; $m_г$ – масса полезного груза, кг.

Многоканатные подъемные установки ПУ обязательно снабжаются нижними уравновешивающими канатами (см. рис. 7.2, *в*, 7.5, I часть).

Линейную массу 1 м хвостового каната определяют по формуле:

$$q = \frac{z}{n_х} m_к. \tag{4.21}$$

Для одноканатного подъема навешивают один канат, а для многоканатного не менее 2 и не более 4. Навеску канатов необходимо осуществлять при условии $q \geq m_к$.

В качестве уравновешивающих канатов рекомендуется применять:

- круглые малокрутящиеся с вертлюгами в угольной промышленности;
- резинотросовые канаты (ленты) в черной и цветной металлургии.

Требования к применению уравновешивающих канатов при навеске: для круглых канатов устанавливают отбойные брусья; для резино-

тросовых, брусья отсутствуют, при этом расстояние между нижними частями петли и нижним брусом должно обеспечить свободное перемещение петли при подъеме, а так же должна быть предусмотрена защита от поднятия петли.

При превышении линейной массы хвостовых канатов над массой головных необходимо определять разность масс канатов по выражению:

$$\Delta = n_{\text{х}} q - z m_{\text{к}} \tag{4.22}$$

Определяют массу 1 погонного метра каната с учетом полученной разности:

$$m_{\text{к}} = \frac{(m_{\text{г}} + m_{\text{с}}) + \Delta H}{(\frac{\sigma_{\text{в}}}{n\rho_0 g} - H_{\text{о}})z}. \tag{4.23}$$

После этого производят выбор нового головного каната и выполняют проверку его на запас прочности по выражению:

$$n_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{р}}}{g((m_{\text{г}} + m_{\text{с}}) + m_{\text{к}} H_{\text{о}} z + \Delta H)} \geq n_{\text{ст}}. \tag{4.24}$$

При реконструкции подъемников производят проверочный расчет каната согласно принятым методикам. Если он не отвечает требованиям ПБ, то производят выбор и навеску новых канатов.

При выборе уравновешивающих канатов следует иметь в виду, что при наличии абразивной пыли всегда нужно применять плоские канаты.

Расположение плоских канатов должно исключать прямое попадание вентиляционной струи на широкую сторону каната.

Запас прочности резинотросовых уравновешивающих канатов должен быть не менее 5,5-кратного, т. е.

$$n = \frac{Q_{\text{р}}}{qH} \geq 5{,}5. \tag{4.25}$$

4.6. Расчет и выбор шахтной подъемной машины

Как правило, в состав шахт и подземных рудников входят вертикальные стволы, которые в свою очередь оборудуются одноканатными или многоканатными подъемными установками.

Целесообразность применения одноканатного или многоканатного подъема определяют технико-экономическим сравнением вариантов с учетом капитальных и эксплуатационных затрат.

При обеспечении проектной годовой производительности и канатоемкости необходимо применять подъемные установки с барабанными подъемными машинами.

Потребность применения многоканатных подъемных установок появляется при значительной годовой производительности шахт и глубине от 600 и более метров. При выборе многоканатных машин следует их размещать на земной поверхности.

Выбор барабанной подъемной машины

Диаметр барабана регламентируется ПБ в соответствие с которым

$$D_{б} \geq 79\ d_{к}, \tag{4.26}$$

Округляется до ближайшего стандартного.

Расчетная ширина каждого из двух барабанов при навивке в один слой, м:

$$B_{б} = (\frac{H + l_{пр}}{\pi \cdot D_{б}} + n_{вт} + 1) \cdot (d_{к} + b_{з}) \leq B; \tag{4.27}$$

при навивке в несколько слоев:

$$B_{б} = (\frac{H + l_{пр}}{\pi D_{б_{ср}} n_{сл}} + n_{вт} + 1) \cdot (d_{к} + b_{з}) \leq B, \tag{4.28}$$

где

$$D_{б\,ср} = D_{б} + (n_{сл} - 1)\ d_{к} \tag{4.29}$$

В случае однобарабанной машины с целым барабаном:

$$B_{б} = (\frac{H + 2l_{пр}}{\pi D_{б}} + 2n_{вт} + 2) \cdot (d_{к} + b_{з}) \leq B, \tag{4.30}$$

и разрезным:

$$B_{б} = B_{з} + B_{пер} + (50 \ldots 70\ мм) \leq B \tag{4.31}$$

где $B_{з}$ – заклиненная часть барабана, определяется по формуле:

$$B_{з} = (\frac{H + l_{пр}}{\pi D_{б}} + n_{вт} + 1) \cdot (d_{к} + b_{з}) \leq B, \tag{4.32}$$

$B_{пер}$ – перестановочная часть барабана, определяется по формуле

$$B_{\text{пер}} = \left(\frac{H_{\text{пер}} + l_{\text{пр}}}{\pi D_{\text{б}}} + n_{\text{вт}} + 1\right) \cdot (d_{\text{к}} + b_{\text{з}}) \le B, \qquad (4.33)$$

где $l_{\text{пр}}$ = 30 – 40 – длина каната для испытания, м; $n_{\text{вт}}$ – витки трения: для барабанов с деревянной футеровкой $n_{\text{вт}}$ = 3, для барабанов с металлической футеровкой $n_{\text{вт}}$ = 5; $b_{\text{з}}$ = 2 – 3 мм – зазор между витками каната при $D_{\text{б}}$ до 6 м; 1 – два полувитка неиспользуемой ширины барабана; 2 – зазор между свивающимися и навивающимися ветвями каната.

В технической характеристике каждой подъемной машины приведены величины максимального допускаемого статического натяжения каната и максимальной разности статических натяжений канатов. Поэтому для выбора подъемной машины следует предварительно посчитать эти величины и сравнить их с данными для принимаемой в последующем машины.

Максимальное статическое натяжение каната (Н) возникает в начале цикла подъема, когда груженный подъемный сосуд находится в самой нижней точке и определяется по выражению:
для вертикальных одноканатных ПУ

$$F_{\text{ст max}} = (m_{\text{г}} + m_{\text{с}})g + m_{\text{к}} \text{H}_0 g\,, \qquad (4.34)$$

для наклонных одноканатных ПУ

$$F_{\text{ст max}} = g((m_{\text{г}} + m_{\text{с}})(\sin\alpha_{\text{н}} + f_1 \cos\alpha_{\text{н}}) + m_{\text{к}} L_{\text{н}} (\sin\alpha_{\text{н}} + f_2 \cos\alpha_{\text{н}})). \qquad (4.35)$$

Наибольшая разность статических натяжений (Н) в канатах для двухконцевого подъема определяется по формуле:
для вертикальных одноканатных ПУ

$$F_{\text{ст р}} = m_{\text{г}} g + m_{\text{к}} \text{H}_0 g\,, \qquad (4.36)$$

для вертикальных одноканатных с противовесом ПУ

$$F_{\text{ст р}} = 0{,}5 m_{\text{г}} g + m_{\text{к}} \text{H}_0 g\,, \qquad (4.37)$$

для вертикальных одноканатных с уравновешивающим канатом ПУ

$$F_{\text{ст р}} = m_{\text{г}} g\,, \qquad (4.38)$$

для наклонных одноканатных ПУ

$$F_{\text{ст р}} = g((m_{\text{г}} + m_{\text{с}})(\sin\alpha_{\text{н}} + f_1 \cos\alpha_{\text{н}}) + m_{\text{к}} L_{\text{н}} (\sin\alpha_{\text{н}} + f_2 \cos\alpha_{\text{н}})). \qquad (4.39)$$

Таким образом, по полученным значениям $D_{\text{б}}$; $B_{\text{б}}$; $F_{\text{ст max}}$; $F_{\text{ст р}}$ производят выбор подъемной машины.

Выбор многоканатной подъемной машины

Определение требуемого диаметра шкива трения осуществляется следующим образом:
без отклоняющих шкивов по выражению (4.26), а в случае с отклоняющими шкивами

$$D_{ош} \geq 0{,}95\ d_к. \tag{4.40}$$

Максимальное статическое натяжение канатов определяется по выражению:

$$F_{ст\ max} = (m_г + m_с)g + m_к H_0 n_{гк} g\ , \tag{4.41}$$

Наибольшая разность статических натяжений определяется по формулам:
для вертикальных многоканатных ПУ с уравновешивающим канатом

$$F_{ст\ р} = m_г g\ , \tag{4.42}$$

для вертикальных многоканатных ПУ с противовесом и с уравновешивающим канатом

$$F_{ст\ р} = 0{,}5\ m_г g\ , \tag{4.43}$$

для вертикальных многоканатных ПУ с тяжелым уравновешивающим канатом

$$F_{ст\ р} = m_г g + \Delta H_0 g, \tag{4.44}$$

где Δ определяется по формуле (4.22),
для вертикальных многоканатных ПУ с противовесом и с тяжелым уравновешивающим канатом

$$F_{ст\ р} = 0{,}5 m_г g + \Delta H_0 g, \tag{4.45}$$

Для многоканатных подъемных машин определяют допустимое удельное давление на футеровку шкива, которое не должно превышать [1, 11, 12]:
для канатов закрытой конструкции 2,5 МПа (25 кгс/см^2);
для трехграннопрядных и круглопрядных с линейным касанием проволок – не более 2,0 МПа (20 кгс/см^2) и отсутствие проскальзывания.

Удельное давление каната определяется по формуле:

$$\tau = \frac{F_1 + F_2}{D_{ош} \cdot z \cdot d_к}, \tag{4.46}$$

где F_1 и F_2 – статическое натяжение канатов со стороны груженой и порожней ветвей, Н:

$$F_1 = (m_г + m_с)g + m_к H_0 zg\,, \quad (4.47)$$

для вертикальных многоканатных ПУ с уравновешивающим канатом

$$F_2 = m_с g + m_к H_0 n_х g\,, \quad (4.48)$$

где $m_с$ – масса подъемного сосуда, кг; $n_х$ – число хвостовых (уравновешивающих) канатов;

для вертикальных многоканатных ПУ с противовесом и с уравновешивающим канатом

$$F_2 = m_с g + 0{,}5(m_г + m_с)g + m_к H_0 n_х g\,, \quad (4.49)$$

Проверку на отсутствие проскальзывания производят для наиболее неблагоприятного периода, т. е. при наименьшей высоте подъема, по выражению:

$$K_{ст} = \frac{F_1}{F_2} \le 1{,}5. \quad (4.50)$$

При не выполнении данной проверки, необходимо выполнить утяжеление скипов по формуле:

$$\Delta Q_с = 2(F_1 - 1{,}5F_2). \quad (4.51)$$

При последующем движении сосуда в стволе, т. е. увеличении высоты подъема, величина груза должна соответственно уменьшаться.

Таким образом, по результатам проведенных расчетов $D_{ош}$; $F_{ст\ max}$; $F_{ст\ р}$, $n_{гк}$ производят выбор многоканатной подъемной машины.

Выбор подъемной машины при проходке стволов

Общеизвестно, что при проходке стволов глубиной до 1170 м и диаметром 5-8 м применяются передвижные (блочно-контейнерные) подъемные машины, а при проходке стволов глубиной выше 1200 м используют стационарные машины [10, 11, 12].

Выбор подъемной машины эксплуатирующейся под землей

Диаметр барабана подъемной машины регламентируется ПБ в соответствие с которым

$D_б \ge 60\ d_к$. (4.52)

ПБ разрешают двухслойную навивку каната на барабан в подземных условиях для грузовых подъемов и при угле наклона ствола от 30 до 60^0 для людских и грузолюдских подъемов.

При использовании многослойной навивки ширину барабана находят по формуле (4.28).

Выбор копровых и отклоняющих шкивов

Копровые шкивы предназначены для обеспечения заданного расстояния между подъемными сосудами в стволе шахты.

Для барабанных подъемных машин их диаметр определяют по формулам (4.26 и 4.52) и принимают по данным [4, 11, 12].

Отклоняющие шкивы поставляются в комплекте с многоканатной подъемной машиной заводом-изготовителем и выпускаются двух типоразмеров: $D_{ош}$ = 2,0 м для машин с диаметрами 2,1-3,25 м и $D_{ош}$ = 3,0 м для более крупных. Значения махового момента отклоняющих шкивов приведены в [10, 12].

4.7. Определение основных размеров подъемной установки

Выбор схемы расположения подъемной машины относительно ствола шахты определяется компоновкой поверхности, зависит от расположения околоствольного двора, подъездных путей и рельефа местности.

Определение высоты копра

Для одноканатных вертикальных подъемных установок (см. рис. 7.4, *а*, *б,* I часть) высота копра (вертикальное расстояние от нулевой отметки устья ствола до оси верхнего копрового шкива) равна:
на одной геометрической оси (рис. 7.4, *а,* I часть)

$$H_к = h_0 + h_с + h_{пгр} + 0{,}75R_ш ; \qquad (4.53)$$

в одной вертикальной плоскости (рис. 7.4, *б,* I часть)

$$H_к' = H_к + 2R_ш + 1, \qquad (4.54)$$

Современные копры являются индивидуальными сооружениями, приспособленными к конкретным условиям.

Для многоканатных подъемных установок с наземным расположением копра его высоту определяют по формуле (4.53); с учетом обязательного расположения копровых направляющих шкивов в одной вертикальной плоскости по формуле (4.54).

В случае расположения многоканатной подъемной машины в башенном копре, сооруженном над устьем шахты (см. рис. 7.5, I часть), высоту копра определяют с учетом требований ПБ и особенностей размещения всего комплекса оборудования, защитных и предохранительных устройств.

Определение элементов расположения подъемной машины относительно ствола шахты

При выборе места расположения подъемной машины необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на работу подъемной установки:

- условия залегания полезного ископаемого и систему разработки месторождения;

- место расположения подъемных машин должно согласовываться с поверхностными сооружениями, с поверхностным транспортом и схемой разгрузки подъемных сосудов.

Кроме того, на выбор схемы и места оказывают влияние тип принятой машины, ее размеры и число машин. Все эти вопросы решаются комплексно.

При проектировании подъемной машины необходимо предусмотреть;

а) чтобы фундаменты машинного здания и фундаменты укосины копра не соприкасались между собой, так как вибрация укосины может привести к разрушению фундаментов машины;

б) чтобы машинное здание было отнесено от ствола шахты на такое расстояние, при котором угол наклона струны каната к горизонту был, не менее 30^0 и нижняя струна каната не задевала за раму машины.

Расстояние между осью барабана и осью ствола шахты рекомендуется выбрать таким образом, чтобы струны каната не были сильно натянуты, и не изнашивался канат при его крайних положениях на барабане (о борта направляющих шкивов и витки трения). Отдаление подъемной машины на значительное расстояние от ствола также незначительно, так как это связано с удлинением струн каната с резкими поперечными колебаниями струн, с возникновением дополнительных напряжений в канате и может привести к выскакиванию каната через борта направляющих шкивов при ослаблении натяжения.

Классическое расположение подъемной машины относительно ствола шахты представлено на рис. 7.4, I часть, но может быть и другое множество вариантов, например, с разворотом копровых шкивов, с веерным расположением ПМ, с относительным смещением копровых шкивов в параллельных плоскостях и т. д. [12].

Значение величины $L_м$ (см. рис. 7.4, *а,* I часть) расстояние от оси каната до оси подъемной машины зависит от многих факторов и может находиться в пределах $H_к < L_м < 1{,}5H_к$.

Определяем длину струны каната (м) по выражению:

$$L_{\text{с}} = \sqrt{(H_{\text{к}} - C)^2 + (L_{\text{м}} - R_{\text{ш}})^2}, \qquad (4.55)$$

Определяем угол наклона струны каната к горизонту по формуле:

$$\text{tq}\beta = \frac{H_{\text{к}} - C}{L_{\text{м}} - R_{\text{ш}}} \ . \qquad (4.56)$$

Значения углов отклонения канатов в плоскости их струны проверяют по формулам (см. рис. 7.4, *а,* I часть):

$$\text{tg}\alpha_{\text{н}} = \frac{b_{\text{н}}}{L_{\text{с}}}; \quad \text{tg}\alpha_{\text{в}} = \frac{b_{\text{в}}}{L_{\text{с}}}, \qquad (4.57)$$

где $b_{\text{н}}$ и $b_{\text{в}}$ – соответственно наружное и внутреннее линейное отклонение каната на барабане, м.

При размещении шкивов в одной вертикальной плоскости (см. рис. 7.4, *б,* I часть) в формулу (4.57) вместо $L_{\text{с}}$ подставляют $L_{\text{с1}}$ и $L_{\text{с2}}$.

Значения отклонений $b_{\text{н}}$ и $b_{\text{в}}$ легко определяются из треугольников и геометрических размеров органов навивки. В частности, для двухбарабанного органа навивки

$$b_{\text{в}} = \frac{b_{\text{ш}}}{2} - \frac{b_{\text{р}}}{2} - b_0'; \quad b_{\text{н}} = B - b'_0 - b_{\text{в}} - b_0 \qquad (4.58)$$

где $b_{\text{ш}}$ – расстояние между шкивами; B – ширина барабана; $b_{\text{р}}$ – расстояние между внутренними ребордами барабанов; b'_0 – не использованная для навивки длина барабанов; b_0 – длина барабана под витками трения, $b_0 = n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{к}} + b_{\text{з}})$; $d_{\text{к}}$ – диаметр каната; $b_{\text{з}}$ – зазор между канатами; $n_{\text{тр}}$ – число витков трения (принимается при футеровке $n_{\text{тр}}$=3 и без нее $n_{\text{тр}}$=5).

4.8. Кинематика подъемной установки

Продолжительность одного цикла подъема определяется из условия: **для людского подъема** – подъем всего персонала, работающего в одну смену ($n_{\text{см}}$), не более чем за 30 минут ($t_{\text{ц}}$ = 30 мин):

определяется число людей размещающихся в клети ($n_{\text{л}}$) (в случае если клеть многоэтажная ($n_{\text{эт}}$), необходимо определять общее число людей);

определяется необходимое число клетей для подъема персонала смены по формуле:

$$n_{\text{к}} = \frac{n_{\text{см}}}{n_{\text{л}}}, \qquad (4.59)$$

где $n_{\text{л}} = n_1 \, n_{\text{эт}}$, n_1 – число людей, размещающихся в одном этаже клети;

определяется продолжительность одного цикла подъема с учетом холостого пробега клети (с), по формуле:

$$t_{\text{ц к}} = \frac{t_{\text{ц}} 60}{n_{\text{к}}}; \quad (4.60)$$

определяется время потребное на посадку людей в клеть, с, по формуле:

$$t_{\text{пос}} = 1{,}5\ n_{\text{1}} + 10; \quad (4.61)$$

определяется продолжительность движения клети (с), по формуле:

$$t_{\text{движ}} = \frac{t_{\text{ц к}} - n_{\text{эт}} t_{\text{пос}}}{2}; \quad (4.62)$$

определяется средняя скорость движения клети (м/с), по формуле:

$$v_{\text{ср}} = \frac{H_{\text{о}}}{t_{\text{движ}}}; \quad (4.63)$$

ориентировочная максимальная скорость движения клети (м/с):

$$v_{\text{max}} = v_{\text{ср}}\, a\ , \quad (4.64)$$

где a = 1,15 – 1,35 – множитель скорости, с ростом высоты подъема значение a принимают наименьшее.

для грузового подъема – часовая производительность ($Q_{\text{ч}}$), число подъемов в час ($n_{\text{ч}}$), продолжительность движения (T), ориентировочная средняя скорость движения ($v_{\text{ср}}$) были определена ранее по формулам 4.2, 4.5, 4.7, 4.8.

4.9. Выбор приводного двигателя и редуктора

Выбор двигателя

Частоту вращения электродвигателя определяют исходя из всех возможных передаточных чисел редуктора принятой подъемной машиной по формуле:

$$n_{\text{дв}} = \frac{60 v_{\text{мр}}}{\pi D_{\text{б}}} i_1;\ \ (i_2);\ \ (i_3). \quad (4.65)$$

Полученный результат округляют до ближайшей, как правило, большей фактической частоты вращения из технической характеристики предварительно приятого приводного электродвигателя и вновь уточняют максимальную скорость подъема по выражению:

$$v_{max} = \frac{\pi D_б n_н}{60 i}, \tag{4.66}$$

где $n_н$ номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин; i – окончательно принятое значение передаточного числа редуктора.

Ориентировочно мощность электродвигателя определяют в зависимости от типа принятой подъемной установки [4, 10, 11, 12]:
для вертикальных ПУ

$$N_{ор} = \frac{\lambda \kappa Q_0 v_{max} g}{1000 \eta_{ред}}; \tag{4.67}$$

для вертикальных с противовесом ПУ

$$N_{ор} = \frac{\lambda(\kappa - 0{,}5) Q_0 v_{max} g}{1000 \eta_{ред}}, \tag{4.68}$$

для вертикальных, проходческих, одноконцевых ПУ

$$N_{ор} = \frac{\lambda(Q + Q_с) v_{max} g}{1000 \eta_{ред}}; \tag{4.69}$$

для наклонных ПУ

$$N_{ор} = \frac{\lambda \kappa Q \sin \alpha_н v_{max} g}{1000 \eta_{ред}}, \tag{4.70}$$

где λ = 1,15 – 1,25 – диаграммный коэффициент, зависящий от высоты подъема, чем меньше высота тем больше коэффициент; κ – грузовой коэффициент: 1,15-для скиповых; 1,2-клетевых; 1,1-проходческих; 1,07-скиповых карьерных ПУ

При проектировании привода подъемных установок необходимо [11, 12]:

1. Клетевые мощностью до 1250 кВт укомплектовывать двухдвигательным асинхронным приводом.

2. Клетевые мощностью более 2000 кВт оснащают тихоходным двигателем постоянного тока.

3. Скиповые мощностью до 1250 кВт укомплектовывают двухдвигательным более надежным приводом.

4. Скиповые мощностью до 2500 кВт укомплектовывают одним или двумя по 1250 кВт на единицу.

5. Скиповые мощностью более 2500 кВт укомплектовывают тихоходным двигателем постоянного тока.

Для принятого электродвигателя необходимо выписать полную техническую характеристику и уточнить допускаемую перегрузку по выражению:
для двигателей переменного тока

$$\gamma = 0{,}8\ \gamma_{н} - 0{,}17; \tag{4.71}$$

для двигателей постоянного тока

$$\gamma = 0{,}95\ \gamma_{н} \tag{4.72}$$

где $\gamma_{н}$ – номинальная перегрузочная способность принятого электродвигателя.

Выбор редуктора

При выборе редуктора ориентируются на принятое передаточное число и крутящий момент на его тихоходном валу, который определяется по формуле:

$$M = (\frac{8150N_{ном}}{n_{ном}}\eta_{ред}\gamma_{ном} - \frac{0{,}025GD^2_{рот}}{0{,}5D_{б}}i)i, \tag{4.73}$$

где $N_{ном}$ – номинальная мощность принятого двигателя, кВт; $\eta_{ред}$=0,94 – 0,97 к.п.д. редуктора; $n_{ном}$ – номинальная частота вращения двигателя, об/мин; $GD^2_{рот}$ – маховый момент ротора (момент инерции), Нм^2; i – передаточное число редуктора.

Для многоканатных подъемных машин редукторы поставляют в комплекте с машиной.

Расшифровка типоразмера редукторов следующая:

Буквы: Ц – цилиндрический; Д – двухступенчатый; О – одноступенчатый; Н – с зацеплением Новикова. Число справа от буквенных обозначений – межцентровое расстояние в дм.

Если принят редуктор с двумя приводными быстроходными валами, то оба двигателя должны быть одного и того же типоразмера. Выбрав редуктор, в таблицу заносят его полную техническую характеристику.

4.10. Динамика подъемных установок с органом навивки постоянного радиуса в установившихся режимах движения

Расчет динамики подъема сводится к нахождению усилий на окружности органа навивки (см. рис. 7.7, I часть).

Основное динамическое уравнение для вертикальных ПУ с постоянным радиусом навивки в общем виде может быть представлено уравнением [10 – 12]:

$$F = \left[kQ \pm \alpha_м Q - (n_{хк} q - n_{гк} p)(H - 2x)\right]g + \alpha \sum m - \beta Q g, \quad (4.74)$$

где, кроме ранее известных, $\alpha_м$ – коэффициент, учитывающий неуравновешенность массы (мертвого веса) подъемного сосуда (с отклонением кузова – 0,15; опрокидных скипов – 0,35; опрокидных клетей – 0,5); β – коэффициент, учитывающий уменьшение массы полезного груза, в зависимости от свойств горной массы, в процессе движения в разгрузочных кривых (сухая, сыпучая: с секторным затвором – 0,75;с отклонением кузова – 0,8; опрокидных скипов – 1,0; опрокидных клетей – 0,75), (липкая, мокрая: с секторным затвором – 0,3; с отклонением кузова – 0,45; опрокидных скипов – 0,6; опрокидных клетей – 0,6).

Уравнение (4.74) возможно преобразовать в зависимости от схемы подъема:

скиповой подъем с не опрокидными скипами без уравновешивающего каната

$$F = \left[kQ + p(H - 2x)\right]g + \alpha \sum m - \beta Q g; \quad (4.75)$$

многоканатный скиповой подъем с не опрокидными скипами с противовесом и уравновешивающими канатами ($n_{гк}p = n_{хк}q$)

$$F = \left[(k - 0{,}5)Q - \beta Q\right]g + \alpha \sum m; \quad (4.76)$$

клетевой подъем (обыкновенная клеть) без уравновешивающего каната

$$F = \left[kQ + p(H - 2x)\right]g + \alpha \sum m; \quad (4.77)$$

многоканатный клетевой подъем (обыкновенная клеть) с противовесом и уравновешивающими канатами

$$F = \left[(k - 0{,}5)Q - (n_{хк} q - n_{гк} p)(H - 2x)\right]g + \alpha \sum m, \quad (4.78)$$

где $Q_{пр} = Q_м + Q_{мв} + 0{,}5Q$.

В практических расчетах вероятны различные варианты подъема и спуска груза.

При составлении основного динамического уравнения следует модифицировать уравнение (4.15) или составить, следуя общему уравнению:

$$F = F_{ст\ пв} - F_{ст\ ов} + к'Qg + a\Sigma m \quad (4.79)$$

где $F_{ст\ пв}$ – статическое усилие со стороны поднимаемой ветви каната, Н; $F_{ст\ ов}$ – статическое усилие со стороны опускаемой ветви каната, Н;

к' – коэффициент шахтных сопротивлений: для скипов – 0,15, для клетей – 0,2; Σ*m* – сумма приведенных к окружности навивки движущихся масс ПУ, Н.

В случае двухконцевой наклонной ПУ основное уравнение может иметь вид:

$$F = \left[k_{\text{н}}Q + p(L - 2x)\right]\sin\alpha_{\text{н}} + \alpha\sum m, \tag{4.80}$$

где

$$k_{\text{н}} = k + \frac{(Q + 2Q_{\text{м}})f_1 + pLf_2}{Qtg\alpha_{\text{н}}}. \tag{4.81}$$

Приведенную массу ПУ определяют применительно к расчетной схеме.

Так, для ПУ, приведенной на рис. 7.1, 7.4, I часть, имея в виду, что она снабжена редуктором, приведенная масса определяется по формуле:

$$\sum m = Q + 2Q_{\text{м}} + 2pL_{\text{гк}} + \\ + \frac{1}{g}\left(\frac{2GD^2_{\text{кш}}}{D^2_{\text{кш}}} + \frac{GD^2_{\text{б}}}{D^2_{\text{б}}} + \frac{GD^2_{\text{ред}}}{D^2_{\text{б}}} + \frac{GD^2_{\text{рот}}}{D^2_{\text{б}}}i^2\right)1000, \tag{4.82}$$

где, кроме известных, $L_{\text{гк}}$ – полная длина одной ветви головного каната, м; размерность GD^2 в кНм^2.

Для ПУ, приведенной на рис. 7.5, I часть, определяется по выражению:

$$\sum m = Q + 2Q_{\text{м}} + n_{\text{гк}}pL_{\text{гк}} + n_{\text{хк}}qL_{\text{хк}} + \\ + \frac{1}{g}\left(\frac{GD^2_{\text{цш}}}{D^2_{\text{цш}}} + \frac{GD^2_{\text{ош}}}{D^2_{\text{ош}}} + \frac{GD^2_{\text{ред}}}{D^2_{\text{цш}}} + \frac{GD^2_{\text{рот}}}{D^2_{\text{цш}}}i^2\right)1000. \tag{4.83}$$

При определении суммы приведенных масс основным правилом является обязательный учет всех истинных масс поступательно перемещающихся элементов ПУ и приведенных к окружности органа навивки вращающихся масс.

4.11. Определение предельных значений ускорения и замедления

Ускорение

При уточнении величины ускорения, прежде всего следует определить его возможное значение, исходя из того, что максимальное усилие

на окружности навивки (или канатоведущего шкива) не может быть больше максимального усилия принятого двигателя (с учетом фактической перегрузочной способности), приведенного так же к окружности навивки, т. е.

$$F_{\text{макс дв}} = \gamma F_{\text{н}} \tag{4.84}$$

где

$$F_{\text{н}} = \frac{1000 N_{\text{н}} \eta_{\text{ред}}}{\nu_{\text{м}}}. \tag{4.85}$$

Максимально возможное значение ускорения в этом случае будет (в общем виде):

$$a_1 \le \frac{\gamma F_{\text{н}} - \left[\kappa Q - (n_{\text{хк}} q - n_{\text{гк}} p)(H - 2h_p)\right] g}{\sum m}, \tag{4.86}$$

где, кроме известных, $h_{\text{р}}$ – путь движения подъемного сосуда в разгрузочных кривых, м.

Полученное по формуле (4.86) значение ускорения должно быть уточнено по длительности процесса ускорения, которая не должна быть меньше 4 с, и по нормативным требованиям. Так, для шахт угольной промышленности для вертикальных людских и грузовых подъемов величина основного ускорения (вне разгрузочных кривых) не должна превышать 0,75 м/с^2. Ускорение при трогании с места не должно превышать 0,3 м/с^2, а при проектировании рудных шахт черной металлургии рекомендуют основное ускорение для одноканатного людского подъема не более 0,75 м/с^2, грузового до 1,0 м/с^2 и многоканатного (любого) не более 0,6 м/с^2 [10 – 12].

Особенностью многоканатных ПУ является проверка ускорения по значениям, обеспечивающим статический (1,75) и динамический (1,25) коэффициенты безопасности против скольжения.

Статический коэффициент безопасности [10 – 12]

$$\mu_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{ст}_\text{о}} (e^{\varphi \alpha_0} - 1)}{F_{\text{ст}_\text{п}} - F_{\text{ст}_\text{о}}} \ge 1{,}75, \tag{4.87}$$

где $F_{\text{ст о}}$ – статическое усилие со стороны опускающейся ветви, Н; $F_{\text{ст п}}$ – статическое усилие со стороны поднимающейся ветви, Н; e = 2,72 – основание натурального логарифма; $\alpha_{\text{о}}$ – угол обхвата, рад; φ – коэффициент трения подъемных канатов по футеровке канатоведущего шкива,

который принимают 0,2 – для закрытых канатов и 0,25 – для трехгранопрядных и круглопрядных канатов с линейным и точечно-линейным касанием проволок в пряди.

Величину ускорения, определяемую из условия отсутствия скольжения, определяют по формуле:

$$a_{1\ доп} = \frac{F_{ст_о}(e^{\varphi\alpha_0} - 1) - 1{,}25(F_{ст_п} - F_{ст_о})}{1{,}25(m_п - m_о) + m_о(e^{\varphi\alpha_0} - 1)}, \qquad (4.89)$$

где $m_п$, $m_о$ – массы поднимающейся и опускающейся ветвей, кг

Применительно к схеме на рис. 7.5, I часть:

$\alpha_о = 1{,}15\pi$

$$F_{ст\ о} = [Q_м + n_{хк}qH + 0{,}4(к-1)Q)]g; \qquad (4.90)$$

$$F_{ст\ п} = [Q + Q_м + n_{гк}pH_о + 0{,}6(к-1)Q)]g; \qquad (4.91)$$

$$m_о = Q_м + n_{хк}qH + \frac{GD^2_{ош}}{gD^2_{ош}}1000; \qquad (4.92)$$

$$m_п = Q + Q_м + n_{гк}pH_о, \qquad (4.93)$$

где $GD^2_{ош}$ – момент инерции отклоняющих шкивов, кНм^2.

При определении ускорения по нескольким вариантам окончательно принимают наименьшее значение.

Замедление

При выборе величин замедления прежде всего руководствуются соображениями сокращения длительности подъемной операции, удобства и осуществимости самого процесса.

Наиболее предпочтительным является «тормозной» режим, которому соответствуют отрицательные значения результирующего усилия на окружности навивки. Многолетняя практика показывает, что наиболее целесообразно, чтобы абсолютное значение этого усилия не превышало $(0{,}2 – 0{,}3)Qg$. Тогда

$$a_з \le \frac{[(1{,}2-1{,}3)кQ + (n_{хк}q - n_{гк}p)(H - 2h_p)]g}{\sum m}. \qquad (4.94)$$

Для статически уравновешенных систем предпочтение отдают свободному выбегу. Тогда

$$a_з \le \frac{\kappa Q g}{\sum m}. \tag{4.95}$$

К двигательному режиму замедления переходят, как правило, в тех случаях, когда требуется увеличить длительность этого периода. При этом величина минимального положительного усилия (особенно при асинхронном приводе) должна быть больше $0{,}3F_н$. Тогда

$$a_з \le \frac{\left[\kappa Q + (n_{хк} q - n_{гк} p)(H - 2h_p)\right] g - 0{,}3F_н}{\sum m}, \tag{4.96}$$

При определении величины замедления следует помнить, что длительность этого периода должна быть не менее 4 с и соответствовать нормативным документам.

Величина основного замедления для вертикальных людских и грузовых подъемов не должна превышать 0,75 м/с^2.

Замедление при стопорении не должно превышать 0,3 м/с^2.

Для шахт черной металлургии для одноканатного подъема при спуске-подъеме людей величина замедления не должна превышать 0,75 м/с^2, а грузового 1,0 м/с^2. В случае многоканатного подъема она не должна превышать 0,6 м/с^2 [12].

При многоканатном подъеме при спуске груза могут возникнуть условия, при которых канаты будут проскальзывать в сторону вращения шкива.

Предельную величину замедления определяют по выражению:

$$a_{з\ пред} \le \frac{n' F_{ст_п} - F_{ст_о}}{n' m_п - m_о}, \tag{4.97}$$

где

$$n' = \frac{1{,}25}{1{,}25 + e^{-\varphi\alpha} - 1}. \tag{4.98}$$

4.12. Ускорение и замедление наклонных подъемных установок

Методика определения ускорений и замедлений аналогична приведенной ранее для вертикальных ПУ. Предельные ускорения и замедления могут быть определены по следующим формулам:

$$a_1 \le \frac{\gamma F_{\text{н}} - \left[\kappa_{\text{н}} Q + p(L - 2l_{\text{р}})\right] g \sin \alpha_{\text{н}}}{\sum m}, \quad (4.99)$$

$$a_{\text{з}} \le \frac{\left[(1{,}2 - 1{,}3)\kappa_{\text{н}} Q - p(L - 2l_{\text{р}})\right] g \sin \alpha_{\text{н}}}{\sum m}, \quad (4.100)$$

$$a_{\text{з}} \le \frac{\left[\kappa_{\text{н}} Q - p(L - 2l_{\text{р}})\right] g \sin \alpha_{\text{н}} - 0{,}3F_{\text{н}}}{\sum m}, \quad (4.101)$$

Дополнительно следует иметь в виду, что при спуске-подъеме людей a_1 и $a_{\text{з}}$ ограничивают величиной 0,5 м/с^2.

Для наклонных подъемников с малым углом наклонного пути для избежания набегания подъемных сосудов на канат должны выполняться условия:

$$a_1 \le a_{E_0} = \frac{F_{\text{ст}_{\text{о}}}}{m_{\text{о}}}, \quad (4.102)$$

$$a_{\text{з}} \le a_{E_{\text{п}}} = \frac{F_{\text{ст}_{\text{п}}}}{m_{\text{п}}}, \quad (4.103)$$

где $a_{\text{Ео}}$ и $a_{\text{Еп}}$ – естественное ускорение порожней (опускаемой) и груженой ветвей каната; $F_{\text{сто}}$ и $F_{\text{стп}}$ – статическое натяжение опускаемой и поднимаемой ветвей каната, Н; $m_{\text{о}}$ и $m_{\text{п}}$ – масса опускаемой и поднимаемой ветвей каната, кг.

В формулах (4.102) и (4.103):

$$F_{\text{ст}_{\text{о}}} = \left[(Q_{\text{м}} + pl_1)\sin \alpha_{\text{н}} - (Q_{\text{м}}\varphi_1 + pl_1\varphi_1)\cos \alpha_{\text{н}}\right] g; \quad (4.104)$$

$$F_{\text{ст}_{\text{п}}} = \left[(Q + Q_{\text{м}})(\sin \alpha_{\text{н}} + \varphi_1 \cos \alpha_{\text{н}})\right] g; \quad (4.105)$$

$$m_o = Q_{\text{м}} + pl_1 + 1000\frac{GD^2_{\text{кш}}}{gD^2_{\text{кш}}}; \quad (4.106)$$

$$m_{\text{п}} = Q + Q_{\text{м}} + pl_{\text{з}} + 1000\frac{GD^2_{\text{кш}}}{gD^2_{\text{кш}}}, \quad (4.107)$$

где l_1 – длина пути за период ускорения, м; $l_{\text{з}}$ – длина пути за период замедления, м.

4.13. Выбор тахограммы скорости (графика) и её построение

Виды тахограмм (графиков) скорости

Для ПУ, оборудованных обыкновенными клетями, наиболее целесообразно применять трехпериодные тахограммы скорости с или убывающим (в случае привода от двигателя постоянного тока) ускорением.

В последние годы в мировой практике ведутся работы по применению автономного привода разгрузочных устройств скипов, расположенных на копре. Это позволит осуществлять подъемную операцию по трехпериодной тахограмме, что в конечном счете приведет к увеличению производительности ПУ.

Для подъемных установок, оборудованных скипами и клетями, разгрузка которых связана с разгрузочными кривыми, используют пяти-, шести- или семипериодные тахограммы.

Нормы технологического проектирования [1, 10 – 12] рекомендуют для скиповых и клетевых подъемов принимать семипериодные тахограммы.

Это требование связано с удобством автоматизации управления и повышением безопасности. При этом в расчетах скиповых установок расчетный путь движения в разгрузочных кривых следует удваивать, а для клетей принимать 3 м.

Нормы проектирования шахт черной металлургии также рекомендуют применять семипериодные диаграммы скорости. Путь выхода ролика скипа из разгрузочных кривых рекомендуется принимать равным 2,5 м, а входа – 4 м. Для клетей (условно принимать) соответственно 1,5 м и 2 м.

Данные, которые должны быть известны для расчетов графиков скорости, усилий и мощности

H – расчетная высота подъема, м;

v_{max} – максимальная скорость подъема, м/с;

Q – полезная грузоподъемность, кг;

$Q_м$ – масса подъемного сосуда, кг;

$N_н$ – мощность двигателя (двигателей), кВт;

Σm – приведенная масса движущихся частей ПУ, кг;

$t_р$ – расчетная длительность подъемной операции (без паузы), с;

$a_о$; a_1; $a_з$; $a_к$ – ускорения и замедления, м/с^2;

$h_р$ – разгрузочный путь подъемного сосуда (см. 4.13);

p – погонная масса головного каната, кг/м;

q – погонная масса уравновешивающего каната, кг/м;

$n_{гк}$ – число головных канатов;

$n_{хк}$ – число уравновешивающих канатов;

$v_о$ и $v_в$ – скорости выхода и входа в разгрузочные кривые, м/с.

По [10 – 12] $v_о$ и $v_в$ не должны превышать 0,5 м/с. Определение или уточнение этих величин изложено выше в соответствующих разделах данной работы.

Трехпериодная тахограмма скорости

Тахограмма скорости. Время и путь в период ускорения

$$t_1 = \frac{v_{max}}{a_1} \geq 4 \text{ с} \quad h_1 = \frac{v_{max} t_1}{2}. \tag{4.108}$$

Время и путь в период замедления

$$t_з = \frac{v_{max}}{a_з} \geq 4 \text{ с}; \quad h_з = \frac{v_{max} t_з}{2}. \tag{4.109}$$

Длительность в период равномерного движения и путь

$$t_2 = \frac{h_2}{v_{max}}; \qquad h_2 = H - (h_1 + h_з) \tag{4.110}$$

Длительность подъемной операции

$$t_1 + t_2 + t_з \leq t_р. \tag{4.111}$$

Последнее условие должно обязательно выполняться, так как соответствует заданной производительности подъемника.

График усилий для случая одноканатной ПУ с обыкновенными клетями и без уравновешивающих канатов (рис. 4.1).

Основное динамическое уравнение в соответствии с формулой (4.74) примет вид

$$F = [\kappa Q + p(H - 2x)]g + \alpha \sum m. \tag{4.112}$$

Усилие:

в начале подъемной операции

$$F_1' = (\kappa Q + pH)g + \alpha_1 \sum m; \tag{4.113}$$

в конце ускоренного движения

$$F_1' = F_1' - 2ph_1 \tag{4.114}$$

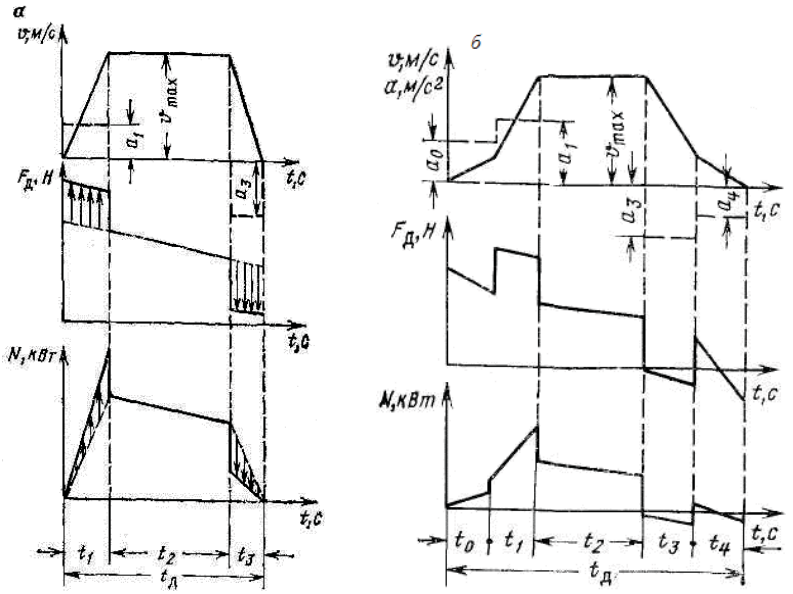


Рис. 4.1. Диаграммы скорости v, движущего усилия $F_д$ и мощности N подъемной установки без уравновешивающего каната:
а – трехпериодная и *б* – пятипериодная

в начале равномерного движения

$$F_2^{/} = F_1^{/} - \alpha_1 \sum m \qquad (4.115)$$

в конце равномерного движения

$$F_2^{/} = F_2^{/} - 2ph_2 \qquad (4.116)$$

в начале замедления

$$F^{/}_{з} = F_2^{/} - \alpha_з \sum m \qquad (4.117)$$

в конце подъемной операции

$$F^{//}_{з} = F^{/}_{з} - 2ph_3 \qquad (4.118)$$

График мощности:
В конце ускоренного движения

$$N_1^{/} = \frac{F_1^{/} v_{\max}}{1000}; \quad (4.119)$$

в начале равномерного движения

$$N_2^{/} = \frac{F_2^{/} v_{\max}}{1000}; \quad (4.120)$$

в конце равномерного движения

$$N_2^{//} = \frac{F_2^{//} v_{\max}}{1000}; \quad (4.121)$$

в начале замедления

$$N_з^{/} = \frac{F_з^{/} v_{\max}}{1000}. \quad (4.122)$$

Пятипериодная тахограмма скорости

Тахограмма скорости. Необходимо уточнить длительность пуска в разгрузочных кривых (учитывая порожний опускающийся сосуд) и величину ускорения:

$$t_о = \frac{2h_р}{v_о} \geq 4 \text{ с}; \quad (4.123) \qquad a_о = \frac{v_о}{t_о} \leq 0{,}3. \quad (4.124)$$

Длительность и замедление в период движения груженого сосуда в разгрузочных кривых:

$$t_к = \frac{2h_р}{v_в} \geq 4 \text{ с}; \quad (4.125) \qquad a_к = \frac{v_в}{t_к} \leq 0{,}3. \quad (4.126)$$

При этом следует помнить рекомендации [10 – 12], изложенные в п. 4.13.

Время и путь в период свободного ускорения:

$$t_1 = \frac{v_{\max} - v_о}{a_1}; \quad (4.127) \qquad h_1 = \frac{v_{\max} + v_о}{2} t_1. \quad (4.128)$$

Время и путь в период свободного замедления:

$$t_з = \frac{v_{\max} - v_в}{a_з}; \quad (4.129) \qquad h_з = \frac{v_{\max} + v_в}{2} t_з. \quad (4.130)$$

Путь и время равномерного движения:

$$h_2 = H - (2h_р + h_1 + h_з) \quad (4.131) \qquad t_2 = \frac{h_2}{v_{\max}}. \quad (4.132)$$

Длительность подъемной операции:

$$t_{\text{о}} + t_1 + t_2 + t_{\text{з}}\ t_{\text{к}} \le t_{\text{р}}. \qquad (4.133)$$

График усилий для случая двухконцевой одноканатной ПУ со скипами с секторным затвором с отклонением кузова и без уравновешивающих канатов.

Основное динамическое уравнение в соответствии с формулой (4.74) примет вид:

$$F = \left[\kappa Q \pm \alpha_{\text{м}} Q_{\text{м}} + p(H - 2x)\right]g + \alpha\sum m - \beta Q. \qquad (4.134)$$

Усилие в начале подъемной операции:

$$F_{\text{о}}^{/} = (\kappa Q + \alpha_{\text{м}} Q_{\text{м}} pH)g + \alpha_{\text{о}}\sum m; \qquad (4.135)$$

усилие в конце периода $t_{\text{о}}$ (при выходе ролика порожнего сосуда из разгрузочных кривых):

$$F_{\text{о}}^{//} = F_{\text{о}}^{/} - (\alpha_{\text{м}} Q_{\text{м}} + 2ph_{\text{р}})g; \qquad (4.136)$$

усилие в начале свободного ускорения:

$$F_1^{/} = F_{\text{о}}^{//} + (\alpha_1 - \alpha_{\text{о}})\sum m; \qquad (4.137)$$

усилие в конце периода свободного ускорения:

$$F_1^{//} = F_1^{/} - 2ph_1 g; \qquad (4.138)$$

усилие в начале равномерного движения:

$$F_2^{/} = F_1^{//} - \alpha_1\sum m; \qquad (4.139)$$

усилие в конце периода равномерного движения:

$$F_2^{//} = F_2^{/} - 2ph_2 g. \qquad (4.140)$$

усилие в начале свободного замедления:

$$F_{\text{з}}^{/} = F_2^{//} - \alpha_{\text{з}}\sum m; \qquad (4.150)$$

усилие в конце периода свободного замедления:

$$F_{\text{з}}^{//} = F_{\text{з}}^{/} - 2ph_{\text{з}} g. \qquad (4.151)$$

усилие при входе ролика груженого сосуда в разгрузочные кривые:

$$F_{\text{к}}^{/} = F_{\text{з}}^{//} + (\alpha_{\text{з}} - \alpha_{\text{к}})\sum m; \qquad (4.152)$$

усилие в конце подъемной операции:

$$F_к^{//} = F_к^{/} - (2ph_р + \alpha_м Q_м + \beta Q)g; \quad (4.153)$$

График мощности

В конце периода $t_о$ (при выходе ролика порожнего сосуда из разгрузочных кривых):

$$N_о^{//} = \frac{F_о^{//} v_о}{1000}; \quad (4.154)$$

в начале свободного ускорения:

$$N_1^{/} = \frac{F_1^{/} v_о}{1000}; \quad (4.155)$$

в конце периода свободного ускорения:

$$N_1^{//} = \frac{F_1^{//} v_{max}}{1000}; \quad (4.156)$$

в начале равномерного движения:

$$N_2^{/} = \frac{F_2^{/} v_{max}}{1000}; \quad (4.157)$$

в конце периода равномерного движения:

$$N_2^{//} = \frac{F_2^{//} v_{max}}{1000}; \quad (4.158)$$

в начале свободного замедления:

$$N_з^{/} = \frac{F_з^{/} v_в}{1000}. \quad (4.159)$$

в конце периода свободного замедления:

$$N_з^{//} = \frac{F_з^{//} v_в}{1000}. \quad (4.160)$$

При входе ролика груженого сосуда в разгрузочные кривые:

$$N_к^{/} = \frac{F_к^{/} v_в}{1000}. \quad (4.161)$$

График мощности на участке $t_к$" может быть построен, в случае необходимости, более детально по данным графика скорости и усилий.

4.14. Определение эффективной мощности приводного электродвигателя

Принятый в расчетах двигатель (см. 4.9.) после определения результирующих усилий на окружности навивки должен быть проверен по условиям нагрева. При этом

$$N_{\text{ор}} \geq N_{\text{эф}}, \tag{4.162}$$

где эффективная по условиям нагрева мощность:

$$N_{\text{эф}} = \frac{F_{\text{эф}} v_{\max}}{1000\eta_{\text{ред}}}. \tag{4.163}$$

В случае асинхронного привода:

$$F_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{\sum F^2 t}{T_{\text{экв}}}}. \tag{4.164}$$

Для наиболее сложного случая (семипериодная диаграмма)

$$\begin{aligned}\sum F^2 t = {} & \frac{F_{\text{н}}^2 + F_{\text{н}} F_0^{/} + (F_0^{/})^2}{3} t_0^{/} + \frac{(F_0^{//})^2 + F_0^{//} F_0 + F_0^2}{3} t_0^{//} + \\ & + \frac{(F_1^{/})^2 + F_1^{/} F_1^{//} + (F_1^{//})^2}{3} t_1 + \frac{(F_2^{/})^2 + F_2^{/} F_2^{//} + (F_2^{//})^2}{3} t_2 + \\ & + \frac{(F_{\text{з}}^{/})^2 + F_{\text{з}}^{/} F_{\text{з}}^{//} + (F_{\text{з}}^{//})^2}{3} t_{\text{з}} + \frac{F_{\text{р}}^2 + F_{\text{р}} F_{\text{к}}^{/} + (F_{\text{к}}^{/})^2}{3} t_{\text{к}}^{/} + \\ & + \frac{(F_{\text{к}}^{//})^2 + F_{\text{к}}^{//} F_{\text{к}} + F_{\text{к}}^2}{3} t_{\text{к}}^{//}.\end{aligned} \tag{4.165}$$

Для наиболее простого случая (см. рис. 4.1), трехпериодная диаграмма)

$$\begin{aligned}\sum F^2 t = {} & \frac{(F_1^{/})^2 + F_1^{/} F_1^{//} + (F_1^{//})^2}{3} t_1 + \frac{(F_2^{/})^2 + F_2^{/} F_2^{//} + (F_2^{//})^2}{3} t_2 + \\ & + \frac{(F_{\text{з}}^{/})^2 + F_{\text{з}}^{/} F_{\text{з}}^{//} + (F_{\text{з}}^{//})^2}{3} t_{\text{з}}.\end{aligned} \tag{4.166}$$

Во всех остальных случаях, по приведенной выше методике, определяют $\Sigma F^2 t$ по фактическому графику усилий.

В случае отрицательных усилий и использовании механического тормоза (т. е. при отключенном двигателе) эти периоды не учитывают.

Эквивалентная по условиям нагрева длительность для семипериодной диаграммы,

$$T_{\text{экв}} = 0{,}5(t_0^{/} + t_0^{//} + t_1 + t_{\text{з}} + t_{\text{к}}^{//}) + t_2 + 0{,}25t_{\text{п}}. \qquad (4.167)$$

Для графика на рис. 4.1, *а* трехпериодная диаграмма

$$T_{\text{экв}} = 0{,}5(t_1 + t_{\text{з}}) + t_2 + 0{,}25t_{\text{п}}. \qquad (4.168)$$

При расчете любой тахограммы периоды неустановившегося движения учитывают с коэффициентом 0,5, а длительность паузы – 0,25.

В случае привода от двигателя постоянного тока эффективную мощность определяют по формуле:

$$N_{\text{эф}} = \frac{F_{\text{эф}} v_{\max}}{1000}. \qquad (4.169)$$

где

$$F_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{\sum F^2 t \frac{1}{\eta_{\text{ред}}^2} + \sum (-F)^2 t \eta_{\text{ред}}^2}{T_{\text{экв}}}}. \qquad (4.170)$$

В $\Sigma F^2 t$ входит сумма всех положительных усилий, которые определяют по ранее приведенной методике, т. е. в том числе и по формулам (4.165) и (4.166).

$\Sigma(-F)^2 t$ – входит сумма всех отрицательных усилий. Методика определения та же.

Эквивалентная по условиям нагрева длительность для графика на рисунке с семипериодной диаграммой.

$$T_{\text{экв}} = \frac{2}{3}(t_0^{/} + t_0^{//} + t_1 + t_{\text{з}} + t_{\text{к}}^{/} + t_{\text{к}}^{//}) + t_2 + \frac{1}{3}t_{\text{п}}. \qquad (4.171)$$

Для графика на рис. 4.1, *а:*

$$T_{\text{экв}} = \frac{2}{3}(t_1 + t_{\text{з}}) + t_2 + \frac{1}{3}t_{\text{п}}. \qquad (4.172)$$

При расчете любой тахограммы периоды неустановившегося движения учитывают с коэффициентом 2/3, а длительность паузы – 1/3.

Выбранный двигатель при необходимости проверяют на экстренные нагрузки, которые характерны для клетевых подъемников с неопрокидными сосудами. Эти нагрузки возникают при маневрах на клетях с посадкой на кулаки. Экстренную нагрузку определяют по формулам:

- при подъеме верхней груженой клети над кулаками, когда нижняя клеть посажена на кулаки или посадочные брусья:

$$F_{\text{экс}} = g(Q + Q_{\text{м}} - pH): \tag{4.173}$$

- при подъеме нижней порожней клети над кулаками или подъеме порожней клети во время перестановки барабанов для смены горизонтов или каната:

$$F_{\text{экс}} = g(Q_{\text{м}} + pH); \tag{4.174}$$

Экстренную перегрузку проверяют по неравенству:

$$\gamma_{\text{экс}} = \frac{F_{\text{экс}}}{F_{\text{эф}}} \le \gamma. \tag{4.175}$$

Если условия (4.84) соблюдены, то двигатель выбран правильно. При невыполнении этих условий принимают электродвигатель повышенной мощности. При невыполнении условия (4.175) рекомендуют заменить посадочные кулачки качающимися площадками или установить двигатель повышенной мощности, которую определяют по формуле:

$$N_{\text{дв}} = \frac{F_{\text{экс}} v_{\max}}{1000\eta_{\text{ред}}} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{экс}}}{\gamma}}. \tag{4.176}$$

Двигатель принимают окончательно, если он соответствует всем условиям. Выписывают техническую характеристику принятого двигателя и переходят к выбору вида управления и защитам установки.

4.15. Расход электроэнергии и к.п.д. подъемной установки

Все расчеты производят по рабочему горизонту, для которого был выбран электродвигатель. Теоретический расход электроэнергии за 1 подъем определяют по формуле:

$$W_{\text{т}} = \frac{Q \cdot H \cdot g}{1000 \cdot 3600}. \tag{4.177}$$

Действительный расход электроэнергии на 1 подъем определяют по диаграмме усилий и с учетом типа двигателя и системы управления.

Для ПУ с асинхронным двигателем с реостатным управлением:

$$W = \frac{v_{max} \cdot \sum F \cdot t}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{дв}}. \quad (4.178)$$

с частотным регулированием:

$$W = \frac{\sum N \cdot t}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{ст.пр}}; \quad (4.179)$$

с асинхронным – вентильным каскадом (АВК)

$$W = \frac{\sum N \cdot t}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{АВК}}; \quad (4.180)$$

где $\eta_{ст.пр}$ – к.п.д. статического преобразователя, который дл расчетов можно принимать равным 0,92-0,95; $\eta_{АВК}$ – к.п.д. асинхронно-вентильного каскада (в силовой цепи ротора), который можно принимать равным 0,9-0,92.

Для ПУ с двигателем постоянного тока:

по системе Г-Д

$$W = \frac{\sum N \cdot t}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{сд} \cdot \eta_{г} \cdot \eta_{дв}}; \quad (4.181)$$

по системе ТП-Д

$$W = \frac{\sum N \cdot t}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{тп} \cdot \eta_{дв}}; \quad (4.182)$$

$\eta_{сд}$ – к.п.д. сетевого двигателя; $\eta_{г}$ – к.п.д. генератора; $\eta_{тр} = 0,97$ – к.п.д. трансформатора в системе ТП; $\eta_{тп} = 0,97$ – к.п.д. тиристорного преобразователя.

ΣFt для наиболее сложного случая (семипериодная диаграмма)

$$\sum Ft = \frac{F_{н} + F_0^{/}}{2} t_0^{/} + \frac{F_0^{//} + F_0}{2} t_0^{//} + \frac{F_1^{/} + F_1^{//}}{2} t_1 +$$

$$+ \frac{F_2^{/} + F_2^{//}}{2} t_2 + \frac{F_з^{/} + F_з^{//}}{2} t_з + \frac{F_р + F_к^{/}}{2} t_к^{/} + \frac{F_з^{/} + F_з^{//}}{2} t_з. \quad (4.183)$$

Для наиболее простого случая (рис. 4.1, *а*) (трехпериодная диаграмма)

$$\sum Ft = \frac{F_1^{/} + F_1^{//}}{2} t_1 + \frac{F_2^{/} + F_2^{//}}{2} t_2 + \frac{F_з^{/} + F_з^{//}}{2} t_з. \quad (4.184)$$

Во всех остальных случаях Σ*Ft* определяют по фактическому графику усилий.

В случае отрицательных усилий и использования механического тормоза эти периоды не учитывают.

Σ*Nt* определяют по графику мощности по формулам (4.183) и (4.184), заменяя в них значение *F* на *N*.

Для примера приведен расчет для графика (см. рис. 4.1, *б*):

$$\sum Nt = \frac{N_1'}{2}t_1' + \frac{N_1' + N_1''}{2}(t_1'' - t_1') + \frac{N_1'' + N_1'''}{2}(t_1''' - t_1'') +$$

$$+ \frac{N_1''' + N_2}{2}(t_1 - t_1''') + N_2 t_2 + \frac{N_з}{2}t_з. \qquad (4.185)$$

К.п.д. подъемной установки определяют по формуле:

$$\eta_{пу} = \frac{W_т}{W}. \qquad (4.186)$$

Ожидаемый расход энергии на шинах подстанции за один год:

$$W_{год} = \frac{AW}{Q\eta_{эс}}. \qquad (4.187)$$

где $\eta_{эс}$ – к.п.д. электрической сети.

При расчетах ПУ по укрупненным параметрам возникает необходимость определения (прогнозирования) расхода электроэнергии. С этой целью можно определить ожидаемое значение к.п.д.

Для асинхронных двигателей:

$$\eta_{пу} = \frac{\eta_{ред}\eta_{дв}}{k\alpha}. \qquad (4.188)$$

Для привода по системе Г-Д и ТП-Д:

$$\eta_{пу} = \frac{\eta_{ред} \cdot \eta_{сд} \cdot \eta_{г} \cdot \eta_{дв}}{k}; \qquad (4.189)$$

$$\eta_{пу} = \frac{\eta_{ред} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{тп} \cdot \eta_{дв}}{k}. \qquad (4.190)$$

4.16. Управление и защита подъемной установки

Предпочтительно принимать следующие способы управления: дистанционное (для клетевых установок), лифтовое (для одноканатных с противовесом), автоматическое (для скиповых), ручное (для проходческих). Другие способы управления должны быть обоснованы проектом.

У разгрузочных и загрузочных устройств и на промежуточных горизонтах устанавливают кнопки или выключатели для включения предохранительного торможения.

В схеме управления подъемной установки должны быть: защита и блокировка, вызывающие предохранительное торможение, от переподъема сосуда; износа тормозных колодок сверх нормы, самопроизвольного обратного хода машины, увеличения вдвое против расчетого периодов пуска, замедления или дотягивания, повреждения электрической цепи управления рабочим тормозом или повреждения механического привода электрического ограничителя скорости, замыкания в цепях управления и защиты, понижения давления в тормозной системе, превышения максимальной скорости, провисания струны и напуска каната, а также при срабатывании максимальной и нулевой защиты, при нарушении нормальной загрузки или загрузки сосудов и конечных положений механизма, при зависании сосуда в любой точке ствола или разгрузочных кривых. Рокировка и защита предохраняют загрузочные устройства от самопроизвольного выхода из зацепления муфты механизма перестановки, самопроизвольного выхода контакторов выбора направления, перехода с ручного на автоматическое управление и обратно без наложения механического тормоза, увеличения хода тяг тормоза, открывания стволовых дверей и включения механизма обмена вагонеток до прибытия и остановки клети, обрыва кинематической цепи аппарата АЗК, проскальзывания канатов по канатоведущему шкиву и самопроизвольного спуска груженого скипа многоканатного подъема, аварийного перепуска рамы клети с подвижным кузовом, поднятия петли уравновешивающих канатов [12].

Контрольные устройства должны исключить повторный запуск машины в случаях неполного растормаживания колодок при спуске, замыкания на землю в цепях генератор-двигатель, защиты и управления прекращения смазки подшипников (при принудительной смазке), их перегрева и перегрева статора двигателя, снижения изоляции подъемной установки и стволовой сигнализации, нарушения охлаждения электри-

ческих машин, в том числе тиристорных преобразователей, перегрева компрессора [1, 12].

На подъемах с приводом постоянного тока дополнительно должны быть установлены защиты и блокировки от обрыва обмотки возбуждения подъемного двигателя, включения автомата главного тока при наличии остаточного напряжения на якоре генератора и контроль его положения; превышения напряжения генератора, а также должна быть максимальная защита в главной цепи и нулевая защита сетевого двигателя преобразовательного агрегата.

На подъемниках с асинхронным приводом и динамическим торможением устанавливают максимальную защиту источников постоянного тока, защиту от исчезновения постоянного тока в статоре, блокировку, обеспечивающую отключение динамического торможения при действии механического тормоза.

Типовой привод барабанных подъемных машин, комплект оборудования которого поставляется совместно с машиной, осуществляется [12] от:

- асинхронных двигателей с фазным ротором и реостатом в роторной цепи;
- электродвигателей постоянного тока с питанием от тиристорных преобразователей в главной цепи.

Электропривод постоянного тока применяется только для работы на поверхности шахт в невзрывоопасной среде.

Аппаратура управления, совместно поставляемая, с приводом, позволяет обеспечить следующие режимы работы:

- автоматическое, дистанционное и ручное управление для скиповых установок;
- дистанционное управление с автоматической отработкой цикла и ручное управление для клетевых установок.

Взрывобезопасный привод имеет только ручное управление.

Комплектно с многоканатными подъемными машинами завод поставляет привод постоянного или переменного тока с аппаратурой управления.

Электродвигатели постоянного тока управляются статическими- тиристорными или вращающимися машинными преобразователями.

Очень компактными, надежными, экономичными и бесшумными в работе являются подъемные машины с приводом от двигателя постоянного тока. Они позволяют работать при высоких скоростях подъема, большой грузоподъемности и производительности. Широкий диапазон,

плавность и бесступенчатость регулирования достигаются путем применения мощных усилителей-возбудителей, промежуточных усилителей, бесконтактных командоаппаратов.

Комплект поставки предусматривает возможность, использования быстроходных двигателей как постоянного, так и переменного тока.

Специальный аппарат АЗК, механически связанный с валом подъемной машины, позволяет осуществлять программирование и контроль хода. Аппарат снабжен корректором, который автоматически производит согласование положения механизмов аппарата с положением подъемных сосудов в стволе шахты после остановки машины.

Вся измерительная аппаратура, электрический указатель глубины, аппаратура рабочей сигнализации и ручного управления машиной, а также аппараты управления машиной и вспомогательными приводами сосредоточены на пульте управления.

Пульт управления может быть установлен в любом месте, т. е. в машинном зале и вне его. Возможна поставка второго пульта для управления с приемной площадки.

Другие виды приводов, разработанные индивидуально, комплектуются и поставляются с согласия завода-изготовителя ПМ.

4.17. Размещение подъемных машин, их здания и помещения

Подъемные машины являются крупным дорогостоящим стационарным оборудованием. Их всегда устанавливают на бетонном фундаменте, конфигурация, размеры и глубина заложения которого определяются состоянием грунта и допускаемым на него давлением.

Рабочий чертеж фундамента, в соответствии с заданием заказчика, входит в комплект технической документации ПМ.

При определении размеров здания барабанных подъемных машин [1, 12] расстояние от стены до пульта управления должно быть не менее 1,5 м, а между фундаментом ПМ, редуктором и приводным двигателем (приводными двигателями) – не менее 0,7 м. Дополнительно должна быть предусмотрена монтажная площадка.

Габариты зданий и помещений ПМ и нагрузки на строительные конструкции определяют согласно требований стандартов единой системы безопасности труда, отраслевых правил и правил технической безопасности.

В здании должны быть предусмотрены грузоподъемные средства, грузоподъемность которых обеспечивала бы подъем электродвигателя или его основных узлов, а также элементов ПМ, кроме редуктора и коренного вала; для съема последних должны быть предусмотрены гидродомкраты и полиспасты.

В междуэтажном перекрытии здания барабанной ПМ необходимо предусматривать монтажный проем для спуска оборудования.

При размещении ПМ под канатами, пересекающими здание, должно быть установлено ограждение для защиты от капежа с канатов и их провисания при напуске.

Принимаемые проектом технологические решения по размещению оборудования и устройств многоканатных подъемов в башенных копрах должны обеспечивать их минимальную высоту.

При размещении оборудования многоканатных ПМ на разных перекрытиях башенного копра следует прорабатывать возможность их обслуживания одним электрическим мостовым краном, обеспечивающим возможность подъема с земли самого тяжелого элемента ПУ.

Зазор между рамами соседних многоканатных машин, располагаемых на одном перекрытии, принимают по данным завода-изготовителя.

Специальные требования к зданиям и помещениям ПМ по температуре, чистоте, влажности и скорости воздуха, уровню шума и вибрации (кроме предусмотренных соответствующими разделами СНИП) не предъявляются. При проектировании зданий ПМ следует руководствоваться соображениями эстетики и заботиться об удобствах машиниста и обслуживающего персонала. Замечено, что в просторных, теплых и светлых помещениях аварийность значительно ниже.

4.18. Экономическая оценка принятого технического решения

Для принятия наиболее экономичного и прогрессивного решения при проектировании или в случае реконструкции ПУ рассматривают, как правило, не менее двух вариантов, возможных для практического осуществления.

Выбор наиболее экономичного из предполагаемых вариантов производят по методике [13].

Подробный и тщательный экономический расчет позволит более объективно выбрать приемлемый вариант.

Список используемой литературы

1. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности* «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Утверждены Приказом Ростехнадзора от 11.12.2013 № 599. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2015 212 с.

2. *Попов В. М.* Водоотливные установки: справ. пособие. М.: Недра, 1990.

3. *Белов С. В.* Проектирование насосных установок. Учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд. УГГГА, 2000.

4. *Стационарные установки шахт* / под ред. Б. Ф. Братченко. М.: Недра, 1977.

5. *Носырев Б. А.* Насосные установки горных предприятий: Учебное пособие.-Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997.-162 с.

6. *Тимухин С. А.* Проектирование шахтных и карьерных вентиляторных установок главного и местного проветривания: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008.

7. *Шахтные вентиляторные установки главного проветривания*: Справочник / Г. А. Бабак, К. П. Бочаров, А. Т. Волохов и др. М.: Недра, 1982. 296 с.

8. *ОАО НИПИГОРМАШ*: каталог продукции, 2012.

9. *Борохович А. И., Гусев В. В.* Стационарные машины и установки на открытых горных разработках. М.: Недра, 1969.

10. *Правицкий Н. К.* Рудничные подъемные установки. М., 1963.

11. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок / под общ. ред. В.А. Корсуна, Г. Д. Трифанова. 4-е изд., перераб. и доп. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 616 с., с ил.

12. *Носырев Б. А.* Проектирование подъемных установок: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1994. 132 с.

13. Расчет экономической эффективности инвестиционных проектов и технико-экономических показателей работы предприятия: метод. рук-во по выполнению курсовой работы / Стровский В. Е., Логвиненко О. А. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. 30 с.

14. *Долганов А. В., Великанов В. С.* Стационарные машины: конспект лекций. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 218 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

ЧАСТЬ 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО СТАЦИОНАРНЫМ МАШИНАМ 6

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН 6

1.2. Классификация области применения и определение гидравлических и газовых машин 11

2. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ТУРБОМАШИН 20

2.1. Турбоустановки, турбомашины и их внешние сети 24

2.2. Виды турбомашин 30

2.3. Кинематика потока в рабочем колесе центробежной и осевой идеальной турбомашины 33

2.4. Теоретический напор и производительность идеальной турбомашины 36

2.5. Теоретическая напорная характеристика турбомашины 39

2.6. Потери в турбомашинах 42

2.7. Действительные (индивидуальные) характеристики турбомашин 47

2.8. Типовые характеристики турбомашин 49

2.9. Законы пропорциональности и универсальная характеристика турбомашин 52

2.10. Быстроходность центробежных насосов 54

3. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ТУРБОМАШИН НА ВНЕШНЮЮ СЕТЬ 57

3.1. Последовательная работа турбомашин, расположенных рядом и на значительном расстоянии друг от друга 57

3.2. Параллельная работа турбомашин, расположенных рядом и на значительном расстоянии друг от друга 60

4. ВОДООТЛИВНЫЕ УСТАНОВКИ 64

4.1. Назначение, классификация и область применения насосных установок на горных предприятиях 64

4.2. Технологические схемы стационарного водоотлива 65

4.3. Насосные установки шахт, карьеров и обогатительных фабрик 67

4.4. Шахтные насосы. Типаж, конструктивное исполнение 69

4.5. Силы, действующие на рабочее колесо насоса и способы их регулирования 76

4.6. Кавитация в насосах и допустимая высота всасывания 80

4.7. Влияние износа элементов проточной части центробежных секционных насосов на режимы их работы 84

4.8. Способы очистки от шламов отстойников горных производств 88

5. ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ 93
5.1. Вентиляторные установки главного и местного проветривания 93
5.2. Шахтные вентиляторы 95
5.3. Типаж, конструктивное исполнение центробежных и осевых вентиляторов 96
5.4. Конструкция осевых вентиляторов 101
5.5. Номенклатура и назначение 106
5.6. Регулирование режимов работы вентилятора и реверсирование струи 108
5.7. Требования правил безопасности к вентиляторным установкам 113
6. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ШАХТ 114
6.1. Схемы и составные элементы пневматической установки 114
6.2. Классификация и основные параметры, характеризующие работу компрессора 116
6.3. Теоретические и действительные рабочие процессы в поршневом компрессоре 117
6.4. Многоступенчатое сжатие 120
6.5. Регулирование производительности и давления компрессоров 125
6.6. Ротационные и лопастные компрессоры 127
6.7. Компрессорные станции. Вспомогательное оборудование компрессорных станций 132
6.8. Номенклатура и конструкция центробежных компрессорных установок 138
7. ПОДЪЕМНЫЕ УСТАНОВКИ 140
7.1. Шахтные подъемные установки. Назначение и классификация 140
7.2. Основные схемы подъемных установок 142
7.3. Основные параметры подъемной установки 145
7.4. Уравнение прочности каната 148
7.5. Расчет и выбор органов навивки подъемных машин 150
7.6. Определение основных размеров подъемной установки 151
7.7. Кинематика и динамика подъема 155
7.8. Подъемные сосуды, конструкция, эксплуатационные особенности и области применения 162
7.9. Подъемные канаты. Конструкция и типы. Нормы правил безопасности по уходу и надзору за канатами 172
7.10. Подъемные машины. Классификация, конструкции и общая компоновка 175
7.11. Тормозные устройства подъемных машин 183
7.12. Электропривод подъемных установок и основные требования к электроприводу 188
Список используемой литературы 193

ЧАСТЬ 2. МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН 195
1. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА ШАХТНОЙ И КАРЬЕРНОЙ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК 195
1.1. Определение водопритока 196
1.2. Определение подачи насоса 196
1.3. Определение напора насоса 197
1.4. Выбор типа и количества насосов 198
1.5. Обоснование количества нагнетательных ставов водоотливных установок 200
1.6. Составление гидравлической схемы насосной установки 200
1.7. Расчет характеристики внешней сети 202
1.8. Проверка действительного режима работы водоотливной установки 205
1.9. Расчет трубопровода на гидравлический удар 206
1.10. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя насоса 207
1.11. Автоматизация водоотливных установок 209
1.12. Обоснование объема водосборника и насосной камеры 209
1.13. Расчет расхода и стоимости электроэнергии 212
1.14. Расчет затрат на электроэнергию 212
1.15 Решение вопросов техники безопасности и экологии при водоотливе 213
2. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА И ВЫБОРА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ 214
2.1. Исходные данные для проектирования 214
2.2. Выбор вентилятора главного проветривания и определение его режимных параметров 214
2.3. Расчет и построение характеристик вентиляционной сети в начале и конце эксплуатации рудника, шахты 217
2.4. Электропривод вентилятора, автоматизация и электроснабжение вентиляторной установки главного проветривания шахты 219
2.5. Техника безопасности при эксплуатации вентиляторной установки 223
3. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА ПНЕВМОСНАБЖЕНИЯ ШАХТЫ 224
3.1. Определение расчетной производительности рудничной пневматической установки 224
3.2. Расчетная схема рудничной пневматической установки 224
3.3. Расчет расхода сжатого воздуха по шахте 225
3.4. Расчетная производительность компрессорной станции с учетом потерь сжатого воздуха 226
3.5. Определение расчетного избыточного давления сжатого воздуха на выходе из компрессорной станции 226

3.6. Выбор типа и числа компрессоров ... 229
3.7. Расчет внешней рудничной пневмосети ... 230
3.8. Расчет и выбор вспомогательного оборудования пневматической установки ... 232
3.9. Определение основных размеров компрессорной станции и выбор грузоподъемного механизма ... 233
3.10. Электропривод компрессорного агрегата, электроснабжение и автоматизация компрессорной станции ... 234
3.11. Вопросы техники безопасности при эксплуатации пневматических установок ... 235
4. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСЧЕТА ШАХТНОГО ПОДЪЕМА ... 236
4.1. Цель и задачи выполнения расчета и выбора рудничных подъемных установок ... 236
4.2. Выбор типа подъемных сосудов и установление их грузоподъемности ... 239
4.3. Выбор максимальной скорости подъема ... 240
4.4. Расчет и выбор подъемных канатов ... 241
4.5. Расчет и выбор уравновешивающих канатов ... 243
4.6. Расчет и выбор шахтной подъемной машины ... 244
4.7. Определение основных размеров подъемной установки ... 249
4.8. Кинематика подъемной установки ... 251
4.9. Выбор приводного двигателя и редуктора ... 252
4.10. Динамика подъемных установок с органом навивки постоянного радиуса в установившихся режимах движения ... 254
4.11. Определение предельных значений ускорения и замедления ... 256
4.12. Ускорение и замедление наклонных подъемных установок ... 259
4.13. Выбор тахограммы скорости (графика) и её построение ... 261
4.14. Определение эффективной мощности приводного электродвигателя ... 267
4.15. Расход электроэнергии и к.п.д. подъемной установки ... 269
4.16. Управление и защита подъемной установки ... 272
4.17. Размещение подъемных машин, их здания и помещения ... 274
4.18. Экономическая оценка принятого технического решения ... 275
Список используемой литературы ... 276

Учебное издание

Алексей Владимирович Долганов

СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ

Учебник

Компьютерный набор, корректура
и форматирование автора

Редактор издательства Л. Н. Авдеева
Компьютерная верстка Е. Н. Доронкиной
Дизайн обложки Н. А. Толкачев

Подписано в печать 30.11.2016 г.
Бумага офсетная. Формат 60×84 × 1/16
Печать трафаретная. Печ. л. 17,6.
Тираж 150 экз. Заказ № 05-17.

Отпечатано в типографии ИД «Академия Естествознания»,
440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Министерство образования и науки РФ

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

А. Г. Петрушин, М. А. Азанов, Д. В. Прищепа

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе, выполнению контрольных и практических работ по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Екатеринбург – 2019

Министерство образования и науки РФ

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

ОДОБРЕНО

Методической комиссией горно-технологического факультета

«_____» _____ 2019 г.

Председатель комиссии

_____ст.преп. Н. В. Колчина

А. Г. Петрушин, М. А. Азанов, Д. В. Прищепа

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе, выполнению контрольных и практических работ по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Рецензенты: Лель Ю. И., зав. кафедрой РМОС УГГУ, профессор,
д-р техн. наук.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Уральского государственного горного университета

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе, выполнению контрольных и практических работ по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» / А. Г. Петрушин, М. А. Азанов, Д. В. Прищепа; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 65 с.

Материал пособия охватывает все раздела дисциплины в соответствии с учебником [1].

Пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов, выполнению контрольных и практических заданий всех специализаций специальности 21.05.04 «Горное дело» по курсу «Технология и безопасность взрывных работ».

© Уральский государственный
горный университет, 2019
© Петрушин А.Г., Азанов М.А.,
© Прищепа Д. В.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 5
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 6
2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 7
3. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ 19
Практико-ориентированное задание №1 19
Практико-ориентированное задание №2 23
Практико-ориентированное задание №3 26
Практико-ориентированное задание №4 30
Практико-ориентированное задание №5 32

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента составляет 144 часов или 4 зачетных единиц.

По курсу «Технология и безопасность взрывных работ» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – *освоение материалов по отдельным темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита практико-ориентированных заданий; подготовка и защита контрольной работы*. Дополнительная самостоятельная работа связана с углубленным изучением отдельных разделов курса на основе научно-исследовательской работы студента (НИРС).

Данное учебно-методическое пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов – освоения отдельных тем дисциплины.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В следующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Технология и безопасность взрывных работ». Она содержит названия 30 основных тем с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов в экзаменационном билете. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Причем в экзаменационный билет может включаться один из вопросов по такой теме. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1].

При освоении указанных ниже тем *рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента:*

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебнику [1] освойте каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны разделы и страницы учебника, содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Тема 1. Краткая история развития взрывных работ.

Значение взрывных работ в горнодобывающей промышленности и в строительстве. История развития взрывных работ.

Литература: [1]

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте основные вехи развития взрывных работ.
2. Опишите первую технологию ведения взрывных работ в горном деле.
3. Назовите первое нитроглицериновое взрывчатое вещество.
4. Опишите историю развития средств инициирования.

Тема 2. Современные виды взрывных работ.

Современные виды взрывных работ в промышленности. Основные виды взрывных работ. Специальные виды взрывных работ.

Литература: [1]

Контрольные вопросы:

1. Назовите современные виды взрывных работ.
2. Назовите современные виды специальных взрывных работ.

Тема 2. Способы бурения шпуров и скважин.

Классификация способов бурения шпуров и скважин. Механическое бурение и его виды. Термическое бурение и его виды. Специальные виды бурения шпуров и скважин.

Литература: [1, 5]

Контрольные вопросы:

1. Приведите классификацию способов бурения шпуров и скважин.
2. Опишите суть механических видов бурения шпуров и скважин.
3. Опишите суть термических видов бурения шпуров и скважин.
4. Опишите суть специальных видов бурения шпуров и скважин.
5. Укажите рациональные области применения механических, термических и специальных видов бурения шпуров и скважин.

Тема 3. Ударно-поворотный способ бурения.

Механизм разрушения горных пород при ударно-поворотном бурении. Механизмы скола и выкола. Зависимость скорости ударно-поворотного бурения от осевого усилия, частоты вращения. Оборудование.

Литература: [1, 5]

Контрольные вопросы:

1. Укажите рациональную область применения ударно-поворотного бурения.
2. Охарактеризуйте механизмы скола и выкола.
3. Опишите механизм разрушения горных пород при ударном внедрении инструмента.
4. Укажите бурильные машины ударно-поворотного бурения.
5. Отметьте факторы, которые повышают энергоемкость ударного бурения по сравнению с другими способами.
6. Укажите последовательность процессов, происходящих при разрушении породы при ударном бурении.

Тема 4. Вращательный способ бурения.

Технические средства вращательного бурения. Работа ядра уплотнения при резании пород. Зависимость объема разрушения от толщины стружки. Режимы самозаточки и затупления режущей грани сверла. Оборудование.

Литература: [1, 5]

Контрольные вопросы:

1. Назовите преимущества вращательного бурения.
2. Укажите бурильные машины вращательного бурения.
3. Охарактеризуйте основные механизмы износа и затупления бурового инструмента при вращательном бурении.
4. Опишите механизм разрушения горных пород при вращательном бурении.

Тема 5. Ударно-вращательный и вращательно-ударный способ бурения.

Технические средства бурения. Совместное действие механизмов удара и резания. Зависимость энергоемкости бурения от усилий полдачи на инструмент.

Литература: [1, 5]

Контрольные вопросы:

1. Укажите область применения вращательно-ударного бурения.
2. Укажите область применения ударно-вращательного бурения.
3. Назовите преимущества вращательно-ударного бурения.
4. Охарактеризуйте зависимость энергоемкости бурения от усилия подачи.
5. Назовите машины и механизмы, реализующие ударно-вращательный способ бурения.
6. Назовите машины и механизмы, реализующие вращательно-ударный способ бурения.

Тема 6. Шарошечное бурение.

Технические средства бурения. Механизм шарошечного бурения. Режимы бурения в зависимости от осевого усилия. Контактная прочность пород как критерий буримости.

Литература: [1, 5]

Контрольные вопросы:

1. Назовите особенности шарошечного бурения.
2. Опишите зависимость скорости бурения от величины осевого усилия.
3. Назовите машины и механизмы, реализующие шарошечное бурение.
4. Укажите область применения шарошечного бурения.

Тема 7. Основы теории взрыва и взрывчатых веществ.

Виды взрыва: механический, тепловой, электрический, ядерный, химический. Необходимые условия химического взрыва. Взрывчатое вещество. Классификация взрывчатых систем по физическому состоянию.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятию взрыв.
2. Приведите пример механического взрыва.
3. Приведите пример Теплового взрыва.
4. Приведите примеры тепловых взрывов.
5. Охарактеризуйте химический взрыв.
6. Назовите необходимые условия химического взрыва.

Тема 8. Свойства взрывчатых веществ.

Классификация свойств взрывчатых веществ. Технологические свойства взрывчатых веществ. Специальные свойства взрывчатых веществ.

Литература: [1, 2]

Контрольные вопросы:

1. Приведите классификацию свойств взрывчатых веществ.
2. Назовите основные технологические свойства взрывчатых веществ.
3. Что такое кислородный баланс.
4. Назовите виды кислородного баланса.
5. Какие газы выделяются при положительном кислородном балансе.
6. При каком кислородном балансе образуется окись углерода (CO)?

Тема 9. Начальный импульс и чувствительность взрывчатых веществ.

Начальный импульс. Виды начального импульса. Инициирование. Чувствительность взрывчатых веществ. Способы изменения чувствительности.

Литература: [1]

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятию «Начальный импульс».
2. Охарактеризуйте тепловой начальный импульс.
3. Какой вид начального импульса является основным для горного дела?
4. Перечислите пробы на чувствительность.
5. Что такое сенсибилизатор?
6. Приведите пример веществ вводимых в состав взрывчатых веществ для флегматизации.

Тема 10. Формы химического превращения взрывчатых веществ.

Основные формы химического превращения взрывчатых веществ. Режимы химического превращения: термический распад, горение, конвективное горение, детонация

Литература: [1, 2, 3]

Контрольные вопросы:

1. Перечислите основные формы химического превращения.
2. Дайте характеристику горению как форме химического превращения.
3. Дайте характеристику детонации как форме химического превращения.

Тема 11. Основные положения теории детонации.

Механизм детонации. Графическая интерпретация процесса детонации – адиабата Гюгонио. Количественная оценка характеристик процесса детонации.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Перечислите особенности детонационной волны.
2. Дайте определение понятию «Детонация».
3. Приведите основные детонационные характеристики взрывчатых веществ.

Тема 12. Экспериментальные методы определения скорости детонации.

Классификация методов определения скорости детонации взрывчатых веществ. Метод Дотриша. Осциллографический метод. Метод скоростной фотосъемки. Реостатный метод.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте метод Дотриша, для определения скорости детонации взрывчатых веществ.
2. Назовите отличительные особенности осциллографического метода для определения скорости детонации взрывчатых веществ.
3. Опишите процедуру измерения скорости детонации используя реостатный метод.

Тема 13. Факторы, влияющие на скорость и устойчивость детонации.

Группы факторов влияющие на скорость и устойчивости детонации. Влияние внутреннего состава и строения на скорость и устойчивость детонации. Влияние условий взрывания на скорость детонации.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Как влияет дисперсность взрывчатого вещества на скорость и устойчивость детонации?
2. Как влияет плотность взрывчатого веществ на скорость детонации?
3. Дайте определение понятию «критический диаметр детонации».
4. Как влияет на скорость и устойчивость детонации наличие плотной оболочки на заряде взрывчатого вещества.
5. Влияние величины начального импульса на устойчивость детонации.

Тема 14. Работа взрыва.

Работа взрыва: баланс энергии при взрыве. Потери при переходе потенциальной энергии взрывчатого вещества в механическую работу взрыва. Полезная работа взрыва. Бризантность и фугасность. Пробы на бризантность и фугасность.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Опишите переход потенциальной энергии взрывчатого вещества в механическую работу взрыва.
2. Чем обусловлены химические потери при взрыве?
3. Чем обусловлены тепловые потери при взрыве?
4. Охарактеризуйте бесполезные формы работы взрыва.
5. Что такое бризантность взрывчатых веществ.
6. Назовите формы проявления фугасной работы взрыва.

Тема 15. Основные положения теории предохранительных взрывчатых веществ.

Необходимость применения предохранительных взрывчатых веществ. Теории предохранительных взрывчатых веществ. Методы испытаний предохранительных взрывчатых веществ.

Литература: [1, 2]

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятию пламегаситель.
2. Дайте определение понятию ингибитор.
3. Перечислите основные гипотезы воспламенения горючих шахтных сред.
4. Перечислите возможные пути предотвращения воспламенения горючих шахтных сред.
5. Охарактеризуйте методы испытаний предохранительных взрывчатых веществ.

Тема 16. Заряд взрывчатого вещества.

Заряды взрывчатых веществ. Классификация. Воронка взрыва и ее элементы. Показатель действия взрыва.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. По каким признакам классифицируются заряды взрывчатых веществ.
2. Перечислите элементы воронки взрыва.
3. Что такое показатель действия взрыва.
4. Как классифицируются заряды взрывчатых веществ по показателю действия взрыва.

Тема 17. Действие взрыва.

Действие сосредоточенного заряда в твердой однородной безграничной среде и при наличии обнаженной поверхности. Стадии разрушения: образование газовой полости, зоны дробления, зона радиальных и кольцевых трещин, откольные явления. Соотношение бризантного и фугасного действия взрыва в зависимости от акустической жесткости разрушаемых пород.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Отразите последовательность развития взрыва в горных породах.
2. Отметьте области действия взрыва, образующие зону регулируемого дробления.
3. Какие трещины образуются в горной породе при падении давления и обратной деформации пород в сторону зарядной полости?

4. Какие трещины образуются при отражении волны сжатия от свободной поверхности горной породы?

Тема 18. Классификации промышленных взрывчатых веществ.

Классификация ВВ: по характеру воздействия на окружающую среду, по чувствительности к простым формам начального импульса, физическому состоянию. Классификация по химическому составу – индивидуальные ВВ и взрывчатые смеси. Классы ВВ по условиям применения.

Литература: [1, 2, 4, 6]

Контрольные вопросы:

1. К какой группе относятся взрывчатые вещества, имеющие скорость детонации 4000 м/с?
2. Какие классы промышленных ВВ выделяют по химическому составу?
3. К какому классу промышленных ВВ по химическому составу относится тротил, детонит?
4. Какие ВВ можно использовать только при взрывных работах на поверхности, в шахтах опасных по газу и пыли? Укажите номер класса и цвет оболочки.
5. Какой цвет имеют патроны предохранительных ВВ?
6. По какому характерному признаку выделяют первичные и вторичные ВВ?

Тема 19. Непредохранительные взрывчатые вещества I класса по условиям применения.

Предъявляемые требования. Нитросоединения: свойства, ассортимент, область применения. Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества: свойства, ассортимент, область применения. Эмульсионные взрывчатые вещества: свойства, ассортимент, область применения.

Литература: [1, 2, 7]

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные свойства гранулотола.
2. Особенности аммиачно-селитренных взрывчатых веществ.
3. Бестротиловые взрывчатые вещества: особенности, свойства.
4. Назовите отличительные особенности эмульсионных взрывчатых веществ.

Тема 20. Непредохранительные взрывчатые вещества II класса по условиям применения.

Предъявляемые требования. Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества: свойства, ассортимент, область применения. Эмульсионные взрывчатые вещества: свойства, ассортимент, область применения. Порошкообразные ВВ – аммониты и аммоналы. Свойства и область применения.

Литература: [1, 2, 7]

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные свойства граммонита 79/21.
2. Особенности аммиачно-селитренных взрывчатых веществ, применяемых в подземных условиях.
3. Назовите отличительные особенности патронированных аммонитов.
4. Назовите отличительные особенности эмульсионных взрывчатых веществ, применяемых в подземных условиях.

Тема 21. Предохранительные взрывчатые вещества III – VII классов по условиям применения.

Требования к энергетическим и детонационным характеристикам предохранительных ВВ. Требования к кислородному балансу. Требования к составу и строению зарядов.

Литература: [1, 2, 7]

Контрольные вопросы:

1. Перечислите названию взрывчатых веществ III класса по условиям применения.
2. Какие добавки вводят в состав предохранительных взрывчатых веществ?
3. Укажите требования, предъявляемые к предохранительным ВВ.

Тема 22. Методы производства взрывных работ.

Классификация методов производства взрывных работ. Метод шпуровых зарядов. Метод скважинных зарядов. Метод камерных зарядов. Метод наружных зарядов. Область применения, достоинства и недостатки методов.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Укажите области применения метода шпуровых зарядов в подземных условиях.
2. Укажите область применения метода шпуровых зарядов при открытой разработке месторождений.
3. Укажите область применения метода скважинных зарядов.
4. Укажите область применения метода наружных зарядов.

Тема 23. Метод шпуровых зарядов при проведении подземных горных выработок.

Состав проходческого цикла. Коэффициент использования шпуров (КИШ). Коэффициент излишка сечения (КИС). Врубовые, отбойные и оконтуривающие шпуры. Очередность взрывания. Конструкции шпуровых зарядов. Размер и качество забойки. Прямое и обратное инициирование зарядов. Назначение и типы врубов. Конструкции наклонных врубов; их достоинства и недостатки. Конструкции прямых врубов; их достоинства и недостатки. Комбинированные врубы. Принципы расчета параметров буровзрывных работ.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Укажите типы шпуров при проходке выработки.
2. Укажите очередность взрывания шпуров в типовой технологии проходки выработок.
3. Укажите условия, соответствующие обратному инициированию заряда.
4. Отметьте достоинства прямого инициирования заряда ВВ по сравнению с обратным.
5. Отметьте достоинства обратного инициирования заряда ВВ по сравнению с прямым.

Тема 24. Метод шпуровых зарядов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых.

Технология шпуровой отбойки при разработке рудных месторождений. Расчет параметров БВР. Технология шпуровой отбойки угля. Правила безопасности при использовании метода шпуровой отбойки.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Опишите существо метода шпуровых зарядов при добыче полезных ископаемых подземным спопобом.
2. Укажите классы ВВ допущенные к применению при шпуровой отбойке по углю.
3. Какой способ взрывания допущен к применению при шпуровой отбойке угля?
4. Какова допустимая величина уходки (м) при добыче угля методом шпуровых зарядов?

5. Какова величина предельного содержание метана в забое (в %), при котором разрешена отбойка угля методом шпуровых зарядов?

Тема 25. Метод скважинных зарядов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых.

Отбойка вертикальными и горизонтальными слоями. Параллельное и веерное расположение скважин – преимущества и недостатки. Схемы отбойки руды в блоке. Расчет параметров скважинной отбойки. Бурение, заряжание и взрывание скважин. Правила безопасности при скважинной отбойке.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Укажите преимущества параллельного расположения скважин при подземной отбойке руды (по сравнению с веерным расположением скважин).
2. Укажите преимущества веерного расположения скважин при подземной отбойке руды (по сравнению с параллельным расположением скважин).
3. Укажите способы бурения скважин при отбойке руды в подземных условиях.
4. Какой тип ВВ обычно применяют при механизированном заряжании скважин?
5. Укажите показатели, входящие в формулу определения удельного расхода ВВ при скважинной отбойке руды в подземных условиях.

Тема 26. Метод скважинных зарядов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Расположение скважин на уступе и их бурение. Принципы расчета параметров буровзрывных работ. Схемы взрывания скважинных зарядов при однорядном и многорядном взрывании скважин.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Укажите рациональные способы бурения скважин при открытой разработке месторождений.
2. Удельный расход ВВ на карьерах определяется по эталонному $q_э$ с учетом поправочных коэффициентов. Укажите факторы, определяющие величину данных коэффициентов.
3. Укажите основные способы взрывании зарядов взрывчатых веществ, используемых на земной поверхности.

4. Перечислите основные взрывчатые вещества, используемые при ведении взрывных работ на земной поверхности.

Тема 27. Метод камерных зарядов.

Расположение выработок при использовании камерных зарядов. Камерные заряды рыхления и их расчет. Камерные заряды выброса и их расчет. Камерные заряды на сброс и их расчет.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях целесообразно использовать метод камерных зарядов при открытой разработке месторождений?
2. Назовите достоинства и недостатки метода камерных зарядов.

Тема 28. Взрывное разрушение негабарита.

Характеристики, область применения, достоинства и недостатки различных способов разделки негабарита: наружными, шпуровыми, кумулятивными зарядами, гидровзрывание.

Литература: [1, 3]

Контрольные вопросы:

1. Укажите достоинства и недостатки способа разделки негабарита накладными зарядами.
2. Укажите достоинства и недостатки способа разделки негабарита шпуровыми зарядами.
3. Укажите способы взрывного дробления негабарита при открытой разработке месторождений.

Тема 29. Техническая документация для производства взрывных работ.

Необходимая техническая документация для производства взрывных работ: типовой проект взрывных работ, проект массового взрыва, паспорт буровзрывных работ, схема взрывных работ.

Литература: [1, 4, 6, 8]

Контрольные вопросы:

1. Что входит в состав типового проекта взрывных работ?
2. Опишите процедуру составления и утверждения паспорта буровзрывных работ.
3. Для каких работ составляется схема взрывных работ.
4. В каких случаях составляется проект массового взрыва?

Тема 30. Персонал для взрывных работ.

Требования к лицам, допущенным к ведению взрывных работ: руководитель взрывных работ, мастер-взрывник, заведующий складом ВМ, раздатчики ВМ и лаборанты складов ВМ.

Литература: [1, 4, 6, 8]

Контрольные вопросы:

1. Какие требования предъявляются к руководителям взрывных работ?
2. Какие требования предъявляются к взрывникам?
3. В течение какого периода времени проходит стажировка взрывника?
4. Требования в заведующему склада взрывчатых материалов.

3. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

Практико-ориентированное задание №1

Расчет кислородного баланса и составление рецептур промышленных взрывчатых веществ.

Цель: овладение методикой расчета кислородного баланса взрывчатых веществ и принципами составления рецептур промышленных взрывчатых веществ.

Краткая теория

Определение кислородного баланса

Кислородным балансом называется отношение избытка или недостатка кислорода во взрывчатом веществе (ВВ) для полного окисления горючих элементов (водорода, углерода, металлов и т. п.), выраженное в грамм-атомах, к грамм-молекулярной массе ВВ. Кислородный баланс выражается в долях или процентах.

Под полным окислением понимается окисление водорода в воду, а углерода в углекислый газ. При этом выделяется также молекулярный азот и кислород. Если в составе ВВ находится металл, то образуется его высший окисел.

Реакции полного окисления:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 396 \text{ кДж/моль};$$

$$H_2 + \frac{1}{2}O \rightarrow H_2O + 283 \text{ кДж/моль при воде жидкой};$$

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + 241 \text{ кДж/моль при воде парообразной};$$

$$2Al + 1.5O_2 \rightarrow Al_2O_3 + 1671 \text{ кДж/моль}.$$

Следовательно, если ВВ имеет состав в виде $C_aH_bN_cO_d$, то кислородный баланс (%)

$$K_б = \frac{\left[d - \left(2a + \frac{b}{2}\right)\right] \cdot 16}{M_{BB}} 100\%, \quad (1.1)$$

где 16 – относительный атомная масса кислорода; M_{BB} – молекулярная масса ВВ.

При

$$d > 2a + \frac{b}{2} \quad (1.2)$$

имеет положительный кислородный баланс;

при

$$d = 2a + \frac{b}{2} \quad (1.3)$$

нулевой кислородный баланс;

при

$$d < 2a + \frac{b}{2} \quad (1.4)$$

отрицательный кислородный баланс.

Взрывчатые вещества с нулевым кислородным балансом выделяют максимальное количество энергии и минимальное количество ядовитых газов.

При взрыве ВВ с отрицательным кислородным балансом в зависимости от относительного количества кислорода образуются либо ядовитая окись углерода (угарный газ) с меньшим выделением тепла, чем при образовании углекислоты, т. е.

$$C + 0{,}5O_2 \rightarrow CO + 109 \text{ кДж/моль;}$$

либо чистый углерод в виде сажи, резко снижающий образование газов.

При положительном кислородном балансе уменьшается выделение энергии, так как образуется ядовитая окись азота с поглощением тепла по реакции

$$0{,}5N_2 + 0{,}5O_2 \rightarrow NO - 90{,}5 \text{ кДж/моль.}$$

Пример 1. Определить кислородный баланс тротила $C_7H_5(NO_2)_3$, относительная молекулярная масса которого 227.

Для полного окисления необходимо $2a + b/2$ или $2 \cdot 7 + 5/2 = 16{,}5$ атомов кислорода.

В наличии имеется 6 атомов кислорода.

Следовательно,

$$K_6 = \frac{\left[6 - \left(2 \cdot 7 + \frac{5}{2}\right)\right] \cdot 16}{227} 100\% = -74\%.$$

Пример 2. Определить кислородный баланс граммонита 30/70. Граммонит 30/70 состоит из 30% аммиачной селитры NH_4NO_3 и 70% тротила.

Кислородный баланс аммиачной селитры АС, определенный вышеуказанным способом, равен +20%.

Кислородный баланс граммонита 30/70:

$$0{,}3 \cdot 20 + 0{,}7 \cdot -74 = -45{,}5\%.$$

Составление рецептуры промышленных ВВ

При изготовлении промышленных ВВ обычно состав подбирается таким, чтобы был нулевой кислородный баланс. Для изготовления патронированных ВВ принимается небольшой положительный кислородный баланс для окисления материала оболочки патронов. Для подземных работ при взрыве 1 кг ВВ должно выделятся не более 40 л ядовитых газов в пересчете на условную окись углерода. Если образуются окислы азота и сернистый газ, то для перевода их к условной окиси углерода принимается поправочный коэффициент соответственно 6,5 и 2,5.

Для открытых горных работ, особенно для ВВ, применяемых в обводненных условиях, требования к кислородному балансу ВВ не такие жесткие.

Пример 1. Составить рецептуру игданита с нулевым кислородным балансом па основе аммиачной селитры и дизельного топлива (ДТ) с кислородным балансом – 320%.

Количество весовых частей аммиачной селитры для окисления одной части дизельного топлива равно

$$n = \frac{[\text{КБ}_{DT}]}{[\text{КБ}_{\text{АС}}]},$$

где КБ_{DT} – кислородный баланс дизельного топлива;

$\text{КБ}_{\text{АС}}$ – кислородный баланс аммиачной селитры.

$$n = \frac{320}{20} = 16.$$

Содержание дизельного топлива во взрывчатом веществе:

$$x = \frac{100}{1+n},$$

$$x = \frac{100}{1+16} = 5{,}9\ \%.$$

Соответственно содержание аммиачной селитры

$$100 - x = 100 - 5{,}9 = 94{,}1\%.$$

Следовательно, формула игданита:

$$94{,}1\%\ \text{аммиачной селитры};\ 5{,}9\%\ \text{дизельного топлива}.$$

Пример 2. Определить рецептуру ВВ с пулевым кислородным балансом на основе аммиачной селитры (NH_4NO_3) и тротила ($C_7H_5(NO_2)_3$).

Кислородный баланс тротила –74%, относительная молекулярная масса 227. Кислородный баланс аммиачной селитры +20%, относительная молекулярная масса 80.

Состав смеси должен отвечать условию:

$$x\ (-74\%) + (100 - x)\ 20\% = 0,$$

где x – содержание в смеси тротила, %.

Решение данного уравнения показывает, что $x \approx 21\%$ и $(100 - x) = 79\%$. Такому составу смеси отвечают граммонит 79/21 и аммонит 6ЖВ.

Обозначим число молей аммиачной селитры через y, число молей тротила через z. Тогда из соотношения

$$\frac{y \cdot 80}{x \cdot 227} = \frac{79}{21},$$

получим

$$y = \frac{79 \cdot z \cdot 227}{21 \cdot 80} = 10{,}7z.$$

Приняв z = 1, получим y = 10,7.

Следовательно, молекулярное уравнение граммонита имеет вид

$$z + 10{,}7y = C_7H_5(NO_2)_3 + 10{,}7NH_4NO_3.$$

Пример 3. Определить молекулярную формулу гранулита АС-8, имеющего следующий состав: 89% аммиачной селитры NH_4NO_3; 3% солярового масла $C_{16}H_{34}$ (относительная молекулярная масса 226); 8% алюминиевой пудры А1 (относительная молекулярная масса — 27).

Обозначив число молей солярового масла x, аммиачной селитры y, алюминиевой пудры z, можно написать химическую формулу в виде

$$y NH_4NO_3 + x\ C_{16}H_{34} + z\ Al.$$

В соответствии с весовым составом можно записать следующие соотношения

$$\frac{y \cdot 80}{x \cdot 226} = \frac{89}{3};\quad \frac{z \cdot 27}{x \cdot 226} = \frac{8}{3},$$

Отсюда y = 83,9x; z = 22,4x.

Примем x = 1, тогда молекулярное уравнение гранулита АС-8 имеет вид

$$83{,}9\ NH_4NO_3 + C_{16}H_{34} + 22{,}4\ Al.$$

Практико-ориентированное задание №2

Определение работоспособности взрывчатых веществ и работы взрыва.

Цель: овладение методикой определения работоспособности взрывчатых веществ и работы взрыва.

Краткая теория

Расчет идеальной работоспособности ВВ

Из первого закона термодинамики следует, что изменение внутренней энергии газов равно количеству тепла, сообщенного окружающей среде и произведенной работе:

$$-dE = dQ + pdV. \quad (2.1)$$

Если техническим назначением взрыва ВВ является производство механической работы, то затраты на теплообмен продуктов взрыва (ПВ) с окружающей средой являются энергетическими потерями (dQ). Эти потери называются термодинамическими.

Идеальным с точки зрения отсутствия термодинамических потерь является адиабатический процесс расширения ПВ, т.е. $dQ = 0$. В этом случае изменение внутренней энергии ПВ равно количеству работы, совершаемой газами, т.е.

$$-dE = pdV = dA. \quad (2.2)$$

В реальных условиях взрывания наиболее близким к адиабатическому процессу является взрыв ПВ в воздушной среде, а, например, в горных породах термодинамические потери возрастают. Они существенно выше в пористых, хрупких, легко дробимых породах и минимальны в пластичных средах типа глин.

Мерой идеальной работоспособности ВВ может служить максимальная работа, которую совершают ПВ при своем адиабатическом расширении до давления окружающей среды (воздушной, водной, горной), т.е. когда остаточное давление ПВ уравновешивается противодавлением среды атмосферным, гидростатическим или горным давлением.

Идеальная работоспособность ВВ является одной из важнейших энергетических характеристик ВВ. Она дополняет теплоту взрыва, показывая теоретическую возможность реализации энергетического потенциала ВВ в механическую работу.

Идеальную работоспособность (полную идеальную работу взрыва) можно определить, как разность между значениями внутренней энергии ПВ в момент их образования и к концу расширения:

$$\text{А}_\text{и} = \int dE = \int_{T_1}^{T_2} \overline{C_V} dT = \overline{C_V} * (T_1 - T_2) = \overline{C_V} T_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = Q_{\text{взр}} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \quad (2.3)$$

где $\overline{C_V}$ - средняя теплоемкость продуктов взрыва в интервалах изменения температуры взрыва от T_1 до T_2;

T_1 - начальная температура взрыва;

T_2 - конечная температура ПВ.

Для газовых взрываемых систем, расширение ПВ которых происходит вдоль изоэнтропы вида pV' = const, пользуясь уравнением Клайперона $(PV'=RT)$, получаем

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{y-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{y-1}{y}} \quad (2.4)$$

Окончательно получаем

$$A_u = Q_{\text{взр}} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right); \quad (2.5)$$

$$A_u = Q_{\text{взр}} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{y-1}\right); \quad (2.6)$$

$$A_u = Q_{\text{взр}} \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{y-1}{y}}\right); \quad (2.7)$$

где $Q_{\text{взр}}$- потенциальная энергия ВВ (полная тепловая энергия), кДж/кг;

V_1 и V_2 - начальный и конечный удельные объемы ПВ, м^3/кг;

P_1 и P_2 - начальное и конечное давление ПВ, Па;

$y = Cp/Cv$ – показатель адиабаты.

Эти же формулы могут быть использованы для расчета A_u конденсированных ВВ.

При взрыве в воздухе (P_2 = 1,01·10^{5}Па) полная идеальная работа взрыва определяется

$$A_u = Q_{\text{взр}} \left(1 - \left(\frac{1{,}01 * 10^5}{P_{\text{пв}}}\right)^{\frac{y-1}{y}}\right), \text{ кДж/кг.} \quad (2.8)$$

Расчет полного термодинамического КПД взрыва

Вышеприведенную формулу (2.8) можно представить в виде

$$A_u = Q_{\text{взр}} - q_T \quad (2.9)$$

Здесь величина $q_T = Q_{\text{взр}} - A_u = C_{v2} * T_2$ - термодинамические потери энергии ВВ в продуктах взрыва по достижении ими атмосферного давления. Это остаточное тепло идет на свечение ПВ после их расширения.

Отношение идеальной работоспособности к выделившейся тепловой энергии взрыва называется идеальным термодинамическим КПД взрыва

$$\eta = \frac{A_u}{Q_{\text{взр}}}, \tag{2.10}$$

или с учетом формулы (2.7)

$$\eta = 1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{y-1}{y}}, \tag{2.11}$$

Идеальный термодинамический КПД взрыва определяет часть тепловой энергии, которая может быть использована для совершения механической работы взрыва.

Величины идеальной работоспособности (A_u) и полного термодинамического КПД (П) существенно зависят от свойств продуктов взрыва, влияющих на показатель адиабаты, *y= Cp/Cv*. Если в ПВ содержится 2/3 молекул двухатомных газов и 1/3 — одноатомных (гексоген), то *y* = 1,25. Если в ПВ содержится 2/3 трехатомных газов и 1/3 двухатомных (нитроглицерин), то *y* = 1,2. Величина *y* снижается (соответственно снижается A_u и η), если в ПВ содержатся четырех и пятиатомные газы, а также твердые продукты (NaCl, $A1_2O_3$ и др.). В этих случаях *y* = 1,15, и 1,05.

Пример 1. Определить полную идеальную работоспособность и термодинамический КПД аммонита 6ЖВ при плотности заряжания 900 кг/м^3 и следующих параметрах взрывного превращения:

$V_{пв}$= 0,86 м^3/кг,

$Q_{взр}$ = 4300кДж/кг;

$T_{взр}$=2600° К.

Для расчета показатель адиабаты принимается y=1,25. Определение давления ПВ при взрыве аммонита 6ЖВ:

$$P = \frac{1{,}01*10^5*0{,}86*2600*900}{273*(1-0{,}001*0{,}86*900)} = 3{,}3 * 10^9,$$

Откуда полная идеальная работоспособность

$$A_u = Q_{\text{взр}}\left(1 - \left(\frac{1{,}01 * 10^5}{P_{\text{пв}}}\right)^{\frac{y-1}{y}}\right) = 4300 * \left(1 - \left(\frac{1{,}01 * 10^5}{3{,}3 * 10^9}\right)^{\frac{1{,}25-1}{1{,}25}}\right) = 3762{,}2\,\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Полный термодинамический КПД взрыва

$$\eta = \frac{A_u}{Q_{\text{взр}}} = \frac{3762{,}2}{4300} = 0{,}875$$

или $\eta = 87{,}5\%$

Практико-ориентированное задание №3

Расчет скважинного заряда при уступной отбойке на карьере

Цель работы – овладение методикой расчета параметров буровзрывных работ при использовании скважинной отбойки при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Краткая теория

При разработке месторождений открытым способом (на карьерах и разрезах) используют в основном метод скважинных зарядов. В слабых породах используют вращательное (шнековое) бурение. В более прочных породах преобладает шарошечное бурение. В крепчайших породах с коэффициентом крепости f > 14-16 наиболее эффективно термическое бурение скважин. Скважины на уступе карьера располагают в один или несколько рядов по различным схемам в зависимости от свойств разрушаемых пород и требуемой конфигурации забоя. Расположение скважин на уступе характеризуют следующими показателями (рис. 1):

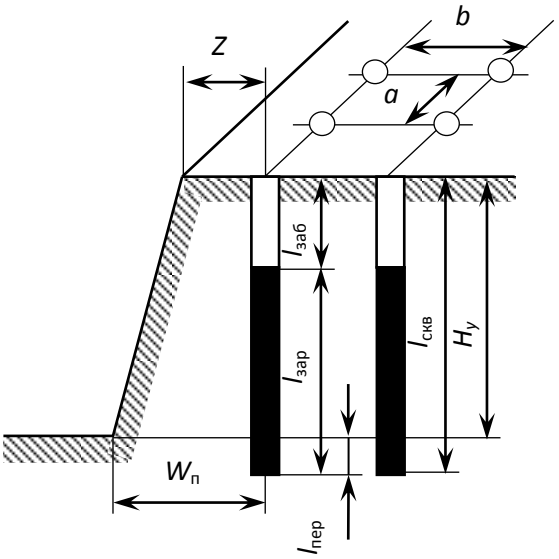


Рис. 3.1. Схема расположения скважин на уступе

$H_у$ – высота уступа, м;
$W_п$ – линия сопротивления по подошве (ЛСПП);
a – расстояние между скважинами, м;
b – расстояние между рядами скважин, м;
Z – безопасное расстояние от оси скважины до верхней бровки уступа, м;
$l_{зар}$ – длина заряда, м;
$l_{пер}$ – длина перебура, м;
$l_{заб}$ – длина забойки, м;
$l_{скв}$ – длина (глубина) скважины, м;
α - угол откоса уступа.

Характеристики и расположение скважин в первую очередь зависят от удельного расхода ВВ. Оптимальная величина удельного расхода ВВ определяется множеством факторов. При этом определяющую роль играют свойства разрушаемого массива, размеры его блоков (расстояние между трещинами), степень и качество заполнения трещин, их расположение относительно вектора смещения породы и т. п. Учесть все эти факторы в единой теоретической модели не представляется возможным. Поэтому во многом оптимальные параметры процесса определяются путем опытного взрывания и интерпретации его результатов на основе общефизических представлений.

Удельный расход «эталонного» ВВ ($q_э$) может быть определен по данным таблицы 1.

Таблица 3.1

Эталонный удельный расход ВВ, кг/м^3

Категория пород по степени трещиноватости	Коэффициент крепости горных пород f по шкале проф. М. М. Протодьяконова			
	2 - 6	6 - 10	10 – 14	более 14
I	0,2	0,25	0,3	0,35
II	0,3	0,35	0,4	0,45
III	0,45	0,5	0,6	0,67
IV	0,67	0,75	0,8	0,9
V	0,9	1,0	1,1	1,2

Реальный удельный расход ВВ рекомендуется определять путем введения серии поправочных коэффициентов, учитывающих тип ВВ, конструкцию заряда, наличие свободных поверхностей, заданную степень дробления и др:

$$q_р = q_э \cdot e \cdot k_d \cdot \frac{\rho_{гп}}{2{,}6}, \qquad (3.1)$$

где $q_э$ – эталонный расход Граммонита 79/21, кг/м^3;

e – коэффициент относительной работоспособности ВВ, определяемый по формуле

$$e = A_{эт} / A_{ВВ}, \qquad (3.2)$$

$A_{эт}$ = 3560 кДж/кг - идеальная работа взрыва эталонного ВВ (Граммонит 79/21);

$A_{ВВ}$ – идеальная работа взрыва принятого ВВ, кДж/кг;

k_d - поправочный коэффициент на кондиционный размер куска;

$\rho_{гп}$ – плотность горных пород, т/м^3.

Таблица 3.2

Значения поправочного коэффициента на кондиционный размер куска k_d

Допустимый размер крупных кусков, мм	250	500	750	1000	1250	1500
k_d	1,3	1,0	0,85	0,75	0,7	0,65

Диаметр заряда определяется диаметром рабочего органа буровой машины (долота, коронки или резца) $d_{скв}$ с учетом характеристик разрабатываемых пород:

$$d_{зар} = k_р d_{скв}, \quad (3.3)$$

где $k_р$ = 1,06 – (f – 2) 0,003 – коэффициент расширения скважин.

Удельная вместимость 1 м скважины:

$$P = 0{,}785 \cdot d_{зар}^2 \cdot \Delta, \quad (3.4)$$

где Δ, кг/м^3 - плотность заряда в скважине.

Линия сопротивления по подошве (ЛСПП) для одиночной скважины:

$$W_п = 0{,}9 \cdot \sqrt{\frac{P}{q_р}}, \quad (3.5)$$

В соответствии с правилами безопасности при бурении первого ряда скважин станок располагается перпендикулярно верхней бровке уступа, за призмой обрушения, но не ближе 2 м от верхней бровки уступа, поэтому минимально допустимая по условиям безопасного расположения бурового станка линия сопротивления по подошве (W_{min}) для вертикальных скважин рассчитывается из соотношения

$$W_{min} = H_у \operatorname{ctg}\alpha + Z, \quad (3.6)$$

где α – угол откоса рабочего уступа, град;

Z – ширина призмы обрушения, $Z \geq 2$ м.

Величина принимаемой при расчетах линии сопротивления по подошве ($W_п$) должна удовлетворять соотношению:

$$W_{min} < W_п. \quad (3.7)$$

Если значения $W_{min} > W_п$, это означает, что принятые параметры скважин и характеристики ВВ не обеспечивают проработку подошвы уступа. В этом случае следует изменить диаметр скважины, тип применяемого ВВ или перейти к наклонным скважинам.

Глубина перебура:

$$l_{пер} = (10 \div 15) \cdot d_{скв} \quad (3.8)$$

Глубина забойки:

$$l_{\text{заб}} = (20 \div 35) \cdot d_{\text{скв}} \quad (3.9)$$

Глубина скважины:

$$l_{\text{скв}} = H_{\text{у}} + l_{\text{пер}} \quad (3.10)$$

Расстояние между скважинами в ряду:

$$a = mW_{\text{п}}, \quad (3.11)$$

где m = 0,8 – 1,4 - коэффициент сближения скважин; меньшее значение m принимается для крепких пород.

Расстояние между рядами скважин:

$$b = (0{,}9\text{-}1{,}0)W_{\text{п}}. \quad (3.12)$$

Масса заряда в скважине:

$$Q = q_{\text{р}} \cdot a \cdot W_{\text{п}} \cdot H_{\text{у}} \quad (3.13)$$

Длина заряда:

$$l_{\text{зар}} = \frac{Q}{P}. \quad (3.14)$$

Задание: рассчитать параметры буровзрывных работ при скважинной отбойке в условиях открытой разработки месторождений полезных ископаемых.

Практико-ориентированное задание №4

Расчёт безопасных расстояний по разлету кусков породы при взрывании скважинных зарядов

Цель работы – овладение методикой расчета безопасных расстояний по разлету кусков породы при взрывании скважинных зарядов.

При определении зон, опасных по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов на земной поверхности, следует выделять и отдельно рассчитывать безопасные расстояния для людей зданий и сооружений, машин и механизмов.

При взрывании скважинных зарядов рыхления (дробления) расстояние опасное для людей, рассчитывается по формуле:

$$r_{разл} = 1250 \cdot h_3 \cdot \sqrt{\frac{f}{1+h_{заб}} \cdot \frac{d}{a}} \qquad (4.1)$$

где $h_з$ – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом, определяемый по формуле

$$h_3 = \frac{l_{зар}}{l_c}, \qquad (4.2)$$

$l_{зар}$ – длина заряда ВВ, м;

$l_{зар}$ – глубина скважины, м;

f – коэффициент крепости горных пород;

$h_з$ – коэффициент заполнения скважины забойкой:

$$h_3 = \frac{l_{заб}}{l_н}, \qquad (4.3)$$

$l_{зар}$ – длина забойки, м;

$l_н$ – длина свободной от заряда верхней части скважины, м;

d – диаметр взрываемой скважины, м;

a – расстояние между скважинами в ряду или между рядами, м.

Расчётные значения радиусов разлета осколков округляются в большую сторону до значения, кратного 50 м. Окончательно принимаемое безопасное расстояние не должно быть меньше указанных в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Минимально допустимые безопасные расстояния для людей при взрывных работах

№ п/п	Методы взрывных работ	Минимально допустимые радиусы опасных зон, м
1.	Наружных зарядов, в том числе кумулятивных	300 (по проекту)
2.	Шпуровых зарядов	200
3.	Котловых шпуров	200
4.	Малокамерных зарядов (рукавов)	200*
5.	Скважинных зарядов	Не менее 200**
6.	Котловых скважин	Не менее 300
7.	Камерных зарядов	Не менее 300

* - при взрывании на косогорах в направлении вниз по склону величина радиуса опасной зоны должна приниматься не менее 300 м.

** - радиус опасной зоны указан для взрывания зарядов с забойкой.

Практико-ориентированное задание №5

Составление паспорта буровзрывных работ на проведение горизонтальной горной выработки.

Цель работы – овладение методикой расчета параметров буровзрывных работ (БВР) при проведении подземных горных выработок и составления паспорта БВР.

Краткая теория

Проведение горных выработок буровзрывным способом осуществляется по паспортам буровзрывных работ (БВР). Паспорта утверждаются руководителем того предприятия, которое ведёт взрывные работы. С паспортом БВР ознакомляется весь персонал, осуществляющий буровзрывные работы в данной выработке.

Паспорт составляется для каждого забоя выработки на основании расчетов и утверждается с учётом результатов не менее трёх опытных взрываний. По разрешению руководителя предприятия (шахты, рудника) допускается вместо опытных взрываний использовать результаты взрывов, проведённых в аналогичных условиях.

Расчёт, необходимый для составления паспорта, сводится к выбору и определению основных параметров буровзрывных работ для проведения выработки. К основным параметрам относятся: тип взрывчатого вещества (ВВ) и средства инициирования (СИ), диаметр и глубина шпуров, тип вруба, удельный заряд ВВ, количество шпуров и конструкции зарядов, расход взрывчатых материалов.

5.1. Общие положения

Буровзрывной комплекс работ занимает от 30 до 60 % общего времени проходческого цикла в зависимости от горнотехнических условий.

При проведении горных выработок буровзрывные работы должны обеспечить заданные размеры и форму поперечного сечения выработки, точное оконтуривание её профиля, качественное дробление породы и сосредоточенное размещение её в забое, нормативную величину коэффициента излишка сечения (КИС), высокий коэффициент использования шпуров (КИШ).

Эти требования соблюдаются при условии правильного выбора параметров буровзрывных работ: типа ВВ, типа и параметров вруба, величины и конструкции заряда в шпуре, диаметра и глубины шпуров, числа и

расположения их в забое, способа и очередности взрывания зарядов, типа бурового оборудования, качества буровых работ, организации проходческих работ и т. д.

5.2. Определение параметров буровзрывных работ

5.2.1. Выбор взрывчатых материалов

При выборе взрывчатых материалов (ВМ) руководствуются требованиями безопасного производства взрывных работ, регламентированных «Правилами безопасности при взрывных работах» [6] с учетом физико-механических свойств горных пород и горнотехнических условий.

Рекомендуемые взрывчатые вещества (ВВ) [7] в зависимости от условий работ, обводнённости и крепости пород, способа заряжания представлены в табл. 5.1.

В шахтах, не опасных по газу или пыли, при проведении горизонтальных выработок допускается применение электрического взрывания и систем неэлектрического взрывания с низкоэнергетическими волноводами.

Таблица 5.1

Рекомендуемые ВВ

Условия взрывных работ	Условия размещения зарядов	Коэффициент крепости пород *f*	Тип ВВ	Способ заряжания
Выработки, не опасные по взрыву газа или пыли	Сухие шпуры	до 12	Гранулит М Граммонит 79/21 Гранулит АС-4В Гранулит-игданит	Механизированный
			Аммонит № 6ЖВ	Ручной
		более 12	Гранулит АС-8В	Механизированный
			Аммонал М-10 Детонит М Аммонал скальный № 1	Ручной
	Обводнённые шпуры	до 12	Аммонит № 6ЖВ	Ручной
		более 12	Аммонал М-10 Детонит М Аммонал скальный № 1	
Выработки, опасные по взрыву газа и пыли	Сухие и обводнённые шпуры	Для взрывания по породе	Аммонит АП–5ЖВ	Ручной
		Для взрывания по углю с учетом степени опасности	IV кл. Аммонит Т-19 Аммонит ПЖВ-20 V кл. Угленит Э-6 VI кл. Угленит 12ЦБ	
	Для водораспыления	Открытый заряд	Ионит	

На угольных шахтах, опасных по газу или пыли, разрешается только взрывание с применением электродетонаторов. При полном отсутствии в забоях проходимых выработок метана или угольной пыли, допускается применение непредохранительных ВВ II класса и электродетонаторов мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия со временем замедления до 2 с без ограничения количества приёмов и пропускаемых серий замедлений.

Основные характеристики ВВ, применяемых при проходке подземных горных выработок, приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Характеристики ВВ

Наименование ВВ	Идеальная работа взрыва, кДж/кг	Плотность в патронах или насыпная, кг/м^3	Удельная объемная энергия взрыва при средней плотности, кДж/кг	Коэффициент взрывной эффективности при плотности ВВ 1000 кг/м^3	Расстояние передачи детонации между патронами, см		Диаметр патронов, мм	Масса патрона, кг	Длина патрона, мм
					Сухие	После выдержки в воде			
Аммонит № 6ЖВ	3561	1000-1100	3917	1,0	5-9	3-6	32 36	0,2 0,25	250 250
Аммонал М-10	4410	950-1100	4520	1,15	4	3	32	0,2	250
Детонит М	4316	1000-1200	4963	1,27	8-18	5-15	32 36	0,2 0,25	250 250
Аммонал скальный № 1	4420	1000-1100	4641	1,18	8-14	5-10	32 36	0,2 0,25	250 250
Аммонит АП-5ЖВ	2991	1000-1150	3215	0,82	5-10	2-7	36	0,3	250
Аммонит Т-19	2564	1000-1200	2820	0,72	7-12	4-8	36	0,3	240
Угленит Э-6	1946	1100-1250	2289	0,58	5-12	3-10	36	0,3	240
Угленит 12 ЦБ	1770	1200-1350	2256	0,58	4	2	36	0,3	240
Ионит	1482	1000-1200	1704	0,44	–	–	36	0,3	240
Гранулит М	3163	780-820 (1000-1150)*	3384	0,86					
Гранулит АС-4В	3645	800-850 (1100-1200)*	4192	1,07					
Гранулит АС-8В	3997	800-850 (1100-1200)*	4597	1,17					
Гранулит-игданит	3150	800-850 (1100-1200)*	3760	0,85					

* Плотность при механизированном заряжании

Технические характеристики электродетонаторов, применяемых при проведении горных выработок, приведены в табл. 5.3. Все электродетонаторы являются водоустойчивыми.

Таблица 5.3

Электродетонаторы для шахт и рудников

Тип электродетонаторов	Кол-во серий	Интервалы замедления, мс (с)	Безопасный ток, А	Гарантийный ток, А	Сопротивление, Ом	Примечание
ЭД-8Ж(Э)	1	0	0,2	1,0	1,8-3,6	Электродетонаторы непредохранительные нормальной чувствительности
ЭД-3-Н	36	20, 40, 60, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 мс 5,6,7,8,9,10 с				
ЭД-1-8-Т	1	0	1,0	5,0	0,5-0,75	Электродетонаторы непредохранительные пониженной чувствительности к блуждающим токам
ЭД-3-Т	36	20, 40, 60, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 мс 5,6,7,8,9,10 с				
ЭДКЗ-ОП	1	0	0,2	1,0	1,8-3,6	Электродетонаторы предохранительные нормальной чувствительности
ЭДКЗ-П	5	25, 50, 75, 100, 125 мс	0,2	1,0	1,8-3,6	
ЭДКЗ-ПМ	7	15, 30, 45, 60, 80, 100, 120 мс	0,2	1,0	1,8-3,6	
ЭД-КЗ-ПКМ	9	4, 20, 60, 80, 100, 125, 150, 175, 200 мс	0,2	1,0	1,8-3,6	

Детонирующие шнуры ДША, ДШВ и ДШЭ-12 и др. применяют при необходимости одновременного взрывания врубовых, нижних подошвенных шпуров, а также в рассредоточенных зарядах с целью передачи детонации всем частям шпурового заряда.

В последние годы на подземных взрывных работах получил широкое распространение новый способ инициирования зарядов ВВ – система неэлектрического взрывания различных модификаций: Нонель (Швеция), СИНВ, Эдилин (Россия) и др.

В табл. 3.4 представлены характеристики систем СИНВ и ДБИ для взрывных работ в рудниках и угольных шахтах, где допущено применение непредохранительных взрывчатых веществ II класса.

Устройства СИНВ-Ш и ДБИ3 служат для трансляции инициирующего сигнала и инициирования боевиков шпуровых зарядов с заданной временной задержкой. В боевике каждого шпурового заряда размещается КД устройства СИНВ-Ш или ДБИ3 заданного интервала замедления.

Таблица 5.4

Характеристики систем неэлектрического инициирования

Устройство	Интервал замедления, мс	Назначение
СИНВ-Ш	0, 25, 42, 55, 67, 109, 125, 150, 176, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000	Изготовление патронов-боевиков
ДБИ3	0, 17, 25, 42, 55, 67, 109, 125, 150, 176, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000	

Примечание. Интервалы замедлений приведены при длине ударно-волновой трубки (УВТ) 1 м. Добавление каждого метра длины УВТ увеличивает время замедления на 0,5 мс.

УВТ, выходящие из шпуров, инициируются одновременно от устройств СИНВ-П мгновенного действия (СИНВ-П-0), смонтированных в единую сеть. Длина УВТ стартового устройства (магистральной части сети) выбирается из условия безопасного подрыва и может составлять несколько сот метров.

При проходке подземных выработок обычно применяется следующая схема: УВТ, выходящие из шпуров, собираются в связки (пучки), которые соединяются в единую сеть детонирующим шнуром. Детонирующий шнур обвязывается вокруг связки двойной петлёй. Количество УВТ в одной связке не должно превышать 15 шт. Инициирование сети из детонирующего шнура производится электродетонатором или электрозажигательной трубкой.

5.2.2. Выбор типа вруба и глубины шпуров

Расположение шпуров в забое, величина заходки и показатели взрыва во многом определяются типом вруба. Врубы по характеру действия делятся на две группы:

– врубы с наклонными к оси выработки шпурами – наклонные врубы;

– врубы с параллельными к оси выработки шпурами – прямые врубы.

Тип вруба и глубину шпуров с учетом горнотехнических условий следует принимать по данным табл. 5.5.

Таблица 5.5

Тип вруба и глубина шпуров

Тип буровой техники	Сечение выработки, м^2	
	менее 6	более 6
Переносные перфораторы, ручные электросвёрла и пневмосвёрла	Прямые врубы при глубине шпуров более 1,5 м	Наклонные врубы при глубине шпуров не более (0,35–0,5) ширины выработки; прямые врубы при глубине шпуров до 2–2,5 м
Установки механизированного бурения	–	Прямые врубы с максимально возможной глубиной по технической характеристике машины

Из наклонных врубов наибольшее распространение имеет вертикальный клиновой вруб. Другие врубы с наклонными шпурами (пирамидальный, горизонтальный клиновой и его разновидности, веерный и т. д.) не получили достаточно широкого распространения из-за сложности обуривания и узкой рекомендуемой области применения (забои, проводимые по пласту угля при малой его мощности, при наличии слабых прослоек пород по забою, при ярко выраженном контакте слабых пород с более крепкими вмещающими породами и т. д.).

Высокая эффективность врубов с наклонными шпурами и преимущества их по сравнению с прямыми врубами достигаются только при ограниченной глубине шпуров и определенном сечении выработки. При проходке выработок в крепких породах ($f > 12$) с применением вертикального клинового вруба длина заходки не превышает обычно 0,35 ширины выработки (B) из-за технической невозможности бурения врубовых шпуров под углом наклона, обеспечивающим эффективную работу вруба. При глубине шпуров более 0,5 B, применении буровых кареток, а также в выработках малого сечения (менее 6 м^2) наиболее эффективны прямые врубы, глубина которых ограничивается точностью бурения в зависимости от типа буровой техники.

При глубине шпуров, принятой по рекомендациям табл. 5.5, проектную величину КИШ следует принимать равной 0,85-0,95 с учётом крепости горных пород.

5.2.3. Выбор конструкции и параметров врубов

5.2.3.1. Вертикальный клиновой вруб

При ограниченной глубине шпуров (1,2–2,0 м) наибольшее распространение имеет вертикальный клиновой вруб. Параметры вертикального клинового вруба в зависимости от крепости пород применительно к аммониту № 6ЖВ в патронах диаметром 32 мм в шпурах диаметром 42 мм ориентировочно по данным практики можно принять по данным табл. 5.6.

Таблица 5.6

Параметры вертикального клинового вруба

Группа крепости пород по СНиП	Коэффициент крепости пород *f*	Расстояние по вертикали между парами шпуров, мм	Количество шпуров во врубе при сечении выработки ($м^2$)		Угол наклона шпуров к плоскости забоя α, град.
			до 12	более 12	
IV-V	1-6	500	4	4-6	75-70
VI	6-8	450	4-6	6-8	68
VII	8-10	400	6-8	8-10	65
VIII	10-13	350	8-10	10-12	63
IX	13-16	300	10-12	12-14	60
X	16-18	300	10-12	12-14	58
XI	20	250	10-12	12-14	55

При применении другого типа ВВ и изменении диаметра шпуров расстояние между парами врубовых шпуров определяется с учётом поправочного коэффициента по формуле:

$$k = 1{,}25\sqrt{e}\cdot d_з/d, \qquad (5.1)$$

где e – коэффициент взрывной эффективности (см. табл. 5.2),

$d_з$ – диаметр заряда,

d – диаметр заряжаемой полости (шпура или скважины).

С увеличением коэффициента крепости пород (см. табл. 5.6) угол наклона врубовых шпуров к плоскости забоя уменьшается. Поэтому предельную глубину вертикального клинового вруба (рис. 5.1) при бурении шпуров ручными перфораторами в зависимости от коэффициента крепости пород и ширины выработки рекомендуется принимать по табл. 5.7 или по формуле:

$$h_{вр} = 0{,}25B\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} - 0{,}3, \qquad (5.2)$$

где B – ширина выработки, м

α – угол наклона шпуров к плоскости забоя, град. (см. рис. 3.1).

Таблица 5.7

Предельная глубина вертикального клинового вруба $h_{вр}$, м

Ширина выработки, м	Коэффициент крепости пород f						
	2-5	6-7	8-9	10-12	13-15	16-17	18-20
2,0	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
2,5	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
3,0	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
3,5	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4
4,0	2,8	2,6	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7
4,5	3,2	2,9	2,5	2,4	2,3	2,0	1,9
5,0	3,5	3,1	2,9	2,7	2,4	2,2	2,1

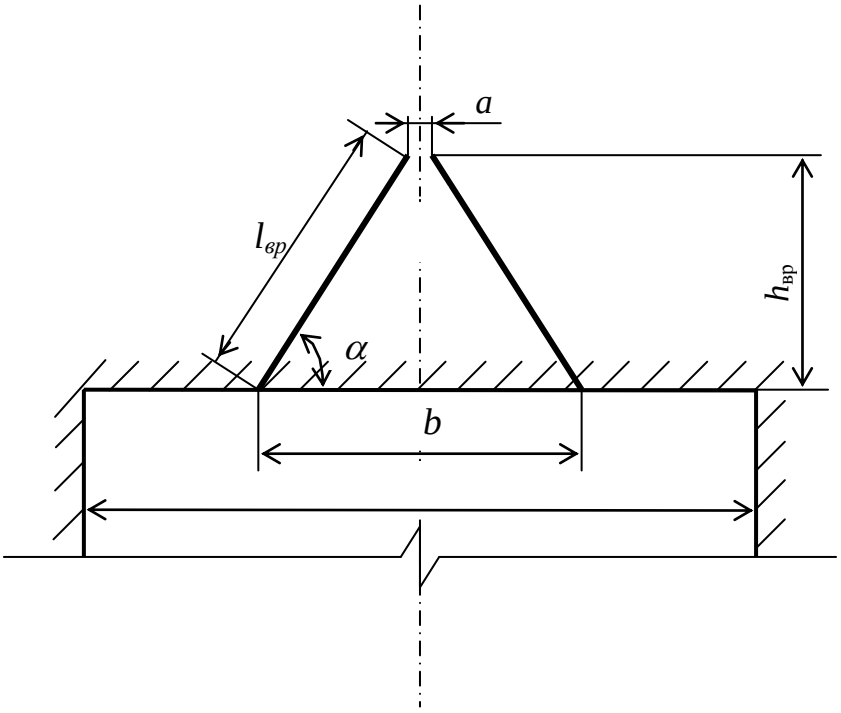


Рис. 5.1. Схема вертикального клинового вруба

Глубину врубовых шпуров следует принимать на 0,1-0,2 м больше длины вспомогательных и оконтуривающих шпуров:

$$h_{вр} = h_{шп} + (0,1 \div 0,2), \quad (5.3)$$

где $h_{шп}$ – глубина (длина) вспомогательных и оконтуривающих шпуров, м.

Длину шпуров клинового вруба определяют с учетом угла их наклона:

$$l_{вр} = h_{вр} / \sin \alpha, \quad (5.4)$$

где α – угол наклона шпуров к плоскости забоя, град.

Расстояние между устьями в паре шпуров клинового вруба определяют по зависимости:

$$b = 2\, h_{вр} / \mathrm{tg}\, \alpha + a, \quad (5.5)$$

где a – расстояние между забоями пары сходящихся шпуров клинового вруба, м (в зависимости от коэффициента крепости пород a = 0,15-0,2 м).

После расчета основных параметров вруба следует проверить графическим способом техническую возможность обуривания вертикального клинового вруба с учетом принятого бурового оборудования. С этой целью в масштабе 1:20 – 1:50 вычерчивается план забоя (вид сверху) с наложением пары врубовых шпуров и обязательного соблюдения принятого угла наклона шпуров α.

Если ширина выработки не позволяет с учётом габаритов бурильной машины (см. рис. 3.1) обурить рассчитанный вруб, то следует уменьшить глубину врубовых шпуров или принять другой тип вруба. При применении бурильных установок стрела автоподатчика должна свободно размещаться при заданном угле наклона врубовых шпуров между точкой забуривания врубового шпура и стенкой выработки. При бурении переносными перфораторами или ручными электросвёрлами врубовые шпуры могут буриться в 2-3 приёма комплектом штанг различной длины (например: 0,5 м; 1,2 м; 2,0 м).

5.2.3.2. Прямые врубы

Из прямых врубов (рис. 5.2) наиболее широкое распространение получили следующие конструкции: призматический симметричный *а*; щелевой *б*; спиральный *в* и двойной спиральный *г*.

Прямые врубы представляют собой комбинацию параллельных заряженных шпуров, взрыв которых работает на компенсационную полость, создаваемую холостым шпуром (системой холостых шпуров) или скважиной. Взрыв последующих шпуров расширяет врубовую полость до размеров, достаточных для последующей отбойки вспомогательными (отбойными) шпурами с постоянной, предельной для конкретных горнотехнических условий линией сопротивления.

Параметры прямых врубов принимаются в зависимости от конструкции вруба, крепости пород, диаметра компенсационной полости (шпура или скважины, их количества). Наиболее ответственными являются первый шпур или серия шпуров, взрываемых на компенсационную полость. Поэтому для повышения эффективности взрыва целесообразно в качестве компенсационной полости использовать шпур увеличенного диаметра, систему холостых шпуров или скважину.

Расстояние между компенсационной полостью и первым взрываемым шпуром или серией шпуров (пробивное расстояние W_1) рекомендуется принимать для шпуров диаметром 42 мм при использовании аммонита № 6 ЖВ в патронах диаметром 32 мм по табл. 5.8.

При применении другого типа ВВ или другой конструкции заряда пробивное расстояние W_1, определенное по табл. 1.7, умножается на поправочный коэффициент, рассчитанный по формуле (5.1).

Пробивные расстояния W_1 учитывают возможное отклонение шпуров от заданного направления. С увеличением глубины шпуров растет их отклонение, поэтому при глубине шпуров до 2,5 м достаточно принимать диаметр первона-

чальной компенсационной полости не более 50-60 мм; при шпурах глубиной до 3 м – 70-105 мм и при шпурах до 4 м – 105-125 мм, что позволит сохранить КИШ в пределах 0,85-0,9.

Пробивные расстояния для шпуров, взрываемых вторыми и последующими во врубе (W_1, W_2, W_3 и т. д.), принимаются равными 0,8 от ширины (наибольшего размера) ранее образованной врубовой полости.

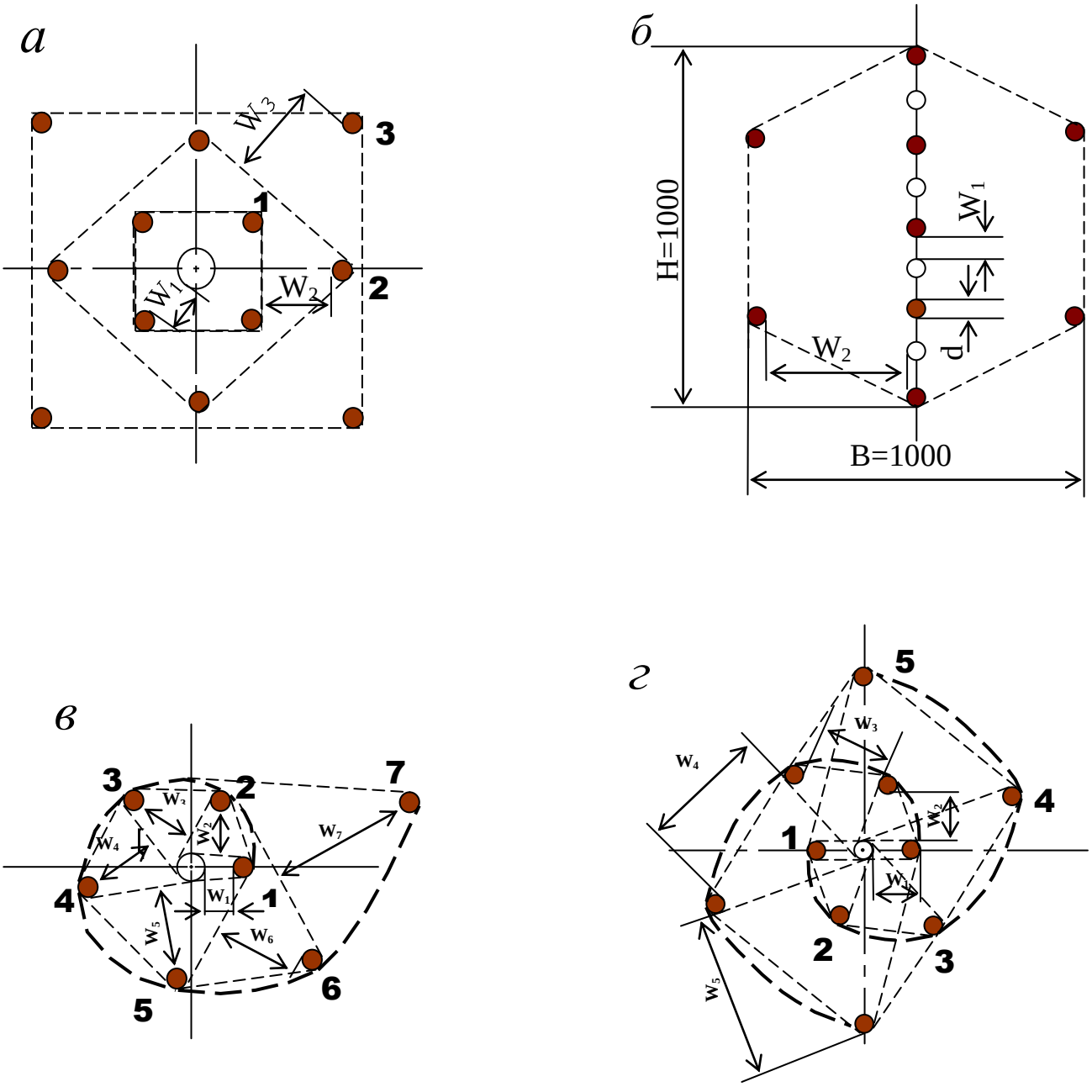


Рис. 5.2. Конструкции прямых врубов:
а – призматический симметричный; *б* – щелевой; *в* – спиральный;
г – двойной спиральный

Таблица 5.8

Пробивные расстояния W_1, мм

Диаметр холостого шпура или скважины D_x, мм	Коэффициент крепости пород f						
	2-5	6-7	8-9	10-12	13-15	16-17	18-20
42	115	100	90	80	60	60	55
51	125	110	100	90	80	70	65
56	150	130	110	95	90	85	75
75	170	150	130	105	100	95	85
105	190	170	150	120	110	105	95
125	230	200	170	140	120	110	100

Например, пробивное расстояние для шпуров спирального вруба, взрываемых вторыми, т. е. на обнаженную поверхность, образованную взрывом первого шпура, определяют по данным табл. 3.9 или по зависимости, мм:

$$W_2 = 0{,}8 \cdot (W_1 + D_x + d), \qquad (5.6)$$

где W_1 – пробивное расстояние для первого шпура (см. табл. 5.7);

D_x – диаметр компенсационной полости (холостого шпура или скважины);

d – диаметр заряженных шпуров.

Пробивные расстояния (W_2, W_3 и т. д.) для любого типа вруба могут быть определены графически путем последовательного построения расширяющейся врубовой полости (см. рис. 5.2) в масштабе 1:5.

Таблица 5.9

Пробивные расстояния W_2, мм

Диаметр холостого шпура или скважины D_x, мм	Коэффициент крепости пород f						
	2-5	6-7	8-9	10-12	13-15	16-17	18-20
42	170	150	140	130	120	115	110
51	180	160	150	140	130	120	115
56	210	180	170	160	150	140	130
75	260	210	200	185	170	150	140
105	300	260	240	215	200	185	175
125	340	300	270	250	230	220	215

Расчёты и построения выполняются до тех пор, пока не образуется врубовая полость размером в пределах от 0,9×0,9 до 1,2×1,2 м. Такой размер врубовой полости является достаточным и позволяет в дальнейшем производить отбойку породы вспомогательными и оконтуривающими шпурами уже с постоянной линией наименьшего сопротивления, которая соответствует предельному пробивному расстоянию шпурового заряда при взрывании его на неограниченную свободную поверхность.

Предельные пробивные расстояния для вспомогательных и оконтуривающих шпуров при их диаметре 42 мм, заряженных аммонитом № 6ЖВ в патронах диаметром 32 мм, приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Предельные пробивные расстояния для вспомогательных и оконтуривающих шпуров, мм

Диаметр шпуров, мм	Коэффициент крепости пород *f*						
	2-5	6-7	8-9	10-12	13-15	16-17	18-20
42	1000-900	800	700	650	600	550	500

Опыт работы и расчёты показывают, что для образования врубовой полости сечением 0,8-1,4 м^2 необходимо принять 8-12 шпуров в зависимости от диаметра компенсационной полости и коэффициента крепости пород.

При применении щелевого вруба пробивное расстояние между заряжаемыми и холостыми шпурами принимается по данным табл. 5.8. Количество заряжаемых $N_з$ и холостых $N_х$ шпуров в щелевом врубе при их одинаковом диаметре определяют по формулам:

$$N_з = \frac{H}{2(W_1 + d)} + 1, \tag{5.7}$$

$$N_x = \frac{H}{2(W_1 + d)}, \tag{5.8}$$

где H – высота вруба, мм;

W_1 – пробивное расстояние, мм;

d – диаметр шпуров, мм.

Щелевой вруб (рис. 5.2, *б*) высотой 1000 мм с последующим расширением полости четырьмя шпурами дает высокие показатели в породах любой крепости и в выработках любого сечения. Пробивное расстояние W_2 для шпуров, взрываемых во вторую очередь, принимается равным 500 мм, а расстояние между шпурами по вертикали 700–800 мм в породах любой крепости.

Могут быть приняты другие конструкции прямых врубов, но принцип расчета их параметров будет аналогичен.

После расчета параметров принятого прямого вруба (пробивных расстояний и числа шпуров во врубе) определяется площадь вруба по забою выработки, что необходимо для определения количества остальных шпуров.

Глубина (длина) холостых и заряжаемых шпуров прямого вруба должна приниматься больше на 10 % по сравнению с глубиной вспомогательных и оконтуривающих шпуров.

При ведении взрывных работ на угольных шахтах, опасных по газу или пыли, при определении расстояний между смежными шпурами следует придерживаться дополнительных требований ЕПБ.

Расстояние от заряда ВВ до ближайшей поверхности должно быть не менее 0,5 м по углю и не менее 0,3 м по породе, в том числе и при взрывании зарядов в породном негабарите. В случае применения ВВ VI класса при взрывании по углю это расстояние допускается уменьшать до 0,3 м.

Минимально допустимые расстояния между смежными (взрываемыми последовательно) шпуровыми зарядами должны соответствовать данным табл. 5.11.

В породах с f >10 расстояние между смежными шпуровыми зарядами должно определяться нормативами, разработанными по согласованию с организацией-экспертом по безопасности работ.

Поскольку при применении прямых врубов с незаряжаемыми шпурами (см. рис. 3.2) данные требования, как правило, невыполнимы, то в угольных шахтах, опасных по газу или пыли, применяются прямые врубы, работающие по принципу воронкообразования.

Таблица 5.11

Минимально допустимые расстояния между смежными шпуровыми зарядами

Условия взрывания	Класса ВВ			
	II	III-IV	V	VI
По углю	0,6	0,6	0,5	0,4
По породе:				
при f <7	0,5	0,45	0,3	0,25
при f >10	0,4	0,3	–	–

В породах с коэффициентом крепости f < 6 обычно применяется прямой призматический вруб из 4–6 шпуров, которые располагаются по контуру окружности или периметру прямоугольника и взрываются одновременно в один приём. Расстояние между врубовыми шпурами следует принимать в соответствии с рекомендациями табл. 5.11. При проведении выработок в более крепких породах целесообразно использовать двойной призматический вруб из 6–8 шпуров с соблюдением тех же требований, которые взрываются короткозамедленно и последовательно в два приёма.

5.2.4. Определение удельного заряда ВВ

Величина удельного заряда ВВ, т. е. количество ВВ, необходимое для заряжания в шпуры единицы объёма обуренного массива (с учетом эффективного разрушения), зависит от крепости пород, сечения выработки, типа ВВ и условий взрывания (наличия обнажённой поверхности, структуры породы, плотности ВВ при заряжании, типа вруба).

Удельный заряд **при врубах с наклонными шпурами** рекомендуется определять по видоизменённой формуле Н. М. Покровского:

$$q = 0{,}1 \cdot f \cdot f_1 \cdot v / e, \qquad (5.9)$$

где q – удельный заряд ВВ, кг/м^3;

f – коэффициент крепости по М. М. Протодьяконову. В породах с $f > 16$ в формуле (5.9) принимать 0,08 вместо 0,1;

f_1 – коэффициент структуры породы;

v – коэффициент зажима породы, зависящий от площади поперечного сечения выработки и количества обнажённых поверхностей;

e – коэффициент взрывной эффективности заряда ВВ.

Коэффициент относительной эффективности заряда ВВ определяется из выражения

$$e = \frac{Q_{\text{ид}} \cdot \rho}{Q_{\text{ид.э}} \cdot \rho_{\text{э}}}, \qquad (5.10)$$

где $Q_{\text{ид}}$, $Q_{\text{ид.э}}$ – идеальная работа взрыва принятого и эталонного ВВ, кДж/кг;

ρ, $\rho_{\text{э}}$ – плотность заряда принятого и эталонного ВВ, кг/м^3.

Необходимые данные для расчета величины e принимают из табл. 5.2. При средней плотности заряда ВВ значение коэффициента взрывной эффективности можно принять из этой же таблицы. В качестве эталонного ВВ в формуле (5.10) и в табл. 5.2 принят аммонит № 6ЖВ.

Значение коэффициента структуры породы f_1 принимается из табл. 5.12.

Таблица 5.12

Коэффициент структуры породы f_1

Характеристика пород	Категория пород	Коэффициент структуры породы f_1
Монолитные, крепкие, вязкие, упругие	I	1,6
Трещиноватые, крепкие	II	1,2-1,4
Массивно-хрупкие	III	1,1
Сильнотрещиноватые, мелкослоистые, большинство пород угольных бассейнов	IV	0,8-0,9

Коэффициент зажима породы при одной обнаженной поверхности в забоях горизонтальных и наклонных выработок определяется из выражения

$$v = \frac{6{,}5}{\sqrt{S_{\text{вч}}}}, \qquad (5.11)$$

где $S_{\text{вч}}$ – площадь поперечного сечения вчерне, м^2.

При двух обнаженных поверхностях коэффициент зажима принимается в пределах v = 1,1–1,4 (меньшие значения – для больших сечений выработок).

При щелевом врубе на полную высоту выработки для определения удельного заряда для шпуров по забою, кроме врубовых, в формуле (5.9) следует принимать коэффициент зажима породы v = 1,4.

Прямые (дробящие) врубы требуют повышенного удельного заряда ВВ. По формуле (5.9) при применении прямых врубов определяют удельный заряд только для вспомогательных и оконтуривающих шпуров с коэффициентом зажима породы v = 1,1–1,4.

5.2.5. Выбор диаметра шпура

Диаметр шпуров выбирается в зависимости от стандартного диаметра патрона принятого типа ВВ. В табл. 5.2 указаны стандартные диаметры патронов промышленных ВВ. При выпуске ВВ в патронах различных диаметров следует принимать диаметр патрона с учётом сечения выработки и типа буровой техники. При использовании мощных бурильных машин и при больших сечениях выработки принимают патроны с большим диаметром или механизированное заряжание гранулированными ВВ.

При применении метода контурного взрывания в оконтуривающих шпурах следует уменьшить линейную плотность заряжания. С этой целью рекомендуется применять, например, специальные патроны типа ЗКВК из аммонита № 6ЖВ диаметром 26 мм длиной 360 мм в полиэтиленовых оболочках. Эти патроны имеют соединительные муфты с лепестками, позволяющими стыковать их и центрировать по оси шпура с созданием воздушного промежутка между патронами и стенками шпура.

Диаметр шпуров при использовании патронированных ВВ принимается не менее чем на 5 мм больше диаметра патрона. При применении машин ударного-поворотного и вращательного-ударного бурения и патронированных ВВ диаметр шпуров обычно составляет 38–42 мм. При механизированном заряжании шпуров гранулированными ВВ в горнорудной промышленности диаметр шпуров принимается в пределах от 38 до 52 мм в зависимости от сечения выработки, детонационной способности ВВ и взрываемости пород.

При бурении по углю и породам угольной формации используются шпуры диаметром 37–46 мм.

5.2.6. Определение количества шпуров

Количество шпуров в забое зависит от физико-механических свойств пород, поперечного сечения выработки, параметров зарядов и типа принятого вруба.

Количество шпуров на забой **при врубах с наклонными шпурами** определяют по формуле проф. Н. М. Покровского

$$N = q \cdot S_{вч} / \gamma, \qquad (5.12)$$

где q – удельный заряд ВВ, определяемый по формуле (1.9), кг/м^3;

$S_{вч}$ – площадь сечения выработки вчерне, м^2;

γ – весовое количество ВВ (вместимость), приходящееся на 1 м шпура, кг/м.

$$\gamma = 3{,}14\, d^{\,2} \rho \alpha / 4, \qquad (5.13)$$

где d – диаметр заряда (патрона ВВ или шпура), м;

ρ – плотность ВВ в заряде, кг/м^3;

α – коэффициент заполнения шпуров.

При ручном заряжании без уплотнения ВВ в шпуре используется параметр «диаметр патрона», а параметр «диаметр шпура» – при уплотнении патронов вручную с разрезанием оболочки или при механизированном заряжании.

При разрезании оболочки патронов плотность ВВ в шпуре принимается равной 0,9 от плотности ВВ в патроне (см. табл. 5.2). При механизированном заряжании шпуров гранулированными ВВ плотность ВВ в шпуре составляет 1150–1200 кг/м^3.

Коэффициент заполнения шпуров в выработках шахт, не опасных по взрыву газа или пыли, проходимых в крепких породах, принимается максимальным (0,7-0,9).

В выработках шахт, опасных по газу или пыли и в породах с f = 2-8 – коэффициент заполнения принимается 0,35-0,55; в более крепких породах – 0,5-0,6. При этом при ведении взрывных работ на угольных шахтах, опасных по взрыву газа или пыли, величина забойки должна быть не менее 0,5 м.

Во всех случаях с увеличением длины шпуров коэффициент заполнения шпуров увеличивается.

Полученное по формуле (5.12) количество шпуров является ориентировочным (см. табл. 5.13) и может быть изменено при необходимости на 10–15 %. Окончательно число шпуров принимается после вычерчивания схемы расположения шпуров в сечении выработки (рекомендуемый масштаб – 1:50-1:20), и только затем возобновляется расчёт.

Таблица 5.13

Ориентировочное количество шпуров на забой в зависимости от коэффициента крепости пород и сечения выработок

Коэффициент крепости пород f	Сечение выработки вчерне, м^2						
	4	6	8	10	12	14	16
2-4	8-11	12-16	17-21	22-27	28-33	34-38	35-42
5-7	12-16	17-21	22-27	28-33	34-38	39-42	43-46
8-10	16-20	21-26	27-32	33-37	38-42	42-46	47-50
12-14	20-24	26-30	32-36	37-42	42-46	46-50	50-54
более 14	26-28	32-36	36-40	44-48	48-52	52-54	56-60

При вычерчивании схемы расположения шпуров при любом типе вруба среднее расстояние между рядами вспомогательных шпуров, между вспомогательными и оконтуривающими и между шпурами в рядах должно быть примерно одинаковым и приниматься в соответствии с рекомендациями табл. 1.10 или определяться из выражения

$$a = \sqrt{\frac{S_{вч} - S_{вр}}{N - N_{вр}}}, \qquad (5.14)$$

где $S_{вч}$ – площадь сечения выработки вчерне, м^2;

$S_{вр}$ – площадь сечения врубовой полости (для вертикального клинового вруба принимается равной половине площади прямоугольника, образованного устьями врубовых шпуров на плоскости забоя), м^2;

N, $N_{вр}$ – общее число на забой и число врубовых шпуров.

Оконтуривающие шпуры располагают с наклоном 85–87° к плоскости забоя с таким расчетом, чтобы их концы вышли за проектный контур сечения выработки вчерне только за линией уходки. Забуриваются оконтуривающие шпуры на минимальном расстоянии (150–200 мм) от проектного контура выработки с учётом принятой буровой техники.

При применении прямых врубов количество шпуров определяется по формуле

$$N = N_{вр} + q\cdot(S_{вч}–S_{вр})/\gamma, \qquad (5.15)$$

где $N_{вр}$ – количество врубовых шпуров (см. раздел 1.2.3.2);

$S_{вр}$ – площадь поперечного сечения прямого вруба, м^2.

При контурном взрывании число оконтуривающих шпуров необходимо увеличивать. При этом параметры зарядов в оконтуривающих шпурах (удельный заряд, расстояние между шпурами и др.) рассчитываются по специальным методикам ([3] и др.).

3.2.7. Определение расхода взрывчатых материалов

Количество ВВ (кг) на цикл при **врубах с наклонными шпурами**

$$Q = q \cdot S_{вч} \cdot l_{шп}, \qquad (5.16)$$

где $l_{шп}$ – глубина заходки, равная глубине вспомогательных и оконтуривающих шпуров, м.

Средняя величина заряда (кг) на один шпур

$$q'_{ср} = Q / N. \qquad (3.17)$$

Количество ВВ (кг) на цикл **при врубах с прямыми шпурами** (кг)

$$Q = Q_{вр} + q \cdot(S_{вч} – S_{вр}) \cdot l_{шп}, \qquad (5.18)$$

где $Q_{вр}$ – количество ВВ во врубовых шпурах, принимается как сумма зарядов врубовых шпуров. Величина заряда (кг) во врубовый шпур принимается

$$q'_{вр} = 0{,}785 \cdot d^2 \cdot \rho \cdot \alpha \cdot l_{вр}, \qquad (5.19)$$

где d – диаметр патрона ВВ или шпура, в зависимости от способа заряжания, м;

ρ – плотность ВВ в заряде, кг/м^3;

α – коэффициент заполнения врубового шпура, 0,7-0,95 (в зависимости от длины шпуров и крепости пород);

$l_{вр}$ – длина врубовых шпуров, м (принимается на 10 % больше длины вспомогательных и оконтуривающих шпуров).

Средняя величина заряда (кг) на один вспомогательный и оконтуривающий шпур **при прямых врубах**

$$q''_{ср} = \frac{q \cdot (S_{вч} - S_{вр}) \cdot l_{шп}}{N - N_{вр}} . \quad (5.20)$$

При распределении ВВ по шпурам величину заряда во врубовые шпуры **при наклонных врубах** следует принимать на 10-20 % больше средней величины $q'_{ср}$ (кг)

$$q^*_{вр} = (1{,}1 \div 1{,}2)\, q'_{ср}. \quad (5.21)$$

В оконтуривающих шпурах, кроме почвенных, при любых типах врубов величину заряда следует уменьшать на 10-20 % по сравнению со средней величиной $q'_{ср}$ (кг)

$$q^*_{ок} = (0{,}9 \div 0{,}8)\, q'_{ср}. \quad (5.22)$$

Обычно в практике взрывных работ величина заряда во вспомогательных шпурах принимается равной средней величине заряда в шпурах $q'_{ср}$:

$$q^*_{всп} = q'_{ср}. \quad (5.23)$$

Полученные величины зарядов во врубовых, вспомогательных и оконтуривающих шпурах при ручном заряжании патронированными ВВ принимают **кратными массе патронов ВВ.**

При механизированном заряжании заряд ВВ в шпуре состоит из патрона-боевика (0,2 или 0,25 кг) и собственно заряда гранулированного ВВ, масса которого принимается кратной 0,1 кг.

После определения величин зарядов ВВ в шпурах каждой группы следует проверить возможность размещения их в шпурах, учитывая длину и массу патронов, а также линейную плотность заряжания при применении гранулированных ВВ.

Фактический расход ВВ (кг) на цикл

$$Q_ф = \sum q^*_{вр} + \sum q^*_{всп} + \sum q^*_{ок}. \quad (5.24)$$

Расход ВВ (кг) на погонный метр выработки

$$Q_м = Q_ф / (l_{шп}\, \eta)\,, \quad (5.25)$$

где η – КИШ (принимается равным 0,85-0,95 в зависимости от крепости пород).

Объём горной массы за взрыв

$$Q_{гм} = S_{пр}\, l_{шп}\, \eta, \quad (5.26)$$

где $S_{пр} = S_{вч} \cdot КИС$ – сечение выработки в проходке, м^2, которое следует определять в соответствии с рекомендациями таблицы 5.14.

Удельный расход ВВ (кг) на 1 м^3 взорванной породы

$$q_р = Q_ф / Q_{гм}. \quad (5.27)$$

Таблица 5.14

Допустимое нормативное увеличение (в %) поперечного сечения горизонтальных горных выработок при проходке буровзрывным способом

Поперечное сечение горных выработок вчерне (по проекту), м^2	Коэффициент крепости пород f		
	1–2	2–9	10–20
до 8	5*	10	12
от 8 до 15	4	8	10
более 15	3	5	7

*Коэффициент излишка сечения: КИС = 1 + Δ = 1 + 5/100 = 1,05.

Расход ЭД, КД (систем неэлектрического взрывания) определяется по числу взрываемых зарядов.

Расход ЭД, КД на 1 метр выработки:

$$N_м = N_{кд} /(l_{шп}\, \eta). \quad (5.28)$$

Удельный расход ЭД, КД на 1 м^3 взорванной породы:

$$N_р = N_{кд} /(S_{пр}\, l_{шп}\, \eta). \quad (5.29)$$

Заводы-изготовители производят неэлектрические системы инициирования с длинами волноводов, определяемыми заказами потребителей.

Длина УВТ ориентировочно определяется по формуле:

$$L_{увт} = l_{шт} + B / 4 + 0{,}5, \quad (5.30)$$

где B – ширина выработки, м;

0,5 –длина УВТ для сборки пучков, м.

5.3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ СЕТИ

При расчете электровзрывной сети определяют её сопротивление и сопротивление её отдельных ветвей. Для проверки обеспечения безотказности взрывания всех электродетонаторов, включённых в сеть, при известном напряжении (принятом источнике тока) выполняется проверочный расчет, при котором определяют общую величину тока в сети и величину тока, поступающего в каждый электродетонатор.

Если необходимо выбрать источник тока, определяют общее сопротивление сети и минимальную силу тока в цепи, обеспечивающую безотказное взры-

вание всех электродетонаторов, после чего находят необходимое напряжение и подбирают источник тока (табл. 5.15).

Сопротивление магистральных и соединительных проводов, а также участковых, если они имеются при конкретной схеме взрывания, принимается по табличным данным или вычисляется по формуле

$$R = \rho\,(l/S), \qquad (5.31)$$

где R – сопротивление проводов, Ом;

ρ – удельное сопротивление материала проводов, которое принимается для медных проводов $0{,}0172\cdot10^{-6}$, для алюминиевых $0{,}0286\cdot10^{-6}$ и для стальных $0{,}12\cdot10^{-6}$ Ом·м;

l – длина проводов, м. Длину проводов принимают на 10 % больше расчётной, учитывая изгибы и сростки;

S – сечение проводов, м^2.

Сопротивление электродетонаторов при расчёте сети принимается по табличным данным с учётом длины выводных проводов (см. табл. 5.3). Сопротивление электродетонаторов нормальной чувствительности в зависимости от длины выводных медных проводов с диаметром жилы 0,5 мм составляет от 1,8 до 3,6 Ом. При расчёте величину сопротивления электродетонаторов нормальной чувствительности обычно принимают равной 3 Ом.

Таблица 5.15

Взрывные приборы и машинки

Наименование прибора (исполнение)	Напряжение, В	Масса, кг	Максимальное сопротивление электровзрывной сети, Ом	Назначение и область применения
Конденсаторный взрывной прибор КВП-1/100М (РВ) КВП-2/200М (РН)	 600 1700	 2 2,5	 320 1700	Взрывание ЭД нормальной чувствительности на поверхности и в шахтах, опасных и не опасных по взрыву газа или пыли
Конденсаторный взрывной прибор ПИВ-100М (РВ)	610	2,7	320	
Конденсаторная взрывная машинка КПМ-3 (РН)	1600	3,0	200	Взрывание ЭД нормальной чувствительности на поверхности и в шахтах, не опасных по взрыву газа или пыли

При электрическом способе взрывания в каждый электродетонатор нормальной чувствительности должен поступать постоянный гарантийный ток силой не менее $I_{гар}$ = 1 А при числе ЭД до 100 штук и не менее $I_{гар}$ = 1,3 А при числе ЭД более 100 штук, или переменный ток силой не менее $I_{гар}$ = 2,5 А.

Для электродетонаторов пониженной чувствительности к блуждающим токам (ЭД-1-8-Т, ЭД-1-3-Т) гарантийный ток следует принимать не менее 5 А.

Проверочный расчёт электровзрывной сети производится по следующим формулам в зависимости от схемы соединения:

а) при последовательном соединении

$$I = \frac{E}{R + rn}, \quad i = I \geq I_{\text{гар}}, \tag{5.32}$$

б) при параллельном соединении

$$I = \frac{E}{R + r/n}, \quad i = I/n \geq I_{\text{гар}}, \tag{5.33}$$

в) при смешанном последовательно-параллельном соединении

$$I = \frac{E}{R + rn/m}, \quad i = I/m \geq I_{\text{гар}}, \tag{5.34}$$

г) при смешанном параллельно-последовательном соединении

$$I = \frac{E}{R + rm/n}, \quad i = I/m \geq I_{\text{гар}}, \tag{5.35}$$

где I – сила тока в электровзрывной сети, А;

E – электродвижущая сила источника тока или напряжение на клеммах, В;

R – сопротивление всех проводов (магистральных, соединительных, участковых) и внутреннее сопротивление источника, Ом;

n – число последовательно соединённых электродетонаторов в сети или группе;

m – число параллельно включённых групп электродетонаторов при смешанном соединении;

i – сила тока, поступающего в каждый электродетонатор, А;

$I_{\text{гар}}$ – гарантийная сила тока, необходимая для безотказного взрывания электродетонаторов, А;

r – сопротивление электродетонатора, Ом.

При проведении горизонтальных выработок обычно применяется последовательная схема соединения электродетонаторов во взрывной сети. В этом случае общее сопротивление взрывной сети можно определить по формуле:

$$R_{\text{общ}} = r_{\text{п}} + r_{\text{с}}L_{\text{с}} + r_{\text{м}}L_{\text{м}}, \tag{5.36}$$

где $r_{\text{с}}$, $r_{\text{м}}$ – сопротивление соответственно 1 м соединительных и магистральных проводов, Ом (принимается по данным табл. 3.16 или рассчитывается по формуле (5.31));

$L_{\text{с}}$, $L_{\text{м}}$ – длина соответственно соединительных и магистральных проводов, м.

Таблица 5.16

Характеристики проводов для электровзрывания

Обозначение	Назначение	Диаметр жилы, мм	Площадь сечения, мм^2	Сопротивление 1 м провода, Ом/м
ВП-05	соединительные	0,5	0,196	0,090
ВП-08	магистральные	0,8	0,502	0,034
ВП-07х2	магистральные	0,7х2	0,769	0,024

Магистральные провода (постоянная взрывная магистраль) подключаются обычно на расстоянии не ближе 30 м от забоя и могут отставать от места взрыва не более чем на 100 м. Место укрытия взрывника при проходке горизонтальных выработок должно находиться не ближе 150 м от забоя. Электровзрывная сеть должна быть двухпроводной.

В шахтах (рудниках), опасных по газу или пыли, должны применяться электродетонаторы только с медными проводами. Это требование также распространяется на соединительные и магистральные провода (кабели) электровзрывной сети.

Если проверочный расчет показывает неприменимость последовательной схемы соединения электродетонаторов (ввиду того, что $i < I_{\text{гар}}$), следует принимать последовательно-параллельную схему соединения. Тогда число последовательно включённых электродетонаторов в сети или группе и число групп, включённых параллельно, определяют по формулам

$$n = \frac{E}{2I_{\text{гар}} + R}, \tag{5.37}$$

$$m = \frac{E}{2I_{\text{гар}} + r}. \tag{5.38}$$

Если общее число электродетонаторов, подлежащих взрыванию, равно $M = n \cdot m$, то, определив один из множителей, вычисляют другой.

5.4 ВЫБОР БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Тип бурильной машины выбирается в зависимости от коэффициента крепости горных пород, глубины шпуров и необходимой производительности машины при выполняемом объёме буровых работ.

Бурение шпуров производится ручными, колонковыми электро- и пневмосвёрлами, переносными перфораторами и бурильными установками.

Выбор типа бурильной машины и установочного приспособления в зависимости от крепости пород ориентировочно можно производить по табл. 3.1.

Ручные электросвёрла ЭР14Д-2М, ЭР18Д-2М, СЭР-19М применяются для бурения шпуров диаметром 36-44 мм и глубиной до 3 м по углю и породам с коэффициентом крепости до 4.

При бурении по крепким углям и породам средней крепости применяются электросвёрла ЭРП18Д-2М и СРП-1 с принудительной подачей.

Ручные пневматические свёрла СР-3, СР-3М, СПР-8 применяются на шахтах, опасных по газу или пыли, для бурения шпуров диаметром 36 мм и глубиной до 3 м при проведении выработок по углю и породам с коэффициентом крепости до 4. Сверло СГ-3Б с применением пневмоподдержки применяются для бурения шпуров в породах с коэффициентом крепости до 6.

При проведении горизонтальных и наклонных выработок при бурении шпуров диаметром 40-46 мм и глубиной до 5 м в крепких и средней крепости с коэффициентом более 5 применяют переносные перфораторы ПП36В, ПП54В, ПП54ВБ, ПП63В, ПП63ВБ, ПП63П, ПП63С, ПП63СВП массой 24-33 кг с энергией удара от 36 до 63 Дж. Обычно глубина шпуров при бурении переносными перфораторами составляет 1,5-2,5 м.

Таблица 5.17

Область применения бурильных машин и установочных приспособлений

Коэффициент крепости пород	Тип бурильных машин и установочных приспособлений
1,5–3	Ручные электросвёрла и пневмосвёрла, лёгкие перфораторы на пневмоподдержках
4–6	Бурильные установки вращательного действия, перфораторы лёгкого и среднего веса на пневмоподдержках, колонковые или длинноходовые электросвёрла на манипуляторах
7–9	Бурильные установки вращательно-ударного действия, перфораторы среднего веса и тяжёлые на пневмоподдержках, колонковые или длинноходовые электросвёрла на манипуляторах
10–20	Бурильные установки вращательно-ударного действия, тяжёлые перфораторы на пневмоподдержках, колонковые перфораторы на распорных колонках или манипуляторах

Телескопные перфораторы ПТ-29М, ПТ36М, ПТ38, ПТ48 применяются при проведении восстающих выработок и для бурения шпуров в крепких породах под анкерную (штанговую) крепь.

Для облегчения труда бурильщиков и повышения скорости бурения применяются колонковые электросвёрла, электросвёрла на манипуляторах и колонковые перфораторы.

Колонковые электросвёрла применяются при бурении шпуров диаметром 36-50 мм в породах с коэффициентом крепости 5-10. Промышленностью выпускаются колонковые электросвёрла ЭБГП-1, ЭБГП-2У5, которые устанавливаются на распорных колонках или на манипуляторах бурильных установок.

Съёмные бурильные машины типа БУЭ вращательного действия применяют на бурильных установках при бурении шпуров диаметром 42 мм, длиной до 3 м в породах с f <8.

Колонковые перфораторы, более мощные чем ручные, применяются для бурения шпуров с колонок, манипуляторов и буровых кареток при проведении выработок в крепких и очень крепких породах.

В горнодобывающей промышленности применяют колонковые перфораторы ПК-50, ПК-65, ПК-75, ПК-120, ПК-150. Применение колонковых перфораторов и электросвёрл на распорных колонках при проходке выработок ограничено из-за значительных затрат времени на монтаж, демонтаж и переустановку колонок. Поэтому чистое время бурения составляет 20-35 % от общих затрат времени на бурения шпуров.

Механизированное бурение шпуров производят бурильными установками (каретками) и навесным оборудованием, смонтированным на погрузочных машинах.

Отечественной промышленностью выпускаются бурильные установки (каретки) вращательного бурения с колонковыми электросверлами БУЭ-1м, БУЭ-2, вращательно-ударного и ударно-поворотного бурения БУ-1, БУР-2, СБУ-2м, СБУ-2К, УБШ.

В угольной промышленности наибольшее распространение получили установки БУ-1, БУР-2, БУЭ-1 и БУЭ-2. С использованием этих установок проводят около 50 % выработок.

Установки вращательного бурения применяют при проведении выработок в породах с f < 8; ударно вращательного действия с машинами БГА-1 в породах с f = 6-10, с машинами БГА-1М, БГА-2М в породах с f = 10-14; ударно-поворотного действия в породах с f = 10-20.

Технические характеристики бурильных установок приведены в табл. 5.2 – 5.3.

При определении бурильного оборудования следует принимать один перфоратор (сверло) не менее чем на 2 м^2 площади забоя горизонтальной или наклонной выработки; на каждые три рабочие машины одну резервную.

Одну бурильную установку принимают не менее чем на 9 м^2 площади забоя горизонтальной выработки. На каждую работающую в забое установку – рабочий и резервный комплекты инструмента.

Таблица 5.18

Характеристики отечественных бурильных установок для бурения шпуров при проходке горизонтальных выработок

Характеристики	Тип бурильной установки					
	УБШ-204 (БУЭ-1М)	УБШ-214А	УБШ-308У (1СБУ-2)	УБШ-303 (1БУР-2)	УБШ-254	УБШ-332Д
Коэффициент крепости пород f	4-8	4-16	8-14	4-16	8-14	8-14
Диаметр шпуров, мм	42	42-52	42-52	42-52	42-52	42-52
Длина шпуров, м	2,75	2,75	2,8	2,8	2,4	3,0

Зона бурения, м^2		6-12	4,2-12	до 20	до 20	до 12	8-22
Бурильная машина	тип	БУЭ	М2 (БГА-2М)	М2 (БГА-2М)	М2 (БГА-2М)	«Норит-1» (гидравл.)	М2 (БГА-2М)
	кол-во	1	1	2	2	1	2
Тип платформы		рельс.	рельс.	гусен.	рельс.	гусен.	пневм.
Размеры (м) в транспортном положении: длина		8,2	6,0	7,8	7,1	7,2	11,0
ширина		1,3	1,0	1,6	1,15	1,4	1,75
высота		0,9	1,5	1,7	1,65	1,8	2,3
Масса, т		5,4	4	8,6	5	7,2	12

Таблица 5.19

Характеристики зарубежных бурильных установок для бурения шпуров при проходке горизонтальных выработок

Характеристики		Тип бурильной установки				
		Minimatic 205-40	Mini 206-60	Paramatic 305-60	Rocket Bomer 104S	Rocket Bomer 282S
Коэффициент крепости пород *f*		8-20	8-20	8-20	8-20	8-20
Диаметр шпуров, мм		32-50	32-50	32-50	32-50	32-50
Длина шпуров, м		3,4	3,4	3,4	4,0	4,0
Высота обуривания, м		6,0	6,4	7,1	4,7	6,3
Ширина обуривания, м		8,8	9,8	10,4	4,7	8,7
Зона бурения, м^2		8-49	8-60	12-68	до 20	до 45
Бурильная машина	тип	HL 510S-45 гидравл.	HL 510S-45 гидравл.	HL 510S-45 гидравл.	COP 1838 ME пневмат.	COP 1838 ME пневмат.
	кол-во	2	2	3	1	2
Тип платформы		пневм.	пневм.	пневм.	пневм.	пневм.
Размеры (м) в транспортном положении: длина		12,3	12,7	5,3	9,8	12,1
ширина		1,98	2,24	2,5	2,0	2,0
высота		2,35	2,35	2,8	2,6	3,1
Масса, т		19	20	36	14	18

При применении бурильных установок глубина шпуров изменяется от 2 до 3,75 м. В этом случае необходимо использование прямых врубов, так как обуривание вертикального клинового вруба в большинстве случаев технически неосуществимо из-за невозможности соблюдения требуемого угла наклона врубовых шпуров.

При ручном бурении шпуров площадь забоя, приходящаяся на одну бурильную машину, изменяется в широких пределах – от 2 до 5 м^2.

5.5. СОСТАВЛЕНИЕ ПАСПОРТА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

На основании выполненных расчетов составляется паспорт буровзрывных работ, который включает в себя: характеристику выработки; характеристику пород; схему расположения шпуров в трёх проекциях; наименования ВМ; способ взрывания; данные о способе заряжания, числе шпуров, их глубине и диаметре, массе и конструкции зарядов, последовательности и количестве приёмов взрывания зарядов, материале забойке и её длине, длинах ударно-волновых трубок систем неэлектрического взрывания; схему монтажа взрывной (электровзрывной) сети с указанием длины (сопротивления), замедлений, схемы и времени проветривания забоя.

Дополнительно указывается величина радиуса опасной зоны, места укрытий взрывника и рабочих, установки постов охраны и предупредительных знаков.

В шахтах, опасных по взрыву газа или пыли, в паспорте должны быть указаны количество и схема расположения специальных средств по предотвращению взрывов газа (пыли), а также режим взрывных работ.

Пример оформления графической части:

Паспорт
буровзрывных работ на проведение

_____

(*наименование выработки*)

1. Характеристика выработки

1.1. Форма сечения выработки _____

1.2. Площадь поперечного сечения выработки вчерне, м^2 _____

1.3. Размеры сечения выработки - высота, м _____

- ширина, м _____

1.4. Категория шахты по газу или пыли _____

2. Характеристика пород

2.1. Наименование пород _____

2.2. Коэффициент крепости пород по шкале М. М. Протодьяконова _____

2.3. Трещиноватость пород _____

2.4. Обводнённость пород _____

3. Исходные данные

3.1. Наименование ВВ и средств инициирования _____

3.2. Способ взрывания _____

3.3. Диаметры - шпуров, мм _____

- патронов, мм _____

3.4. Тип вруба _____

3.5. Материал забойки _____

3.6. Схема соединения электродетонаторов _____

3.7. Источник электрического тока _____

4. Расчётные данные по шпурам

№№ шпуров	Наименование шпуров по назначению	Глубина шпуров, м	Угол наклона шпуров, град.	Расстояние между шпурами, м	Величина заряда в шпуре, кг	Длина заряда, м	Длина забойки в шпуре, м	Очередность взрывания, интервал замедления, мс	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

5. Схема расположения шпуров

Схема расположения вычерчивается в масштабе 1:50 или 1:20 в трёх проекциях (см. Приложение 3). При применении прямых врубов дополнительно в масштабе 1:20 или 1:10 приводится схема вруба.

6. Конструкции зарядов

В схемах конструкций врубовых, вспомогательных (отбойных) и оконтуривающих зарядов указывается место установки патронов-боевиков, количество патронов, длина заряда и забойки.

7. Основные показатели буровзрывных работ

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Количество
1	Коэффициент использования шпуров	-	
2	Подвигание забоя за взрыв	-	
3	Объём горной массы за взрыв	$м^3$	
4	Количество шпуров на цикл	шт.	
5	Количество шпурометров на цикл	м	
6	Количество шпурометров на 1 погонный метр выработки	м шп./м	
7	Количество шпурометров на 1 $м^3$ взорванной породы	м шп./$м^3$	
8	Расход ВВ на цикл	кг	
9	Расход ВВ на 1 метр выработки	кг/м	
10	Расход ВВ на 1 $м^3$ взорванной породы	кг/$м^3$	
11	Расход средств инициирования на цикл: ЭД КД (СИНВ-Ш) детонирующего шнура	 шт. шт. м	
12	Расход средств инициирования на 1 метр выработки: ЭД КД (СИНВ-Ш) детонирующего шнура	 шт. шт. м	

8. Меры безопасности

8.1. Место укрытия взрывника и рабочих на момент взрыва_____

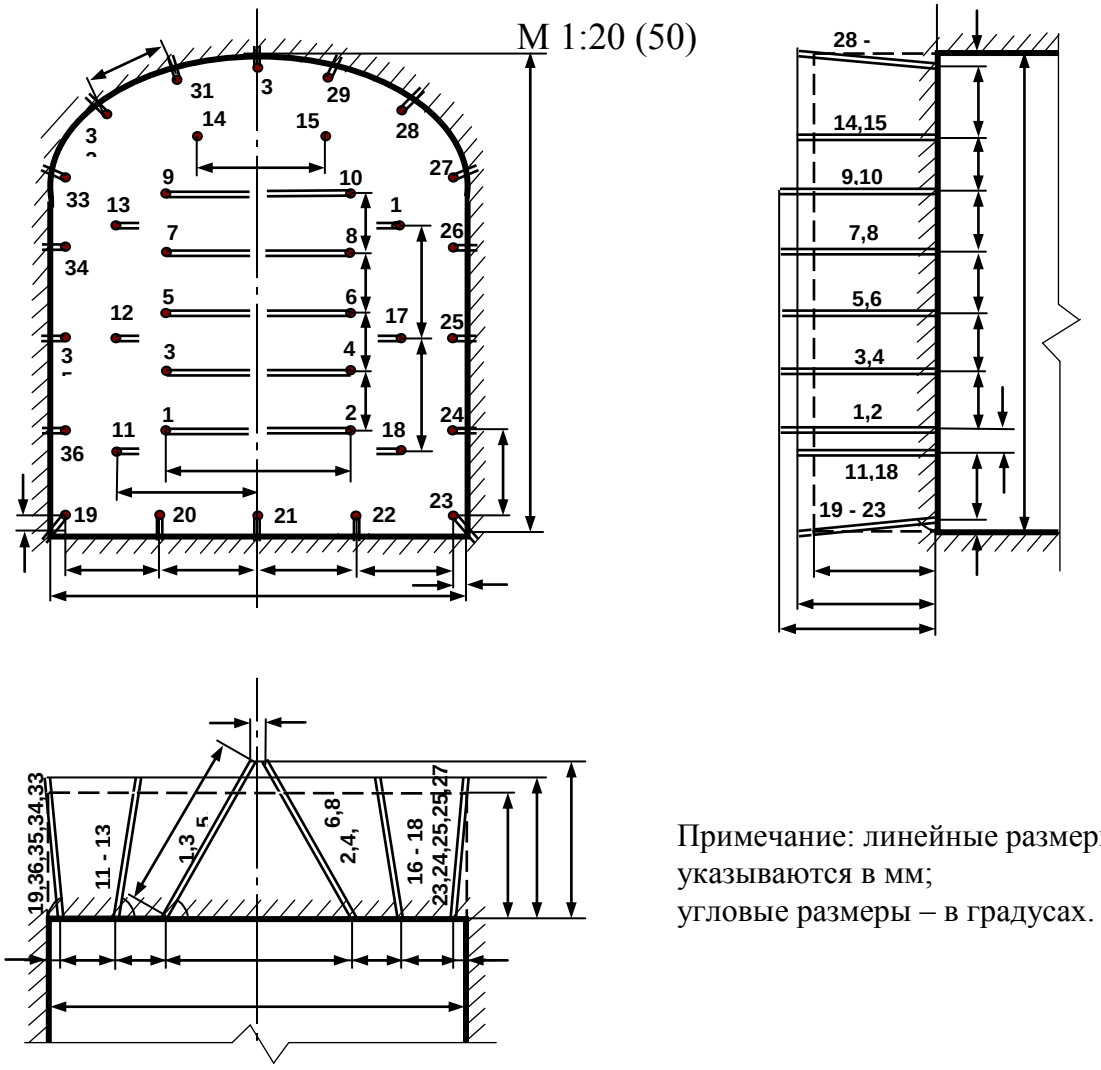
8.2. Место выставления постов_____

8.3. Время проветривания после взрыва_____

8.4. Мероприятия по подавлению пыли_____

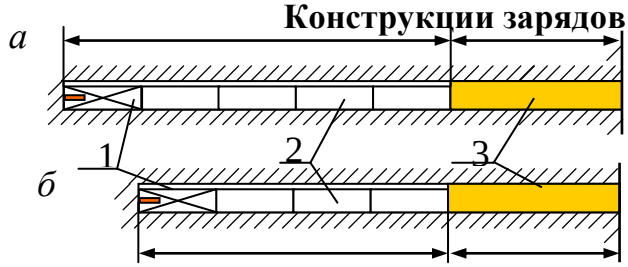
8.5. Другие дополнительные меры безопасности_____

Схема расположения шпуров



Примечание: линейные размеры
указываются в мм;
угловые размеры – в градусах.

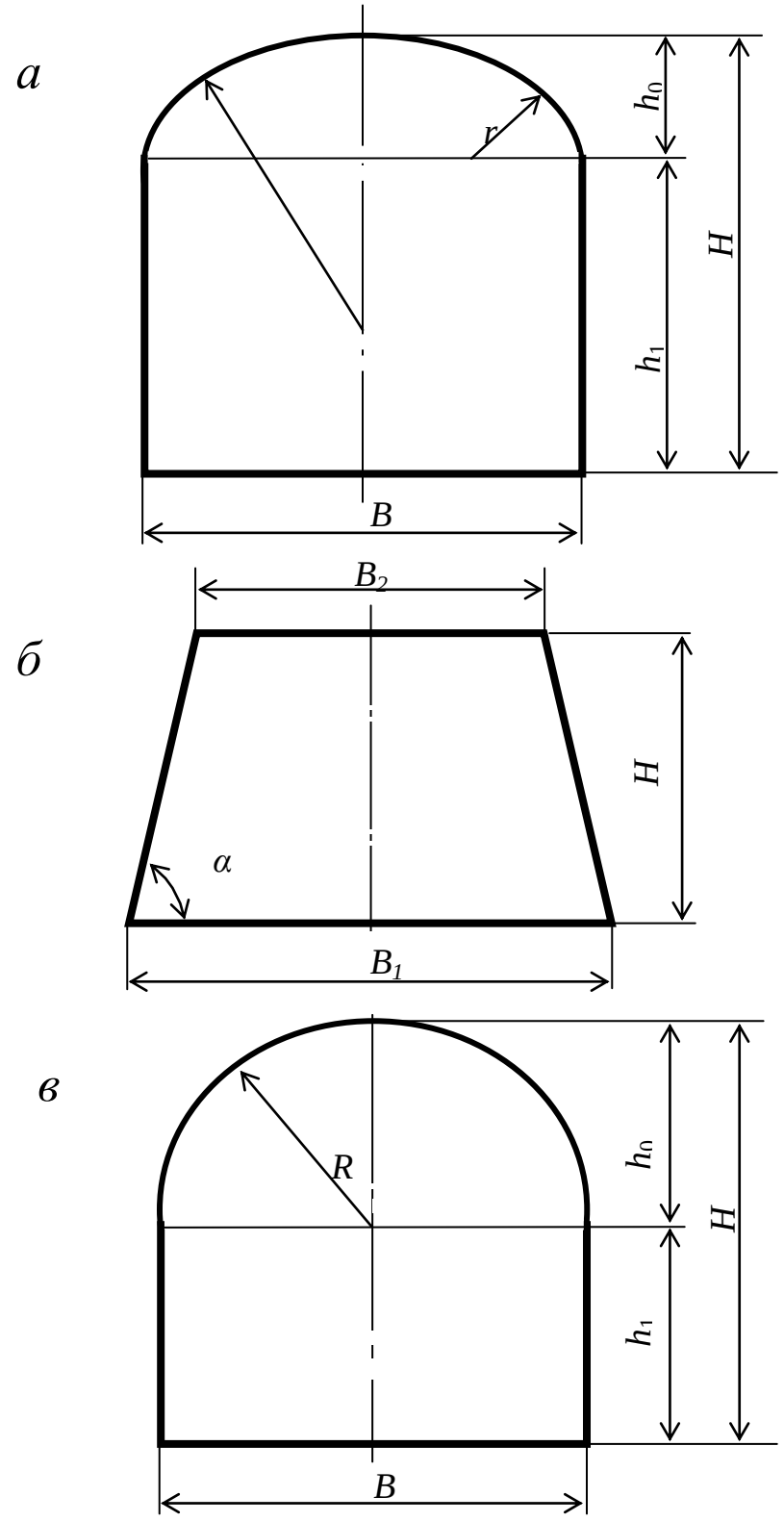
Конструкции зарядов



а – врубовые шпуры;
б – вспомогательные (отбойные) и оконтуривающие шпуры;
1 – патрон-боевик (аммонит № 6ЖВ);
2 – патроны ВВ (аммонит № 6ЖВ);
3 – забойка (песчано-глиняная, водяная)

Примечание. В шахтах, не опасных по взрыву газа или пыли, допускается взрывание зарядов без забойки (устанавливается руководителем предприятия и указывается в паспорте БВР).

Формы поперечного сечения горизонтальных выработок



$h_0 = B / 3$;
$h_1 = B - h_0$;
$R = 0{,}694\ B$;
$R = 0{,}262\ B$.

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{2H}{B_1 - B_2}$$

Рис. П4.1. Формы поперечного сечения горизонтальных выработок:
а – сводчатая с трёхциркульным (коробовым) сводом;
б – трапецевидная;
в – арочная с полуциркульным сводом

Формулы для вычисления площади поперечного сечения и периметра выработок:

Форма поперечного сечения выработки	Площадь поперечного сечения	Периметр
Сводчатая с коробовым сводом	$B \cdot (h_1 + 0{,}26 \cdot B)$	$2 \cdot h_1 + 2{,}33 \cdot B$
Трапециевидная	$\frac{B_1 + B_2}{2} \cdot H$	$B_1 + B_2 + \frac{2H}{\cos \alpha}$
Арочная с полуциркульным сводом	$B \cdot (h_1 + 0{,}39 \cdot B)$	$2 \cdot h_1 + 2{,}57 \cdot B$

Рекомендуемая литература

1. Корнилков М.В. Разрушение горных пород взрывом: конспект лекций. - Урал. гос. горный ун-т. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. - 202 с.

2. Латышев О.Г., Петрушин А.Г., Азанов М.А. Промышленные взрывчатые материалы: учебное пособие. - Урал. гос. горный ун-т. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. - 221 с.

3. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник. – М.: Изд. МГГУ, 2007. – 345 с.

4. Кутузов Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности. – М.: Горная книга, 2009. – 670 с.

5. Латышев О.Г. Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2004. – 201 с.

6. Правила безопасности при взрывных работах (утверждены приказом Ростехнадзора от 16.12.2013 г. № 605; в редакции приказа Ростехнадзора от 30.11.2017 г. № 518). – М., 2018.

7. Взрывчатые вещества и средства инициирования. Каталог. М.: ГосНИП «РАСЧЕТ», 2003. 269 с.

8. Справочник взрывника / Под общей редакцией Б. Н. Кутузова. М.: Недра, 1988. 511 с.

Учебное издание

Петрушин Алексей Геннадиевич
Азанов Михаил Алексеевич
Прищепа Дмитрий Вячеславович

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе, выполнению контрольных и практических работ по дисциплине «технология и безопасность взрывных работ» для студентов специальности 21.05.04 «горное дело»

Редактор *Д. В. Прищепа*

Подписано в печать «__»_____2019 г. Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 3,68. Уч.-изд. л. 5,4. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор УГГУ
по учебно-методическому комплексу

_____С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1. Б.1 29 ОСНОВЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 9

Горные машины и комплексы

Автор: Гусманов Ф.Ф., доцент, к.т.н.

Одобрены на заседании кафедры

Горного дела
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Валиев Н.Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 7 от 17.04.2019
(Дата)

Рассмотрено методической комиссией
горно-технологического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Колчина Н. В.
(Фамилия И. О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям 5
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 6
Подготовка к зачёту 6
Подготовка к экзамену 6

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы – закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того, самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

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.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

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 контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса:

для овладения знаниями:

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям:

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

– рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест – это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца 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 выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

Теоретический вопрос – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность

одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.1.30 ТЕПЛОТЕХНИКА

Специальность
21.05.04 Горное дело

Профиль специализации
№ 9 Горные машины и оборудование

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Долганов А.В., доц., к. т. н.

Одобрена на заседании кафедры
Горной механики
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Макаров Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов - это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы - закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

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.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

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 контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса: *для овладения знаниями:*

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам;

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с

презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей;

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам;

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям: *для овладения знаниями:*

- изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
- изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана проведения эксперимента;
- составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
- аналитическая обработка результатов экспериментов.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы. Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией - это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

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;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя: *для овладения знаниями:*

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада *для закрепления и систематизации знаний:*
- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - форма контроля для демонстрации обучающимся

умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту): *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест - это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца 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 выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

Теоретический вопрос - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание - средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

В. Я. Потапов, С. Г. Фролов, В. Ф. Копачев

ТЕПЛОТЕХНИКА

Учебник

Екатеринбург, 2019

УДК 621.036:621.1
П 64

Рецензенты: *Сивцов А. В.,* доктор технических наук Института металлургии УрО РАН;
Щапов В. А., доктор геолого-минералогических наук Института геофизики УрО РАН.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Уральского государственного горного университета

Потапов В. Я., Фролов С. Г., Копачев В. Ф.
Теплотехника: учебник / Потапов В. Я., Фролов С. Г., Копачев В. Ф.; Урал.
П 64 гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 210 с.
ISBN 978-5-8019-0162-6

В учебнике изложен обзорный теоретический материал по основным разделам теплотехники: техническая термодинамика, основы теплообмена и теплоэнергетика. Освоение курса закрепляется выполнением контрольных заданий, состоящих из ряда задач на различные темы. Во всех трех разделах приведены примеры задач с решениями, которые могут быть использованы в практических расчетах.

Материал данного учебника соответствует требованиям к обязательному содержанию дисциплины «Теплотехника», которые установлены федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования по направлениям подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 21.05.04 «Горное дело».

Учебник отражает опыт изучения дисциплины «Теплотехника» в Уральском государственном горном университете.

УДК 621.036:621.1

© Уральский государственный
горный университет, 2019
© Потапов В. Я., Фролов С. Г.,
Копачев В. Ф., 2019

ISBN 978-5-8019-0162-6

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6
ГЛАВА 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА 8
1.1. Основные понятия и определения 8
1.2. Термодинамические параметры состояния 9
1.3. Законы идеальных газов 10
1.4. Уравнение состояния идеального газа 12
1.5. Уравнение состояния реальных газов. 15
1.6. Термодинамический процесс 15
1.7. Внутренняя энергия 16
1.8. Работа расширения 17
1.9. Первый закон термодинамики 18
1.10. Теплоемкость 19
1.11. Энтальпия 20
1.12. Функции состояния и функции процесса 21
1.13. Энтропия 22
1.14. Содержание второго закона термодинамики и его формулировки. 25
1.15. Эффективность термодинамических циклов 27
1.16. Эксергия потока рабочего тела 29
1.17. Смеси идеальных газов 30
1.18. Термодинамические процессы идеальных газов в закрытых системах 31
1.19. Изохорный процесс 32
1.20. Изобарный процесс 33
1.21. Изотермический процесс 34
1.22. Адиабатный процесс 35
1.23. Политропный процесс 36
1.24. Термодинамические процессы водяного пара 37
1.25. Влажный воздух 39
1.26. Уравнение первого закона термодинамики для потока 40
1.27. Истечение газа из суживающегося сопла 44
1.28. Дросселирование газов и паров. 45
1.29. Вихревые трубы 46
1.30. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания 49
1.31. Теоретические процессы поршневых двигателей внутреннего сгорания 52
1.32. Цикл газотурбинной установки 54
1.33. Циклы паротурбинных установок 57
1.34. Парогазовые циклы 60
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ 1 62
Контрольные вопросы 62

Требования к оформлению контрольных работ 64
Контрольная задача № 1 65
Контрольная задача № 2 65
Контрольная задача № 3 66
Контрольная задача № 4 67
Примеры решения задач 69
ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛООБМЕНА 79
2.1. Основные понятия и виды теплообмена 79
2.2. Основной закон теплопроводности 80
2.3. Физический смысл дифференциального уравнения теплопроводности 83
2.4. Распространение теплоты в однослойной и многослойной стенках 85
2.5. Конвективный теплообмен и основы теории подобия 89
2.6. Теплоотдача при свободном движении жидкости 94
2.7. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости 97
2.8. Основные понятия и определения лучистого теплообмена 105
2.9. Основные законы лучистого теплообмена 106
2.10. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде 110
2.11. Сложный теплообмен 112
2.12. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую их стенку 113
2.13. Теплообменные аппараты 115
2.13.1. Типы и классификация теплообменных аппаратов 115
2.13.2. Схемы тока теплоносителей 118
2.13.3. Тепловой баланс 119
2.13.4. Температурный напор 121
2.13.5. Тепловые расчеты 127
2.13.6. Гидродинамический расчет 131
2.13.7. Тепловые трубы и термосифоны 133
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ 2 137
Контрольные вопросы 137
Контрольная задача № 5 138
Контрольная задача № 6 139
Контрольная задача № 7 140
Контрольная задача № 8 140
Примеры решения задач 142
ГЛАВА 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА 150
3.1. Основные сведения о теплоэнергетических установках 150
3.2. Назначение и классификация компрессорных машин 150
3.3. Теоретические и действительные процессы в поршневых компрессорах 151

3.4. Двухступенчатый и многоступенчатый поршневой компрессор 155
3.5. Двигатели внутреннего сгорания 160
3.6. Характеристики термодинамических циклов 165
3.7. Экономичность идеальных циклов 167
3.8. Изображение идеальных циклов в координатах *T-s* 169
3.9. Котельные установки 170
3.10. Турбинные установки 172
3.11. Тепловые электрические станции и теплоснабжение 177
3.12. Утилизация энергии ветра 181
3.13. Энергоагрегат с низкотемпературным двигателем Стирлинга 183
3.14. Топливные элементы 185
3.15. Холодильные машины 189
3.16. Свойства хладагентов 193
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ 3 194
Контрольные вопросы 194
Контрольная задача № 9 196
Контрольная задача № 10 196
Контрольная задача № 11 197
Контрольная задача № 12 198
Примеры решения задач 199
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 204
ПРИЛОЖЕНИЯ 205
Таблица I. Истинная молярная теплоемкость некоторых идеальных газов при постоянном давлении 206
Таблица II. Физические свойства воды на линии насыщения 207
Таблица III. Физические свойства сухого воздуха 208
Таблица IV. Насыщенный водяной пар 209
Таблица V. Системы кондиционирования 211

Памяти
Юрия Николаевича Миняева
посвящается

ВВЕДЕНИЕ

Учебник «Теплотехника» написан на основе использования опыта преподавания курса в Уральском государственном горном университете. Авторами уделено особое внимание прикладному значению изучаемого курса, поэтому рассмотрено подробное решение практических задач.

Теплотехника – общеинженерная дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты и связанные с этим аппараты и устройства. Она состоит из трех основных частей:

- техническая термодинамика,
- основы теории теплообмена,
- теплоэнергетика.

Термодинамика – это наука об энергии и ее свойствах. Наука о взаимопревращениях различных видов энергии (тепловой, механической, химической и др.). Для ее изучения необходимы знания математики, физики и химии. Термодинамика является научным фундаментом всей энергетики.

Ряд русских ученых – Г. В. Рихман (1711-1753), Б. Б. Голицын (1862-1911), С. Я. Терешин (1863-1921) и другие – исследовали процессы теплообмена и заложили основы теплопередачи. Французские ученые-математики Ж-Б. Фурье и С. Д. Пуассон в XIX столетии создали основы математической теории теплоты. Русский ученый В. А. Михельсон был первым исследователем, поставившим в 1890 г. вопрос об изучении зависимости лучеиспускания от температуры длины волны. Основной закон излучения был открыт экспериментально австрийским ученым И. Стефаном, а теоретически был выведен на основе второго закона термодинамики австрийским ученым Л. Больцманом. Немецкий ученый В. Вин, пользуясь

методами термодинамики, установил один из законов теплового излучения, связывающий длину волны, соответствующую максимальной интенсивности излучения черного тела, с абсолютной температурой излучающей поверхности.

Наука о теплообмене насчитывает несколько столетий, но настоящего расцвета она достигла лишь в XX веке, найдя широкое применение при решении назревших практических задач техники. Из раздела теоретической физики учение о теплообмене превратилось в самостоятельную научно-техническую дисциплину.

Учение о теплообмене является частью общего «Учения о теплоте», основы которого были заложены великим русским ученым М. В. Ломоносовым (1711-1765), ему принадлежит заслуга установления закона сохранения и превращения движущейся материи, из которого естественно вытекает закон сохранения и превращения энергии, частным случаем которого является первый закон термодинамики.

Учебник посвящен памяти Юрия Николаевича Миняева – основателя Уральской школы горной механики, видного ученого в отечественной и мировой науке в области рудничных компрессорных установок, во многом заложившего основы прикладных расчетов технических процессов, протекающих в компрессорных машинах.

Введение и глава I написаны В. Ф. Копачевым, глава II написана С. Г. Фроловым, глава III и приложения – В. Я. Потаповым.

ГЛАВА 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

1.1. Основные понятия и определения

Термодинамика – наука, изучающая законы превращения энергии в различных процессах, происходящих в макроскопических системах и сопровождающихся тепловыми эффектами. Макроскопической системой называется любой материальный объект, состоящий из большого числа частиц. Размеры макроскопических систем несоизмеримо больше размеров молекул и атомов.

В зависимости от задач исследования рассматривают техническую или химическую термодинамику, термодинамику биологических систем и т. д.

Техническая термодинамика – наука, которая изучает закономерности взаимного превращения тепловой и механической энергии и свойства тел, участвующих в этих превращениях.

Техническая термодинамика является теоретическим фундаментом теплотехники. На ее основе осуществляют расчет и проектирование всех тепловых двигателей, а также всевозможного технологического оборудования.

Физические свойства макроскопических систем изучаются статистическим и термодинамическим методами. Статистический метод основан на использовании теории вероятностей и определенных моделей строения этих систем и представляет собой содержание статистической физики. Термодинамический метод не требует привлечения модельных представлений о структуре вещества и является феноменологическим (т. е. рассматривает «феномены» – явления в целом). При этом все основные выводы термодинамики можно получить методом дедукции, используя только два основных эмпирических закона (начала) термодинамики.

Термодинамическая система – совокупность материальных тел, находящихся в энергетическом взаимодействии между собой и окружающей средой.

Изолированная термодинамическая система – система, не обменивающаяся с внешней средой ни энергией, ни веществом.

В самом общем случае система может обмениваться со средой и веществом (массообменное взаимодействие). Такая система называется **открытой**. Потоки газа или пара в турбинах и трубо-

проводах – примеры открытых систем. Если вещество не проходит через границы системы, то она называется **закрытой**.

Рабочее тело – вещество, способное воспринимать и отдавать теплоту, а также совершать работу.

1.2. Термодинамические параметры состояния

Физическое состояние рабочего тела может быть полностью определено, если известны величины, характеризующие его состояние, которые называются *термодинамическими параметрами состояния*. К ним относятся: давление (p), температура (T) и удельный объем (v).

Давление обусловлено взаимодействием молекул рабочего тела с поверхностью и численно равно силе F, действующей на единицу площади S поверхности тела по нормали к последней: $p = F / S$ (Н/м^2). В соответствии с молекулярно-кинетической теорией, давление газа определяется соотношением, Па:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{mc^2}{2},$$

где n – число молекул в единице объема; m – масса молекулы, кг; c^2 – средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул, м^2/с^2.

Параметром состояния является абсолютное давление. Именно оно входит в термодинамические уравнения.

Температура – мера интенсивности теплового движения молекул, которая равна средней кинетической энергии молекул, К:

$$T = \frac{2}{3K} \cdot \frac{mW^2}{2},$$

где $K = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; $\frac{mW^2}{2}$ – кинетическая энергия молекул, Дж.

Удельный объем v – это объем единицы массы вещества (величина, обратная плотности), м^3/кг:

$$v = \frac{V}{m}.$$

Равновесное состояние системы – все термодинамические параметры системы постоянны во времени и одинаковы во всех точках системы.

Если между различными точками в системе существуют разности температур, давлений и других параметров, то она является неравновесной.

В тепловых установках в качестве рабочего тела используют парогазообразные тела. Между молекулами этих тел, имеющими конечный объем и находящимися в непрерывном хаотичном движении, всегда действуют силы взаимного притяжения. Эти силы, а также объемы самих молекул оказывают влияние на параметры тела (p, T, V).

В ряде случаев газ находится в таком состоянии, когда конечные размеры молекул и силы их взаимного притяжения так малы, что можно ими пренебречь, т. е. рассматривать как **идеальный газ**, в котором:

1) нет сил взаимного притяжения между молекулами;

2) их объем равен нулю.

1.3. Законы идеальных газов

Закон Бойля-Мариотта: если изменяется объем V некоторого постоянного количества идеального газа, то будет изменяться давление p, причем между p и V при условии T = const образуется пропорция:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ или } p_1V_1 = p_2V_2 = \text{const};$$

для 1 кг рабочего тела:

$$p_1v_1 = p_2v_2 = pv = \text{const}.$$

Эта зависимость приведена на рис. 1.1.

Закон Гей-Люсака: если увеличить температуру T некоторого постоянного количества идеального газа на 1 °С при неизменном давлении (p = const), то его объем возрастет на 1/273 часть первоначального, за который принят объем газа при 0 °С.

Из этого закона вытекает, что при постоянном давлении объем газа:

$$v = v_0(1 + \alpha t),$$

где v_0 – объем газа при 0 °С; α = 1/273 – коэффициент объемного или термического расширения.

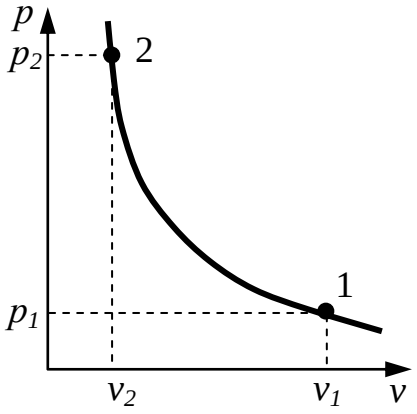


Рис. 1.1. Закон Бойля-Мариотта

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что объем данной массы газа при постоянном давлении пропорционален термодинамической температуре:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} \quad (p = \text{const}).$$

Эта зависимость приведена на рис. 1.2.

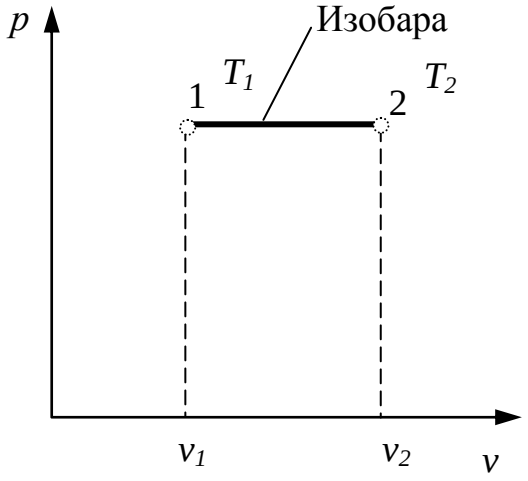


Рис. 1.2. Закон Гей-Люсака

Закон Шарля: если увеличить температуру некоторого постоянного количества идеального газа на 1 °С при неизменном объеме (v = const), то его давление возрастет на 1/273 часть первоначального, за которое принято давление газа при 0 °С.

Данный закон описывается выражением:

$$p = p_0(1+\alpha t),$$

где p_0 – давление газа при 0 °С.

На этом основании можно сделать вывод, что давление данной массы определенного газа при V = const пропорционально его термодинамической температуре:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} => p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1}.$$

Эта зависимость приведена на рис. 1.3.

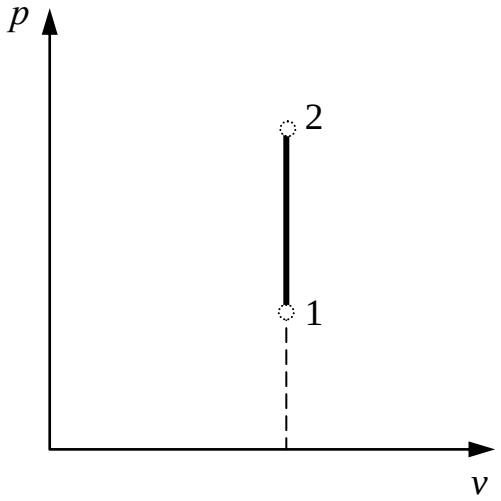


Рис. 1.3. Закон Шарля

Законы идеальных газов были получены учеными на основании изучения свойств реальных газов, так как разреженные реальные газы при температурах, далеких от температуры конденсации, близки по своим свойствам к идеальному газу.

1.4. Уравнение состояния идеального газа

Уравнение состояния – функциональная связь между параметрами состояния для равновесной термодинамической системы.

Выводится это уравнение с использованием уравнений Бойля-Мариотта и Гей-Люсака.

Рассмотрим произвольный термодинамический процесс, протекающий по линиям кривых *1-3* и *3-2* (рис. 1.4).

Для изобары *1-3* справедливо выражение:

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{T_1}{T_3} => v_3 = v_1 \frac{T_3}{T_1}. \qquad (1.1)$$

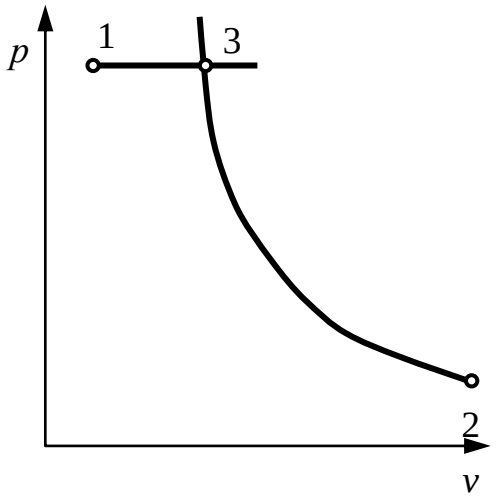


Рис. 1.4. К выводу основного уравнения состояния

Для изотермы *2-3*:

$$p_2 v_2 = p_3 v_3 \Rightarrow v_3 = p_2 \frac{v_2}{p_3}. \qquad (1.2)$$

Приравняем выражения (1.1) и (1.2):

$$\frac{v_1 T_3}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{p_3}.$$

Учитывая, что $p_3 = p_1$ (изобара) и $T_3 = T_2$ (изотерма), получим $\frac{v_1 T_2}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{p_1}$ и произведем перестановку:

$$\frac{v_1 p_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = \frac{p_i v_i}{T_i}$$

или $\frac{pv}{T} = \text{const}$, эту константу обозначают R – удельная газовая постоянная, которая зависит от природы вещества: $\frac{pv}{T} = R$ => => $pv = RT$ – **уравнение Клапейрона** (уравнение для 1 кг газа). Учитывая, что $V = vm$, то $pV = mRT$ – уравнение состояния для произвольного количества вещества.

Если записать уравнение состояния для 1 киломоля газа, для μ кг получится (если $m = \mu$ и $V = V_\mu$):

$$pV_\mu = \mu RT \text{ – } \textbf{уравнение Менделеева,}$$

где V_μ – объем 1 кмоль газа; μR – универсальная газовая постоянная.

Любое вещество состоит из частиц, поэтому количество вещества пропорционально числу частиц. Единица количества вещества – моль. Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же частиц, сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода. Киломолем является количество вещества, масса которого в кг численно равна его относительной молекулярной массе μ.

Отношение числа молекул N вещества к количеству вещества ν называется *постоянной Авогадро*.

Закон Авогадро – один из основных законов идеальных газов, согласно которому в равных объемах различных газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул. Число молекул в одном моле N_A называют числом Авогадро. Открыт закон Авогадро в 1811 году:

$$N_A = \frac{N}{\nu} = 6{,}022 \cdot 10^{23} \text{ [1/моль]}.$$

Число Авогадро показывает, сколько атомов или молекул содержится в одном моле вещества.

В соответствии с законом Авогадро, объемы киломолей идеальных газов при одинаковых p и T равны, т. е. содержат одинаковое количество молекул N. Следовательно, величина $\mu R = R_\mu = \frac{pV_\mu}{T}$ для 1 киломоля любого газа одинакова и носит название *универсальной газовой постоянной*.

Если подставить в это выражение величины для нормальных условий: $p_н$ = 760 мм. рт. ст. = 0,1013 МПа, V_μ = 22,4 м^3/кмоль, $T_н$ = 273 К, получим $R_\mu = \frac{0{,}1013 \cdot 10^6 \cdot 22{,}4}{273} = 8314$ Дж/кмоль·К (8,314 кДж/кмоль·К).

Физический смысл этой величины: работа, которую совершает 1 кмоль любого идеального газа при увеличении его температуры на 1° при p = const.

Газовая постоянная R любого газа определяется по формуле:

$$R = \frac{R_\mu}{\mu} = \frac{8314}{\mu} \text{ Дж/кг·К},$$

где μ – молекулярная масса газа, кг/кмоль.

Пример: $R_{O_2} = \frac{8314}{\mu_{O_2}} = \frac{8314}{32} = 260$ Дж/кг·К,

$$R_{\text{возд}} = \frac{8314}{\mu_{\text{возд}}} = \frac{8314}{29} = 287 \text{ Дж/кг·К.}$$

1.5. Уравнение состояния реальных газов

В реальных газах необходимо учитывать: силы межмолекулярных взаимодействий (отталкивания и притяжения); собственный объем молекул.

Влияние данных факторов приводит к увеличению давления:

$$p = \frac{RT}{v} \cdot \frac{v}{(v-b)} = \frac{RT}{v-b},$$

где $(v - b)$ – свободный для движения молекул объем; b – наименьший объем, до которого можно сжать газ.

Сила молекулярного притяжения частей газа пропорциональна произведению числа молекул в частях, т. е. квадрату плотности, поэтому пропорциональна квадрату удельного объема:

$$p_{\text{мол}} = \frac{a}{v^2},$$

где a – коэффициент пропорциональности, зависящий от природы газа.

В итоге получается уравнение состояния реальных газов, которое носит имя Ван-дер-Ваальса (1873):

$$p + \frac{a}{v^2} = \frac{RT}{v-b} \text{ или } \left(p + \frac{a}{v^2}\right) \cdot (v-b) = RT .$$

Данное уравнение учитывает химическую природу газа и собственный объем молекул.

1.6. Термодинамический процесс

Термодинамический процесс – изменение состояния термодинамической системы во времени.

Различают равновесные и неравновесные процессы.

Равновесный процесс – процесс, в котором все параметры системы при его протекании меняются достаточно медленно по сравнению с процессом релаксации.

Релаксация – процесс самопроизвольного возвращения системы в состояние равновесия с окружающей средой.

1.7. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия системы U включает в себя:

- кинетическую энергию поступательного, вращательного и колебательного движения частиц: $U_1 = f(T)$;
- потенциальную энергию взаимодействия частиц, зависящую от расстояния между молекулами, т. е. от $V \Rightarrow U_2 = f(V)$;
- энергию электронных оболочек атомов;
- внутриядерную энергию.

В большинстве теплоэнергетических процессов две последние составляющие остаются неизменными. Поэтому в дальнейшем под внутренней энергией будем понимать энергию U_1 и U_2.

Так как внутренняя энергия системы зависит от температуры и объема, то является функцией состояния тела: $U = f$ (состояния тела) $\Rightarrow U = f(V, p, T)$.

Для сложной системы внутренняя энергия определяется суммой энергий отдельных частей, т. е. обладает свойством аддитивности.

Величина $u = U/M$, называемая удельной внутренней энергией (Дж/кг), представляет собой внутреннюю энергию единицы массы вещества.

Поскольку внутренняя энергия есть функция состояния тела, то она может быть представлена в виде функции двух любых независимых параметров, определяющих это состояние. Ее изменение в термодинамическом процессе не зависит от характера процесса и определяется только начальным и конечным состояниями рабочего тела.

Внутренняя энергия идеального газа, в котором отсутствуют силы взаимодействия между молекулами, не зависит от объема газа или давления, поэтому для идеального газа $\boldsymbol{U_2 = 0}$ и определяется только температурой.

Для задач технической термодинамики важно не абсолютное значение внутренней энергии, а ее изменение в различных термодинамических процессах. Поэтому начало отсчета внутренней энергии может быть выбрано произвольно.

1.8. Работа расширения

Работа расширения – работа против сил внешнего давления при конечном изменении объема. Она определяется из выражения:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} pdV .$$

При расширении работа тела положительна, при этом тело само совершает работу.

При сжатии работа тела отрицательна: это означает, что не тело совершает работу, а на его сжатие затрачивается работа извне.

Единицей измерения работы в СИ является джоуль (Дж). Отнеся работу расширения к 1 кг массы рабочего тела, получим:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} pdv .$$

Величина l представляет собой удельную работу, совершаемую системой, содержащей 1 кг газа.

Поскольку в общем случае p – величина переменная, то интегрирование возможно лишь тогда, когда известен закон изменения давления.

Данные формулы справедливы только для равновесных процессов, при которых давление рабочего тела равно давлению окружающей среды.

В термодинамике для исследования равновесных процессов широко используют *p-v* диаграмму (рис. 1.5). Состояние термодинамической системы на *p-v* диаграмме изображается точкой. На диаграмме точка *1* соответствует начальному состоянию системы, точка *2* – конечному, а линия *1-2* – процессу расширения рабочего тела.

Работа процесса *1-2* изображается площадью, ограниченной кривой процесса, осью абсцисс и крайними ординатами. Работа изменения объема эквивалентна площади под кривой процесса в диаграмме *p-v*.

Работа зависит от характера термодинамического процесса, а не является функцией только исходного и конечного состояний системы.

Работа всегда связана с перемещением макроскопических тел в пространстве, поэтому она характеризует упорядоченную (макро-

физическую) форму передачи энергии от одного тела к другому и является мерой переданной энергии.

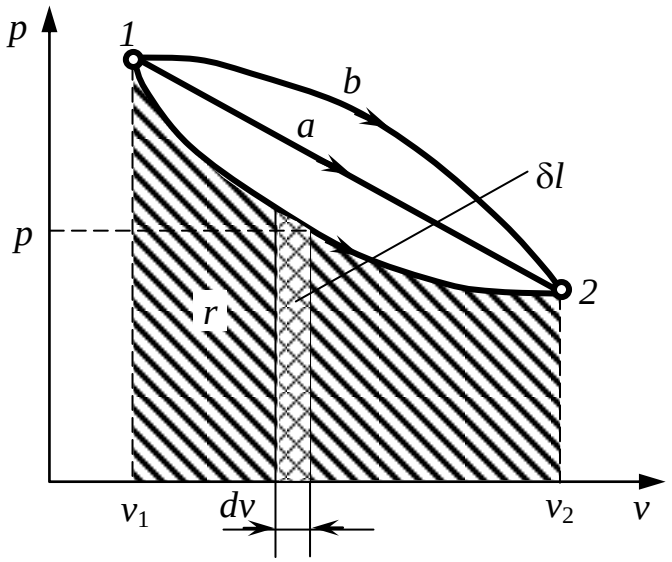


Рис. 1.5. Диаграмма *p-v*

Помимо макрофизической формы передачи энергии – работы – существует также и микрофизическая, т. е. осуществляемая на молекулярном уровне форма обмена энергией между системой и окружающей средой. В этом случае энергия может быть передана системе без совершения работы. Мерой количества энергии, переданной микрофизическим путем, служит теплота.

Способы передачи теплоты: соприкосновение (теплопроводность), конвекция и излучение. Процесс передачи теплоты – теплопередача («+*Q*» – теплота подводится, «–*Q*» – теплота отводится).

1.9. Первый закон термодинамики

Суть первого закона термодинамики заключается в том, что ***полная энергия изолированной термодинамической системы при любых происходящих в системе процессах остается неизменной:***

$$E = \text{const}.$$

Формулировка первого закона термодинамики: в термодинамическом процессе вся теплота, подводимая к телу *dq*, расходуется на изменение внутренней энергии *du* и на работу против внешних сил *dl:*

$$dq = du + dl.$$

Уравнение первого закона можно записать следующим образом:

$$dq = du + pdv.$$

Для процессов, протекающих между состояниями, характеризующимися изменениями параметров на конечные величины, уравнения первого закона термодинамики соответственно принимают вид:

$$q = \Delta u + l \quad \text{или} \quad Q = \Delta U + L.$$

Первый закон термодинамики является основополагающим в теплотехнике и используется для понимания сути происходящих тепловых процессов.

1.10. Теплоемкость

Теплоемкость тела – отношение количества теплоты δQ, полученного телом при бесконечно малом изменении его состояния, к связанному с этим изменению температуры тела *dT*, Дж/К:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}.$$

Теплоемкость относят к единице количества вещества и различают:

удельную массовую теплоемкость *c*, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

удельную объемную теплоемкость *c′*, $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$;

удельную мольную теплоемкость μc, $\frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$.

Зависимость между удельными теплоемкостями:

$$c = \frac{\mu c}{\mu};$$

$$c' = c\rho_{\text{н}},$$

где $\rho_{\text{н}}$ – плотность газа при нормальных условиях.

Теплоемкость является функцией процесса и обозначается:
при постоянном объеме: c_v,
при постоянном давлении: c_p,
при постоянном показателе политропы процесса *n*:

$$c_n = c_v \frac{n-k}{n-1}.$$

Для идеальных газов справедливо выражение Майера:

$$R = c_p - c_v.$$

Показатель адиабаты $k = \frac{c_p}{c_v}$.

Для реальных газов $c_p - c_v > R$, поскольку при их расширении совершается работа не только против внешних сил, но и против сил притяжения, действующих между молекулами, что вызывает дополнительный расход теплоты.

Числовое значение теплоемкости идеального газа позволяет найти классическая теория теплоемкости, основанная на теореме о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул. Согласно этой теореме, внутренняя энергия идеального газа прямо пропорциональна числу степеней свободы молекул и энергии $\frac{kT}{2}$, приходящейся на одну степень свободы. Для 1 моля газа

$$U_\mu = \frac{i}{2} N_0 kT = \frac{i}{2} \mu RT,$$

где N_0 – число Авогадро; i – число степеней свободы.

Молекула одноатомного газа имеет три степени свободы, молекула двухатомного газа имеет пять степеней свободы, молекула трех- и многоатомного газа – шесть степеней свободы.

Численное значение теплоемкости некоторых газов приведено в приложении (табл. I).

1.11. Энтальпия

Энтальпия – сумма внутренней энергии газа (U) и произведения давления газа на его объем (pV), Дж:

$$U + pV = I$$

или в удельных единицах, Дж/кг:

$$u + pv = i,$$

где u – внутренняя энергия данного тела, pv – работа, совершаемая 1 кг газа при вводе его в среду с давлением p.

Выражая:

$$u = i - pv$$

и дифференцируя:

$$du = di - pdv - vdp,$$

получаем:

$$dq = di - pdv - vdp + pdv,$$

откуда получается еще одна из форм уравнения первого закона термодинамики:

$$dq = di - vdp.$$

Данная форма уравнения имеет прикладное значение в процессах, протекающих при постоянном давлении.

1.12. Функции состояния и функции процесса

Из всех величин, характеризующих состояние тела или процесса, наибольшее значение имеют:

давление p, Н/м^2;

характеристика плотности, в качестве которой мы приняли удельный объем v, м^3/кг;

температура T, К или °С;

внутренняя энергия u, Дж/кг;

энтальпия i, Дж/кг;

теплота q, Дж/кг;

работа газа l, Дж/кг.

По основным своим свойствам все величины могут быть разделены на две группы.

К первой группе относятся p, v, T, u, i. Общим для этих параметров свойством является то, что они определяются только состоянием рабочего тела и никак не зависят от того, каким образом, т. е. в результате какого процесса тело пришло в данное состояние. На этом основании величины этой группы принято называть функциями состояния. Каждому состоянию на любой координатной плоскости, например p, v, соответствует некоторая вполне определенная точка (см. рис. 1.5).

Вторую группу составляют величины q и l. Они, в отличие от функций состояния, не имеют никакого смысла для характеристики состояния рабочего тела, а характеризуют процесс. Так как работа

и теплота представляют собой две возможные формы передачи энергии от одного тела к другому и их значение зависит от характера процесса, происходящего с этими телами, то их называют *функциями процессов.*

Рассмотрим свойства данных величин. Для общности обозначим через *z* любую из величин состояния. Например, *z* равна *T*, или внутренней энергии *u*, или энтальпии *i*.

На основании установленного свойства функции состояния можно заключить, что для любого процесса, протекающего между точками 1 и 2 (см. рис. 1.5), изменение *z*, т. е. величина $\Delta z = z_2 - z_1$, будет одно и то же. В том случае, когда процесс начинается и кончается в одной и той же точке: $\Delta z = z_2 - z_1 = 0$.

Используя символы, принятые в интегральном исчислении, данное выражение записывается в виде:

$$\oint dz = 0.$$

Это значит, что интеграл по замкнутому контуру от *dz* равен нулю.

Вторая группа величин (функции процесса) не подчиняется ни одному из свойств, установленных для функций состояния. При любом состоянии тела, соответствующем точке, определяемой данными значениями *p, v,* не существует величины теплоты *q* или работы *l*. Эти величины появляются только при переходе тела из одного состояния в другое; при этом они зависят от характера перехода, т. е. от процесса. Так, например, работа процесса, соответствующая площади фигуры под кривой *12* (см. рис. 1.5), определяется видом этой кривой: *1a2* или *1b2*. Такими же свойствами отличается и теплота. Для замкнутого процесса функция процесса не будет равна нулю и представится площадью, ограниченной кривой процесса.

1.13. Энтропия

Энтропия – функция состояния термодинамической системы, изменение которой в равновесном термодинамическом процессе равно отношению количества теплоты, сообщаемого системе или отведенного от нее к термодинамической температуре системы:

$$ds = \frac{\delta q}{T}.$$

Изменение энтропии идеального газа для какого-либо процесса определяется по выражениям:

$$\Delta s_{2-1} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \frac{v_2}{v_1};$$

$$\Delta s_{2-1} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \frac{p_2}{p_1};$$

$$\Delta s_{2-1} = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \frac{v_2}{v_1}.$$

В *T*-*s* диаграмме элементарная теплота процесса δq изображается элементарной площадкой с высотой *T* и основанием *ds*, а площадь, ограниченная линией процесса, – крайними ординатами и осью абсцисс, эквивалентна теплоте процесса (рис. 1.6).

При температурах, близких к абсолютному нулю, все известные вещества находятся в конденсированном состоянии. В. Нернст (1906) экспериментально установил, а М. Планк (1912) окончательно сформулировал следующий принцип: при температуре, стремящейся к абсолютному нулю, энтропия вещества, находящегося в конденсированном состоянии с упорядоченной кристаллической структурой, стремится к нулю, т. е. $s_0 = 0$ при $T = 0$ К. Этот закон называют третьим законом термодинамики, или тепловой теоремой Нернста. Он позволяет рассчитать абсолютное значение термодинамической температуры.

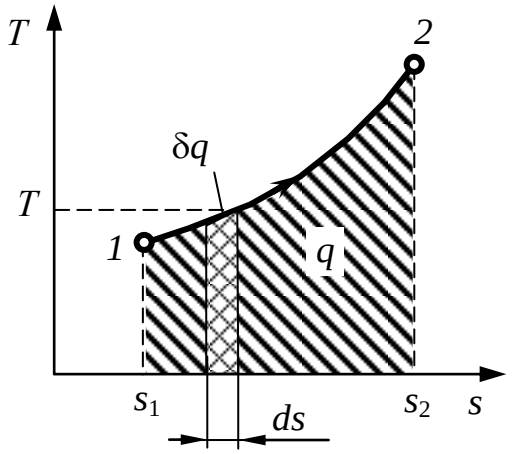


Рис. 1.6. Графическое изображение теплоты

Термодинамические процессы, в результате которых рабочее тело, проходя последовательно различные состояния, возвращается снова в первоначальное состояние, называются **замкнутыми процессами, или циклами.**

В координатах *p-v* и *T-s* такие процессы изображают замкнутыми контурами (рис. 1.7).

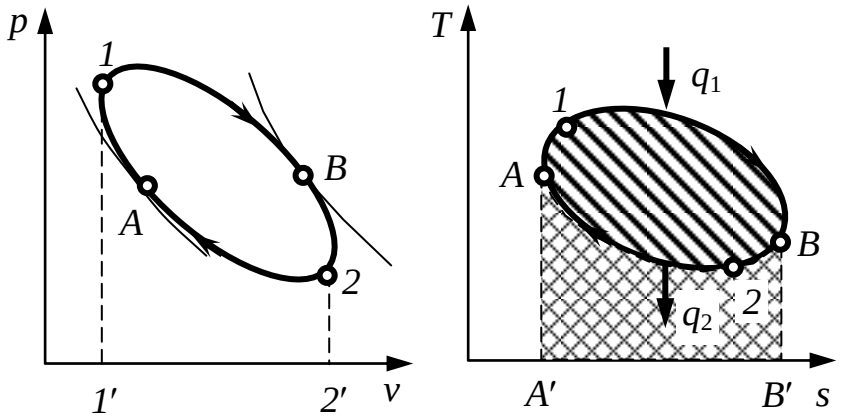


Рис. 1.7. Замкнутый круговой процесс, или цикл

Циклы осуществляются тепловыми двигателями (рис. 1.8, *а*). Работа двигателя происходит следующим образом. Расширяясь по линии *1B2* (см. рис. 1.7), рабочее тело совершает работу, равную площади *1B22′1′*. В непрерывно действующей тепловой машине этот процесс должен повторяться многократно. Для этого нужно уметь возвращать рабочее тело в исходное состояние. Такой переход можно осуществить в процессе *2B1*, но при этом потребуется совершить над рабочим телом ту же самую работу. Ясно, что это не имеет смысла, так как суммарная работа – работа цикла – окажется равной нулю.

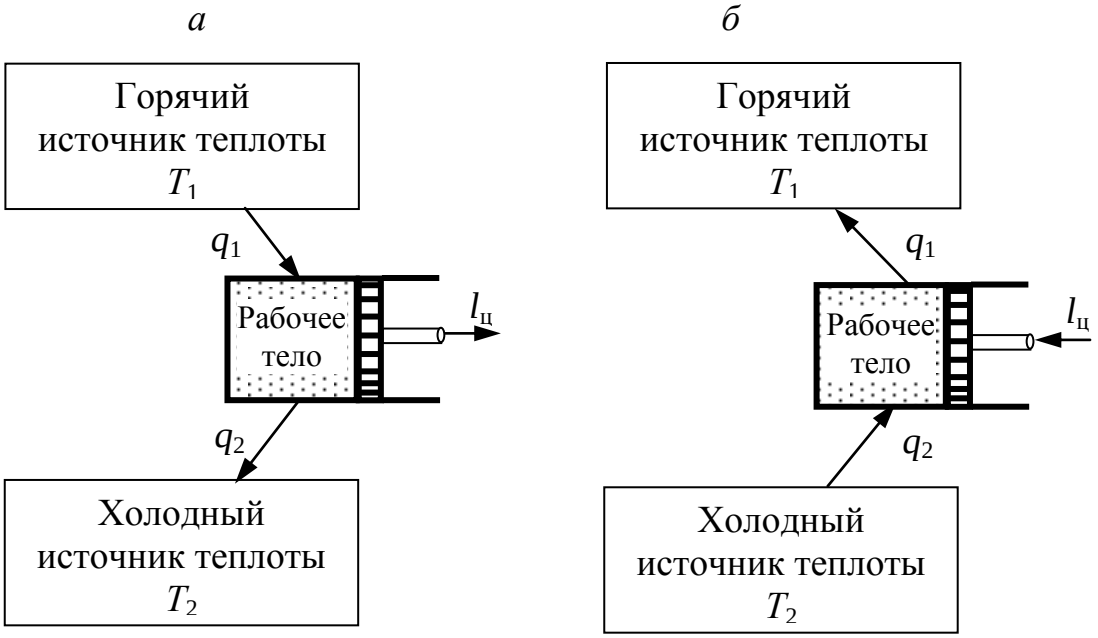


Рис. 1.8. Схема теплового двигателя (*а*) и термодинамическая схема холодильной машины (*б*)

Для того чтобы двигатель непрерывно производил механическую энергию, работа расширения должна быть больше работы сжатия. Поэтому кривая сжатия *2A1* должна лежать ниже кривой расширения. Затраченная в процессе *2A1* работа изображается площадью *2A11'2'*. В результате каждый килограмм рабочего тела совершает за цикл полезную работу $l_ц$, эквивалентную площади *1B2A1*, ограниченной контуром цикла. Цикл можно разбить на два участка: *A1B*, на котором происходит подвод теплоты q_1, и *B2A*, на котором происходит отвод теплоты q_2. В точках *A* и *B* нет ни подвода, ни отвода теплоты, и в этих точках поток теплоты меняет знак. Таким образом, для непрерывной работы двигателя необходим циклический процесс, в котором к рабочему телу от горячего источника подводится теплота q_1 и отводится от него к холодному теплота q_2. В *T-s* диаграмме теплота q_1 эквивалентна площади *A'A1BB'*, а q_2 – площади *A'A2BB'*.

Согласно первому закону термодинамики, $q_ц = l_ц$.

Прямой цикл – цикл, в котором работа расширения больше работы сжатия.

Обратный (холодильный) *цикл* – цикл, в котором работа расширения меньше работы сжатия. В этом случае теплота будет переходить от холодного источника к источнику с большей температурой (рис. 1.8, *б*). По такому циклу работают холодильные машины и тепловые насосы.

1.14. Содержание второго закона термодинамики и его формулировки

Всякий цикл протекает так, что в течение какой-то его части теплота подводится к рабочему телу, а в течение другой его части теплота отводится. Знак работы за цикл определяется только абсолютными величинами подводимого и отводимого количества теплоты: если подводимая к рабочему телу теплота по абсолютной величине больше отводимой, то работа за цикл положительна, отрицательной работа за цикл будет в том случае, когда абсолютная величина теплоты, отводимой от рабочего тела, больше подводимой.

Если считать, что замкнутые процессы (циклы) протекают в тепловых двигателях и машинах-орудиях или теплосиловых установках, то рассматриваемые выше положения приводят к следую-

щим формулировкам второго закона термодинамики:

- **«Теплота не может переходить от холодного тела к теплому даровым процессом (без затраты работы)»** (Клаузиус).
- **«Невозможно построить периодически действующую машину, которая не производит ничего другого, кроме работы и охлаждения источника теплоты»** (Планк).
- **«Осуществление Perpetuum mobile 2-го рода невозможно»** (Оствальд).
- **«Энергия изолированной системы постепенно деградирует»** (Томсон).
- **«Природа стремится от состояний маловероятных к состояниям более вероятным»** (Больцман).

С точки зрения первого закона термодинамики, не существует ограничений для превращения получаемой рабочим телом теплоты в работу. Этот закон требует, чтобы при таких превращениях соблюдалась эквивалентность теплоты и работы, т. е. чтобы не нарушался закон сохранения энергии. Но опыт показывает, что требований, предъявляемых первым законом термодинамики к процессам превращения теплоты в работу, в циклически работающих двигателях недостаточно.

Существуют ограничения для подобных превращений. Они определяются тем, что нельзя представить себе такой прямой цикл, который замыкался бы без отвода части теплоты, полученной рабочим телом, к источникам теплоты с температурой, более низкой (холодильникам), чем температура тех источников, от которых рабочее тело получало теплоту (источники теплоты).

Итак, для осуществления цикла необходимо, по крайней мере, иметь два источника теплоты, имеющих конечный перепад температур. Встречающиеся в природе доступные для практического использования естественные перепады температур между отдельными телами невелики и поэтому не могут быть эффективно использованы для получения работы.

Для практических целей приходится искусственно создавать системы с источниками, имеющими перепады температур, обеспечивающие эффективную работу двигателей (несколько сот градусов). Одним из источников теплоты в таких системах являются тела, окружающие нас (окружающая среда), имеющие практически постоянную температуру. Использование их в качестве источников

теплоты исключается, так как при этом пришлось бы искусственно охлаждать некоторые из тел, чтобы они могли служить холодильниками. В силу этих причин окружающие нас тела, такие как воздух и вода, используются только как холодильники. Источники теплоты создаются искусственно в результате сгорания топлива или ядерных реакций радиоактивных веществ.

Если бы удалось создать периодически действующий двигатель, работающий с одним источником теплоты постоянной температуры, то, используя в качестве такого источника окружающую атмосферу или воду морей и океанов, обладающих практически безграничными запасами энергии, этот двигатель в принципе мог бы работать сколь угодно длительное время, т. е. был бы теоретически вечным.

Однако создание подобного двигателя (perpetuum mobile) невозможно в силу второго закона термодинамики.

Поэтому одна из формулировок второго закона термодинамики предупреждает о невозможности построения такого двигателя. В отличие от «вечного» двигателя первого рода, создающего энергию из ничего, двигатель, действующий при наличии одного источника теплоты, называют *«вечным» двигателем второго рода.*

1.15. Эффективность термодинамических циклов

Термический коэффициент полезного действия цикла – отношение работы, производимой двигателем за цикл $l_ц$, к количеству теплоты, подведенной за этот цикл от горячего источника q_1:

$$\eta_t = \frac{l_ц}{q_1},$$

но так как $l = q_1 - q_2$,

то $$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

или $$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}.$$

Эффективность обратных циклов характеризуется величиной **холодильного коэффициента ε**, равного отношению теплоты, отводимой от охлаждаемого тела q_2, к затраченной для этого работе l:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l}.$$

Циклы, так же, как и разомкнутые термодинамические процессы, могут быть *обратимыми и необратимыми*. Для необратимости цикла достаточно, чтобы процесс протекал необратимо хотя бы на части цикла.

Цикл Карно – цикл, состоящий из двух изотерм и двух адиабат.

Осуществление прямого цикла Карно показано на рис. 1.9.

Для цикла Карно справедливо выражение:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

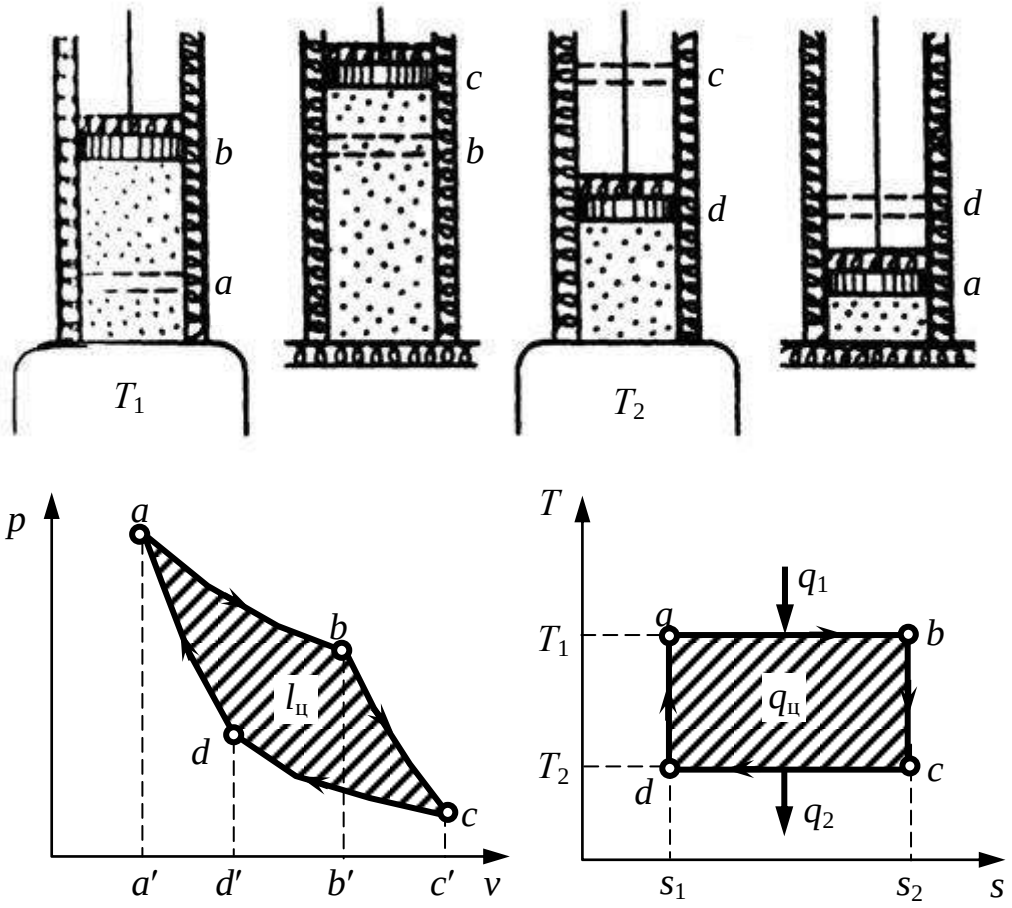


Рис. 1.9. Прямой цикл Карно

При одинаковых предельных температурах цикл Карно имеет более высокий термический КПД, чем любой другой цикл.

Обратный цикл Карно является идеальным циклом холодильных установок или тепловых насосов (рис. 1.10). Поскольку в об-

ратном цикле сжатие рабочего тела происходит при более высокой температуре, чем расширение, работа сжатия, совершаемая внешними силами, больше работы расширения на величину площади *abcd*, ограниченной контуром цикла.

Эта работа превращается в теплоту и вместе с теплотой q_2 передается верхнему источнику. При этом затрачивается работа $l_ц$ на перенесение теплоты от источника с низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для цикла Карно:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{(T_1 - T_2)}.$$

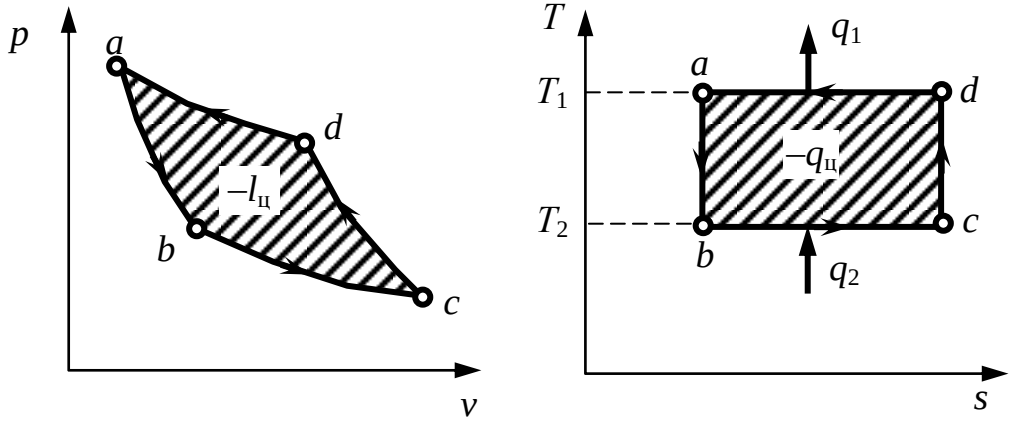


Рис. 1.10. Обратный цикл Карно

Холодильный коэффициент реальных холодильных машин всегда меньше теоретического.

1.16. Эксергия потока рабочего тела

Эксергия (от греч. *ex* – приставка, обозначающая здесь высокую степень, и *érgon* – работа), *работоспособность* – максимальная работа, которую может совершить система при обратимом процессе при переходе в состояние полного равновесия с окружающей средой с температурой T_0.

Работа, совершаемая системой в каком-либо термодинамическом процессе, оказывается максимальной лишь в том случае, если осуществляемый процесс – равновесный. Для неравновесных процессов характерна потеря работоспособности, обусловленная рассеиванием энергии в системе, которая определяется уравнением Гюи-Стодолы:

$$\Delta L = T_0 \Delta S_{\text{сист}},$$

где $\Delta S_{\text{сист}}$ – изменение энтропии изолированной системы.

Данное выражение позволяет определять эксергетические потери в теплообменных аппаратах и других теплоэнергетических устройствах, для которых характерно рассеивание тепловой энергии в окружающем пространстве.

1.17. Смеси идеальных газов

В практике чаще всего применяют в качестве рабочего тела не однородные (чистые газы), а механические смеси отдельных газов, например воздух, продукты сгорания топлива и др., которые во многих случаях можно рассматривать как идеальные газы.

Для газовых смесей справедливы следующие положения:

1. Каждый газ, входящий в смесь, имеет температуру, равную температуре смеси.

2. Любой из газов, входящих в смесь, распространяется по всему объему смеси, и поэтому объем любого газа равен объему смеси.

3. Каждый из газов, входящих в смесь, подчиняется своему уравнению состояния.

4. Смесь в целом является как бы новым газом и подчиняется своему уравнению состояния.

5. Число молей смеси равно сумме молей составляющих компонентов: $\nu_{\text{см}} = \nu_1 + \nu_2 \ldots + \nu_n$.

Составляющие смеси чистых веществ называются *компонентами*. Давление отдельного компонента смеси p_i на стенки сосуда называется *парциальным*.

Согласно закону Дальтона, абсолютное давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений ее компонентов, т. е.

$$p_{\text{см}} = p_1 + p_2 + \ldots + p_n = \sum_1^n p_i,$$

где $p_{\text{см}}$ – общее давление смеси газов; p_1, p_2, …, p_n – парциальные давления соответствующих компонентов смеси.

Парциальным называют давление p_i, которое имел газ, если бы он один при температуре смеси $T_{\text{см}}$ занял весь объем смеси $V_{\text{см}}$. Для каждого компонента смеси уравнение состояния следует записывать так:

$$p_i V_{\text{см}} = m_i R_i T_{\text{см}},$$

где m_i – масса i-й смеси; R_i – газовая постоянная i-й смеси.

Смеси задают массовыми, объемными и молярными долями компонентов.

Массовой долей компонента g_i называют отношение массы газа m_i, входящего в смесь, к массе всей смеси $m_{\text{см}}$, т. е.

$$g_1 = \frac{m_1}{m_{\text{см}}}; \quad g_2 = \frac{m_2}{m_{\text{см}}}; \quad \ldots; \quad g_n = \frac{m_n}{m_{\text{см}}}.$$

Объемной долей компонента r_i называют отношение парциального объема газа V_i, входящего в смесь, к объему всей смеси $V_{\text{см}}$, т. е.

$$r_1 = \frac{V_1}{V_{\text{см}}}; \quad r_2 = \frac{V_2}{V_{\text{см}}}; \quad \ldots; \quad r_n = \frac{V_n}{V_{\text{см}}}; \quad \ldots,$$

где V_1, V_2, …, V_n – парциальные объемы каждого газа, входящего в смесь, приведенные к давлению смеси.

Молярной долей компонента x_i называют отношение количества вещества каждого газа v_i к количеству вещества смеси газов $v_{\text{см}}$.

Молярную долю $v_i / v_{\text{см}}$ сводим к объемной:

$$v_i / v_{\text{см}} = V_i / V_{\text{см}} = r_i.$$

В табл. 1.1 даны основные формулы, применяемые при расчете газовых смесей.

1.18. Термодинамические процессы идеальных газов в закрытых системах

Основными процессами, весьма важными и в теоретическом, и в прикладном отношениях, являются: изохорный, протекающий при постоянном объеме; изобарный, протекающий при постоянном давлении; изотермический, происходящий при постоянной температуре; адиабатный – процесс, при котором отсутствует теплообмен с окружающей средой; и политропный, удовлетворяющий уравнению $pv^n = \text{const}$.

Метод исследования процессов, не зависящий от их особенностей и являющийся общим, состоит в следующем:

- выводится уравнение процесса, устанавливающее связь между начальными и конечными параметрами рабочего тела в данном процессе;
- вычисляется работа изменения объема газа;

Таблица 1.1

Формулы для расчета газовых смесей

Определяемые параметры	**Задание состава смеси**	
	массовыми долями g_i	**объемными долями r_i**
Перевод из одного состава в другой	$r_i = \dfrac{\dfrac{g_i}{\mu_i}}{\sum\limits_1^n \dfrac{g_i}{\mu_i}}$	$g_i = \dfrac{r_i\mu_i}{\sum\limits_1^n r_i\mu_i}$
Удельный объем смеси	$v_{см} = \sum\limits_1^n \dfrac{g_i}{\rho_i}$	$v_{см} = \dfrac{1}{\sum\limits_1^n r_i\rho_1}$
Плотность смеси	$\rho_{см} = \dfrac{1}{\sum\limits_1^n \dfrac{g_i}{\rho_i}}$	$\rho_{см} = \sum\limits_1^n r_i\rho_i$
Кажущаяся молекулярная масса смеси	$\mu_{см} = \dfrac{1}{\sum\limits_1^n \dfrac{g_i}{\mu_i}}$	$\mu_{см} = \sum\limits_1^n r_i\mu_i$
Газовая постоянная смеси	$R_{см} = \sum\limits_1^n g_i R_i$	$R_{см} = \dfrac{8{,}314}{\sum\limits_1^n r_i\mu_i}$
Парциальное давление	$p_i = g_i \dfrac{R_i}{R_{см}} p_{см}$	$p_i = r_i p_{см}$

− определяется количество теплоты, подведенной (или отведенной) к газу в процессе;

− определяется изменение внутренней энергии системы в процессе;

− определяется изменение энтропии системы в процессе.

1.19. Изохорный процесс

Уравнение процесса: v = const, связь между давлением и температурой:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

График процесса представлен на рис. 1.11.

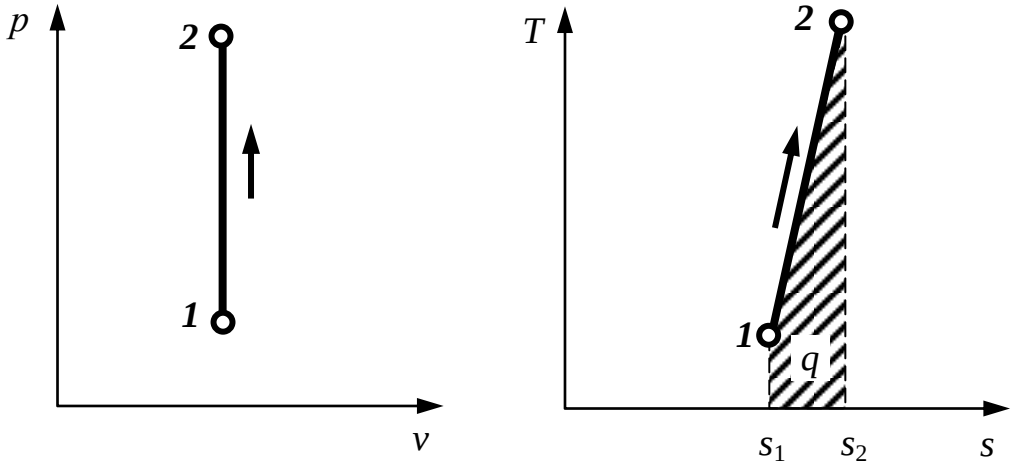


Рис. 1.11. Изохорный процесс

Работа расширения равна нулю.

Количество теплоты, подведенной к газу в данном процессе:

$$q = c_v(T_2 - T_1).$$

Изменение внутренней энергии системы в процессе:

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1).$$

Изменение энтропии:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta i = c_p (T_2 - T_1).$$

1.20. Изобарный процесс

Уравнение этого процесса имеет вид: p = const.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

График процесса представлен на рис. 1.12.

Работа расширения в данном процессе:

$$l = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1).$$

Количество теплоты, подведенной к газу в процессе:

$$q = c_p(T_2 - T_1).$$

Изменение внутренней энергии системы в процессе:

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1).$$

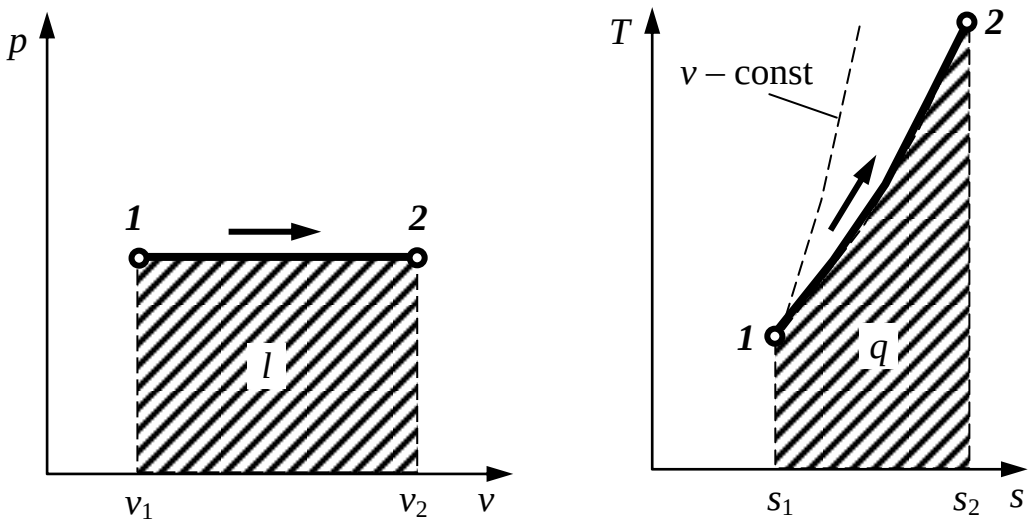


Рис. 1.12. Изобарный процесс

Изменение энтропии:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta i = c_p (T_2 - T_1).$$

1.21. Изотермический процесс

Уравнение этого процесса имеет вид: $pv = RT = \text{const}$ или

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

График процесса представлен на рис. 1.13.

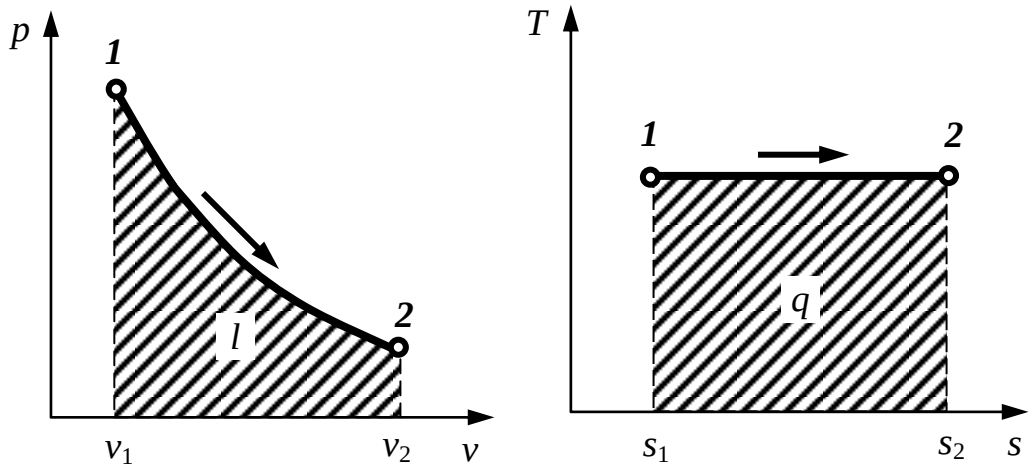


Рис. 1.13. Изотермический процесс

Работа расширения в данном процессе:

$$l = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

Количество теплоты, подведенной к газу в процессе:

$$q = l.$$

Изменение внутренней энергии системы в процессе:

$$\Delta u = 0.$$

Изменение энтропии:

$$s_2 - s_1 = R \ln \frac{v_2}{v_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta i = 0.$$

1.22. Адиабатный процесс

Уравнение этого процесса имеет вид: $pv^k = \text{const}$ или

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^k; \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}; \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

График процесса представлен на рис. 1.14.

Работа расширения в данном процессе:

$$l = -\Delta u = c_v(T_1 - T_2) = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{p_1 v_1}{k-1}\left(1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}\right).$$

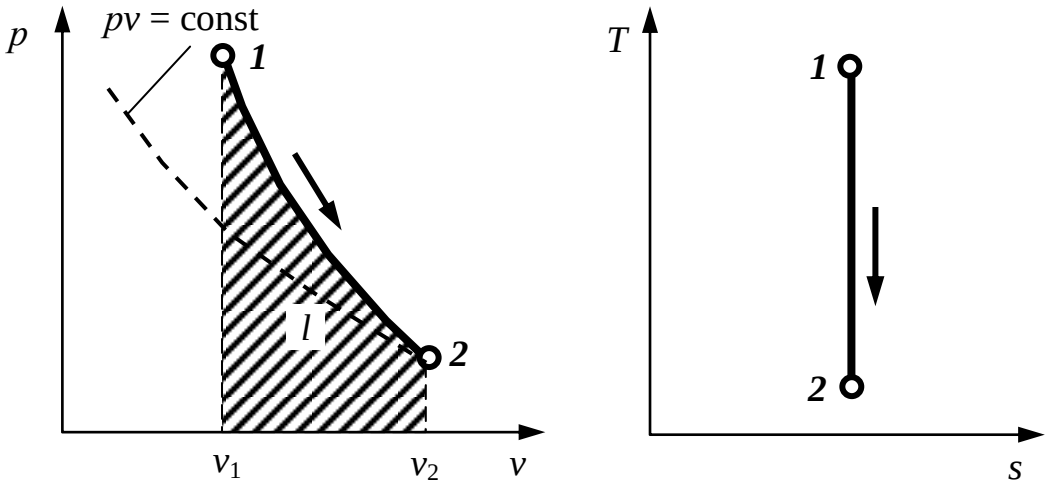


Рис. 1.14. Адиабатный процесс

Количество теплоты, подведенной к газу в процессе:

$$q = 0.$$

Изменение внутренней энергии системы в процессе:

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1).$$

Изменение энтропии:

$$s_2 - s_1 = 0.$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta i = c_p\,(T_2 - T_1).$$

1.23. Политропный процесс

Уравнение этого процесса имеет вид: $pv^n = \text{const}$ или

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}.$$

График процесса представлен на рис. 1.15.

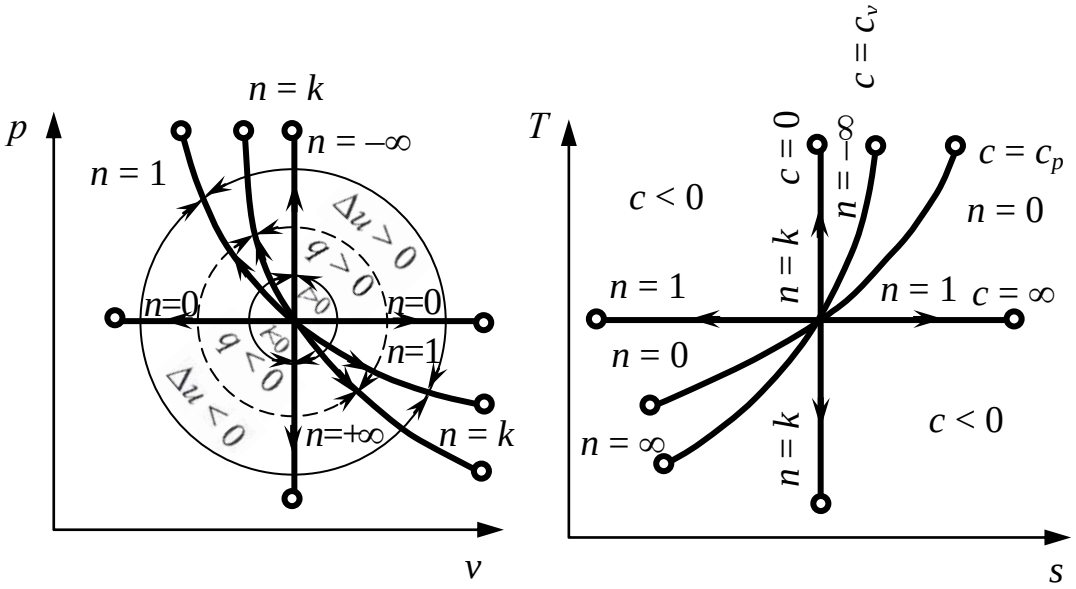


Рис. 1.15. Политропный процесс

Работа расширения в данном процессе:

$$l = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left(1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}\right).$$

Количество теплоты, подведенной к газу в процессе:

$$q = c_n(T_2 - T_1),$$

где $c_n = c_v \dfrac{k-n}{1-n}$ – теплоемкость газа в политропном процессе.

Изменение внутренней энергии системы в процессе:

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1).$$

Изменение энтропии: $\Delta s_{2-1} = c_v \ln \dfrac{T_2}{T_1} + R \dfrac{v_2}{v_1}$ или

$$\Delta s_{2-1} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \frac{p_2}{p_1} \text{ или}$$

$$\Delta s_{2-1} = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \frac{v_2}{v_1}.$$

Изменение энтальпии: $\Delta i = c_p (T_2 - T_1)$.

Все остальные процессы, рассмотренные выше, являются частными случаями политропного процесса (см. рис. 1.15).

1.24. Термодинамические процессы водяного пара

Водяной пар является основным рабочим телом в паровых турбинах, паровых машинах, атомных установках и др.

Водяной пар получают испарением и кипячением.

Испарение – процесс парообразования только с поверхности жидкости.

Кипение – парообразование во всей массе жидкости.

Кипение происходит при строго определенной, соответствующей данному роду жидкости температуре $t_н$ для данного давления p.

Температура кипения (насыщения) $t_н$ постоянна, пока жидкость вся не превратится в пар.

Процесс парообразования показан на рис. 1.16.

Насыщенный пар – пар, находящийся в термическом и динамическом равновесии с жидкостью, из которой он образуется.

Влажный пар – двухфазная смесь, представляющая собой пар со взвешенными в нем капельками жидкости.

Сухой пар – пар, в котором отсутствуют взвешенные частицы жидкой фазы.

Перегретый пар – пар, температура которого превышает температуру насыщенного пара того же давления.

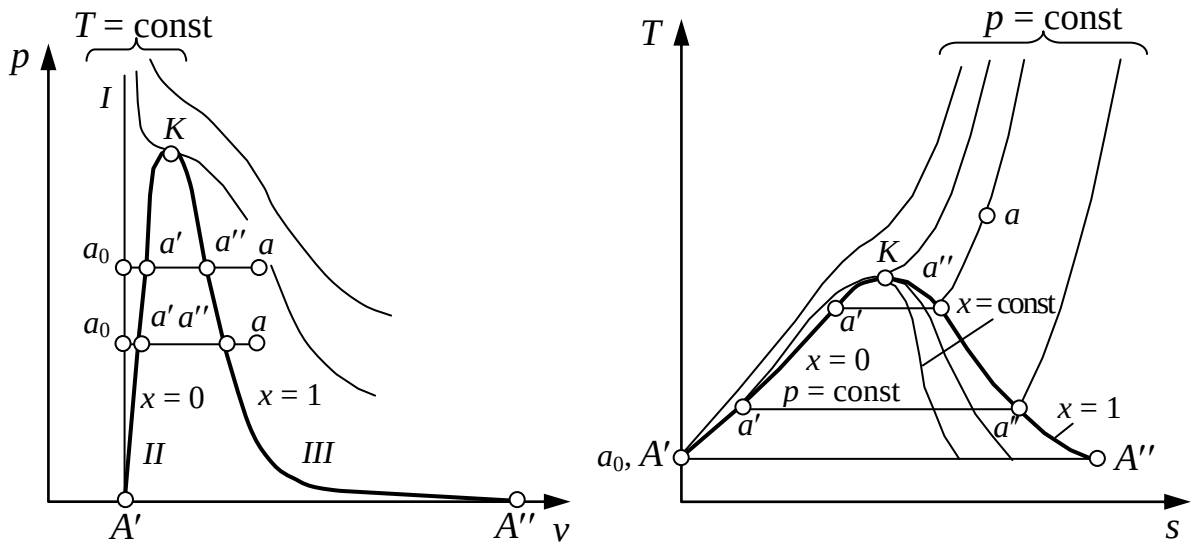


Рис. 1.16. Процесс парообразования:
a_0-a′ – нагрев воды от 0 °С до $t_н$; a′-a″ – парообразование при $t_н$ = const; a″-a – перегрев сухого насыщенного пара

Массовая доля сухого пара во влажном называется *степенью сухости пара* и обозначается буквой *x*. Массовая доля кипящей воды во влажном паре, равная (1 – *x*), называется *степенью влажности*. Для кипящей жидкости $x = 0$, а для сухого насыщенного пара $x = 1$.

K – критическая точка. В критической точке различия между жидкостью и паром исчезают.

Критическая температура – это максимально возможная температура сосуществования двух фаз: жидкости и насыщенного пара. При температурах, больших критической, возможно существование только одной фазы. Название этой фазы (жидкость или перегретый пар) в какой-то степени условно и определяется обычно ее температурой. Все газы являются сильно перегретыми парами. Чем выше температура перегрева (при данном давлении), тем ближе пар по своим свойствам к идеальному газу.

Наименьшим давлением, при котором еще возможно равновесие воды и насыщенного пара, является давление, соответствующее тройной точке. Под последней понимается то единственное состояние, в котором могут одновременно находиться в равновесии пар, вода и лед (точка *A′* на рис. 1.16). Процесс парообразования, происходящий при абсолютном давлении $p_0 = 611$ Па, показан на диаграмме изобарой *A′A″,* которая практически совпадает с осью абсцисс. При более низких давлениях пар может сосуще-

ствовать лишь в равновесии со льдом. Процесс образования пара непосредственно из льда называется *сублимацией*.

I – изотерма, каждая точка которой соответствует состоянию 1 кг воды при 0 °С и давлении *p*.

II – нижняя пограничная кривая, представляющая зависимость от давления удельного объема жидкости при температуре кипения.

III – верхняя пограничная кривая, дающая зависимость удельного объема сухого насыщенного пара от давления.

Все точки горизонталей между кривыми *II* и *III* соответствуют состояниям влажного насыщенного пара, точки кривой *II* определяют состояние кипящей воды, точки кривой *III* – состояния сухого насыщенного пара. Влево от кривой *II* до нулевой изотермы лежит область некипящей однофазной жидкости, вправо от кривой *III* – область перегретого пара. Таким образом, кривые *II* и *III* определяют область насыщенного пара, отделяя ее от области воды и перегретого пара, и поэтому называются пограничными.

Для водяного пара не существует простого и точного уравнения состояния. Термодинамические параметры кипящей воды и сухого насыщенного пара берутся из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара. В этих таблицах термодинамические величины со штрихом относятся к воде, нагретой до температуры кипения, а величины с двумя штрихами – к сухому насыщенному пару.

1.25. Влажный воздух

В сушильной технике в качестве рабочего тела широко используют влажный воздух, представляющий собой смесь сухого воздуха и водяного пара.

Содержание водяного пара в атмосферном воздухе зависит от метеорологических условий, а также от наличия источников испарения воды и колеблется в широких пределах: от малых долей до 4 % (по массе). Смесь сухого воздуха и насыщенного водяного пара называется *насыщенным влажным воздухом*. Смесь сухого воздуха и перегретого водяного пара называется *ненасыщенным влажным воздухом*. Температура, до которой необходимо охлаждать ненасыщенный влажный воздух, чтобы содержащийся в нем перегретый пар стал насыщенным, называется *температурой точки росы*. При дальнейшем охлаждении влажного воздуха (ниже температуры

точки росы) происходит конденсация водяного пара. Поэтому температуру точки росы часто используют как меру содержания в воздухе воды в парообразном состоянии.

Обычно к влажному воздуху применяют уравнения для идеальных газовых смесей. Так как в процессах сушки количество водяного пара в воздухе может меняться, а количество сухого воздуха остается постоянным, то целесообразно относить все величины к 1 кг сухого воздуха (а не смеси).

Масса пара в 1 м^3 влажного воздуха, численно равная плотности пара $\rho_п$ при парциальном давлении $p_п$, называется *абсолютной влажностью*. Отношение действительной абсолютной влажности воздуха $\rho_п$ к максимально возможной абсолютной влажности ρ_s при той же температуре называют *относительной влажностью* и обозначают через φ: $\varphi = \frac{\rho_п}{\rho_s} = \frac{p_п}{p_s}$, где $p_п$ – парциальное давление водяного пара во влажном воздухе; p_s – максимально возможное парциальное давление водяного пара при данной температуре.

Относительная влажность сама по себе полностью не характеризует содержание пара во влажном воздухе, нужно еще знать температуру влажного воздуха, однозначно определяющую величину p_s.

Отношение массы водяного пара $M_п$, содержащегося во влажном воздухе, к массе сухого воздуха $M_в$ называется влагосодержанием воздуха и измеряется в килограммах на килограмм: $d = \frac{M_п}{M_в}$.

1.26. Уравнение первого закона термодинамики для потока

Как указывалось выше, под открытыми понимаются термодинамические системы, которые кроме обмена теплотой и работой с окружающей средой допускают также и обмен массой. В технике широко используются процессы преобразования энергии в потоке, когда рабочее тело перемещается из области с одними параметрами p, v в область с другими p', v' – это, например, расширение пара в турбинах, сжатие газов в компрессорах.

Будем рассматривать лишь одномерные стационарные потоки, в которых параметры зависят только от одной координаты, совпа-

дающей с направлением вектора скорости, и не зависят от времени. Условие неразрывности течения в таких потоках заключается в одинаковости массового расхода m рабочего тела в любом сечении:

$$m = \frac{Fc}{v} = \text{const},$$

где F – площадь поперечного сечения канала; c – скорость рабочего тела.

Рассмотрим термодинамическую систему, представленную схематически на рис. 1.17. По трубопроводу *1* рабочее тело с параметрами T_1, p_1, v_1 подается со скоростью c_1 в тепломеханический агрегат *2* (двигатель, паровой котел, компрессор и т. д.). Здесь каждый килограмм рабочего тела в общем случае может получать от внешнего источника теплоту q и совершать техническую работу $l_{\text{тех}}$, например, приводя в движение ротор турбины, а затем удаляется через выхлопной патрубок *3* со скоростью c_2, имея параметры T_2, p_2, v_2.

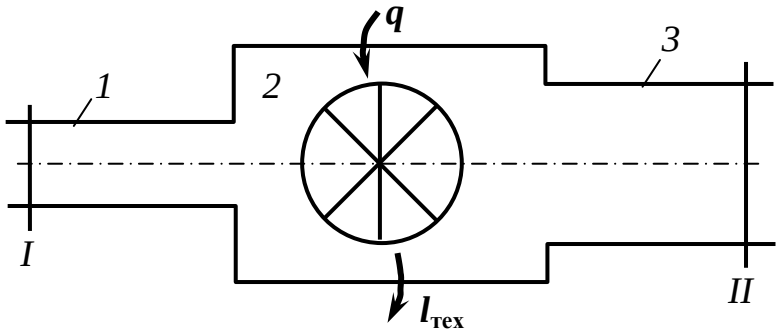


Рис. 1.17. Открытая термодинамическая система

Технической называется работа, отбираемая из потока за счет каких-либо технических устройств или подводимая к нему.

Если в потоке мысленно выделить замкнутый объем рабочего тела и наблюдать за изменением его параметров в процессе перемещения, то для описания его поведения будут пригодны все полученные выше термодинамические соотношения и, в частности, первый закон термодинамики в обычной записи: $q = \Delta u + l$.

Внутренняя энергия есть функция состояния рабочего тела, поэтому значение u_1 определяется параметрами рабочего тела при входе (сечение потока *I*), а значение u_2 – параметрами рабочего тела при выходе из агрегата (сечение *II*).

Изменение внутренней энергии в процессе: $\Delta u = u_2 - u_1$.

Работа расширения l совершается рабочим телом на поверхностях, ограничивающих выделенный движущийся объем, т. е. на стенках агрегата и границах, выделяющих этот объем в потоке. Часть стенок агрегата неподвижна, и работа расширения на них равна нулю. Другая часть стенок специально делается подвижной (рабочие лопатки в турбине и компрессоре, поршень в поршневой машине), и рабочее тело совершает на них техническую работу $l_{\text{тех}}$.

При входе рабочее тело вталкивается в агрегат. Для этого затрачивается работа вталкивания: $l_{\text{вт}} = -p_1 v_1$.

Для того чтобы выйти в трубопровод *3*, рабочее тело должно вытолкнуть из него такое же количество рабочего тела, ранее находившегося в нем, при этом затрачивается определенная работа выталкивания: $l_{\text{выт}} = p_2 v_2$.

Если скорость потока на выходе больше, чем на входе, то часть работы расширения будет затрачена на увеличение кинетической энергии рабочего тела в потоке:

$$l_{\text{к}} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}.$$

В неравновесном процессе некоторая работа $l_{\text{тр}}$ может быть затрачена на преодоление сил трения.

Окончательно:

$$l = l_{\text{вт}} + l_{\text{выт}} + l_{\text{тех}} + l_{\text{к}} + l_{\text{тр}}.$$

Теплота, сообщенная каждому килограмму рабочего тела во время прохождения его через агрегат, складывается из теплоты, подведенной снаружи, и теплоты, в которую переходит работа трения внутри агрегата:

$$q = q_{\text{внеш}} + q_{\text{тр}}.$$

Подставив полученные значения q и l в уравнение первого закона термодинамики, получим:

$$q_{\text{внеш}} + q_{\text{тр}} = u_2 - u_1 + p_2 v_2 - p_1 v_1 + l_{\text{тех}} + l_{\text{тр}} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}.$$

Учитывая, что $q_{\text{тр}} = l_{\text{тр}}$ и $i = u + pv$, то окончательно:

$$q_{\text{внеш}} = i_2 - i_1 + l_{\text{тех}} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}.$$

Это выражение первого закона термодинамики для потока, которое формулируется так: *теплота, подведенная к потоку рабочего тела извне, расходуется на увеличение энтальпии рабочего тела, производство технической работы и увеличение кинетической энергии потока.*

В дифференциальной форме данное уравнение записывается в виде:

$$dq_{\text{внеш}} = di + dl_{\text{тех}} + \frac{dc^2}{2}.$$

Оно справедливо как для равновесных процессов, так и для течений, сопровождающихся трением.

Рассмотрим применение первого закона термодинамики к различным типам тепломеханического оборудования.

Теплообменный аппарат (устройство, в котором теплота от жидкой или газообразной среды передается другой среде). Для него:

$$l_{\text{тех}} = 0; \quad \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} << q_{\text{внеш}},$$

поэтому

$$q_{\text{внеш}} = i_2 - i_1.$$

Тепловой двигатель. Рабочее тело производит техническую работу за счет уменьшения энтальпии:

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2} << l_{\text{тех}};$$

$$q_{\text{внеш}} = 0;$$

$$l_{\text{тех}} = i_1 - i_2.$$

Компрессор – машина, предназначенная для сжатия газа: техническая работа в адиабатном компрессоре затрачивается на увеличение энтальпии газа:

$$c_2 \approx c_1; \quad q_{\text{внеш}} = 0;$$

$$l_{\text{тех}} = i_1 - i_2.$$

Сопла и диффузоры. Специально спрофилированные каналы для разгона рабочей среды и придания потоку определенного направления называются *соплами*.

Каналы, предназначенные для торможения потока и повышения давления, называются *диффузорами*. Техническая работа в них не совершается, поэтому уравнение приводится к виду:

$$dq_{\text{внеш}} = di + d\left(\frac{c^2}{2}\right).$$

С учетом выражения первого закона термодинамики для закрытой системы можно записать:

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2} = i_1 - i_2 .$$

Ускорение адиабатного потока происходит за счет уменьшения энтальпии, а торможение потока вызывает ее увеличение.

1.27. Истечение газа из суживающегося сопла

Скорость истечения газа из сопла (м/с):

$$c_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right)}.$$

Массовый расход газа через сопло (кг/с):

$$m = F \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{v_1} \left(\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right)}. \qquad (1.3)$$

По уравнению (1.3) построена кривая *1K0* на рис. 1.18.

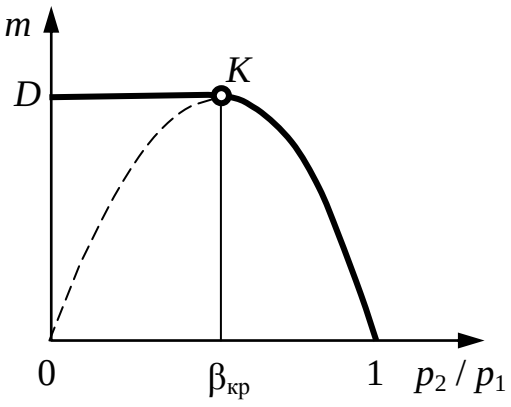


Рис. 1.18. Зависимость массового расхода газа через сопло

При $p_2 = p_1$ расход газа равен нулю. С уменьшением давления среды p_2 расход газа увеличивается и достигает максимального значения при $p_2 / p_1 = \beta_{кр}$. При дальнейшем уменьшении отношения

p_2 / p_1 массовый расход газа m, рассчитанный по формуле (1.3), убывает и при $p_2 / p_1 = 0$ становится равным нулю.

Сравнение описанной зависимости с экспериментальными данными показало, что для $\beta_{кр} < p_2 / p_1 < 1$ результаты полностью совпадают, а для $0 < p_2 / p_1 < \beta_{кр}$ они расходятся – действительный массовый расход на этом участке остается постоянным (прямая *KD*).

Для объяснения этого расхождения теории с экспериментом существует гипотеза А. Сен-Венана (1839): в суживающемся сопле невозможно получить давление газа ниже некоторого критического значения $\beta_{кр}$, соответствующего максимальному расходу газа через сопло. Как бы мы ни понижали давление среды, куда происходит истечение газа, давление на выходе из сопла остается постоянным и равным $p_{кр}$.

Отношение критического давления на выходе к давлению перед соплом имеет постоянное значение и зависит только от показателя адиабаты, т. е. от природы рабочего тела:

$$\beta_{кр} = \frac{p_{кр}}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Для одноатомных газов эта величина составляет 0,49, для двухатомных – 0,528 и для многоатомных – 0,546.

1.28. Дросселирование газов и паров

Дросселирование – процесс уменьшения давления без совершения внешней работы и без теплообмена при прохождении потока через сопротивления или препятствия (клапаны, вентили и т. п.).

Эффект Джоуля-Томпсона – изменение температуры при дросселировании потока.

Рассматривая уравнение Ван-дер-Ваальса (с. 15) в виде:

$$p = \frac{RT}{v} + \frac{RTb}{v^2} - \frac{2a}{v^2},$$

можно установить, что:

- при высокой температуре $\frac{RTb}{v^2} > \frac{2a}{v^2}$ и при расширении газ будет нагреваться;

- при низкой температуре $\frac{RTb}{v^2} < \frac{2a}{v^2}$ и при расширении газ будет охлаждаться;

- при температуре, равной температуре инверсии $T_{\text{инв}}$, $\frac{RTb}{v^2} = \frac{2a}{v^2}$ и при расширении температура газа изменяться не будет (точка инверсии).

$T_{\text{инв}} = 6{,}75\ T_{\text{кр}}$, где $T_{\text{кр}}$ – температура в критической точке, где сравниваются различия жидкого и газообразного состояния тела.

Пример:

$T_{\text{кр}}^{\text{H}_2} = 32$ K $\qquad T_{\text{инв}}^{\text{H}_2} = 216$ K (–57 °C);

$T_{\text{кр}}^{\text{He}} = 5$ K $\qquad T_{\text{инв}}^{\text{He}} = 34$ K (–239 °C).

Для обычных газов эффект Джоуля-Томпсона положителен и определяется по формуле Ноэля: $\alpha_i = (a - bp)\left(\frac{273}{T}\right)^2$, где α_i – эффект изменения температуры на каждую атмосферу давления.

1.29. Вихревые трубы

В основе работы вихревой трубы лежит эффект Ранка-Хилша (1933). Вихревая труба представляет собой газодинамическое устройство с тангенциальным входом газа (рис. 1.19).

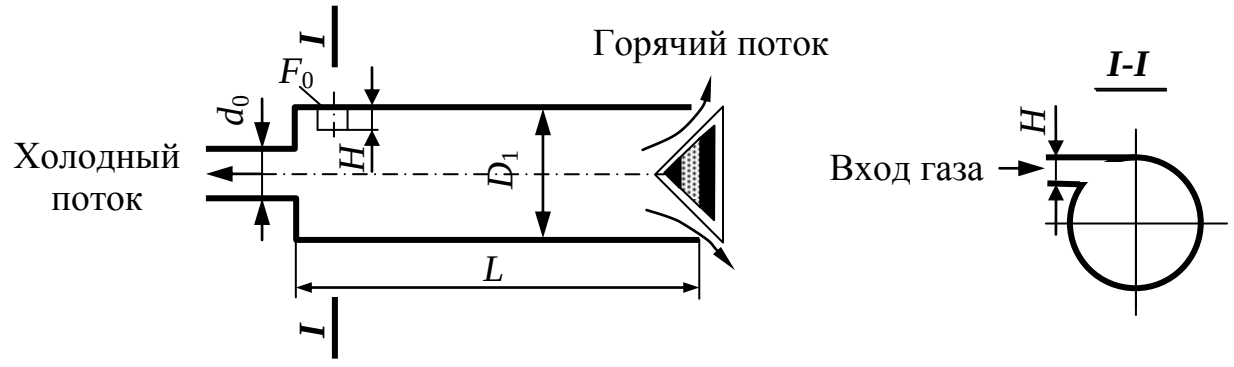


Рис. 1.19. Схема вихревой трубы

В закрученных потоках вязкого газа при наличии поперечного градиента скорости поверхности тока взаимодействуют между собой из-за наличия касательных сил вязкости. Работа, затраченная

на преодоление этих сил, преобразуется в тепло. При этом разные струйки могут обладать разными запасами полной энергии:

$$i' = c_p + \frac{v^2}{2}.$$

Наличие в потоке градиента температур предопределяет теплообмен между слоями газа. Однако большой вклад в перераспределение полной энергии принадлежит турбулентному механизму переноса.

Вихревая труба состоит из корпуса, выполненного в виде цилиндрической или диффузорной трубы с диаметром начального сечения d_0 и длиной L, тангенциально расположенных по отношению к корпусу вводных сопел с площадью проходного сечения F_0 и шириной H, диафрагмы с диаметром отверстия D_1, расположенной вблизи соплового входа, и конического регулировочного вентиля на противоположном от диафрагмы конце корпуса (см. рис. 1.19).

Интенсивность энергетического разделения газов в вихревой трубе обычно оценивают по зависимости величин избыточных температур газа ΔT_1 и ΔT_2 от доли охлажденного потока μ. При этом:

$$\Delta T_1 = T^t - T_1;$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T^t;$$

$$\mu = \frac{M_1}{M^t},$$

где T^t, T_1, T_2 – температура торможения на входе в вихревую трубу, на выходе из нее охлажденного и горячего потоков соответственно; M^t и M_1 – массовые расходы исходного и охлажденного потоков газа соответственно.

Типичные экспериментальные зависимости величин ΔT_1 и ΔT_2 от относительного расхода холодного потока μ приведены на рис. 1.20.

Эффект энергетического разделения газа неразрывно связан с перестройкой затухающего вихревого турбулентного движения и происходит в довольно протяженной области течения, простирающейся от соплового входа на расстояние от одного до нескольких десятков диаметров вихревой трубы. При большой длине области происходящие в ней явления не будут определяться детальной структурой потока на входе в вихревую трубу и должны зависеть от переменных, характеризующих течение в целом, т. е. от интеграль-

ных величин, таких как массовый расход поступающего в трубу газа, поток импульса в направлении оси трубы, поток энергии и массовый расход отбираемого через отверстие диафрагмы холодного газа. К этим интегральным характеристикам необходимо добавить характерный размер – диаметр трубы d_0.

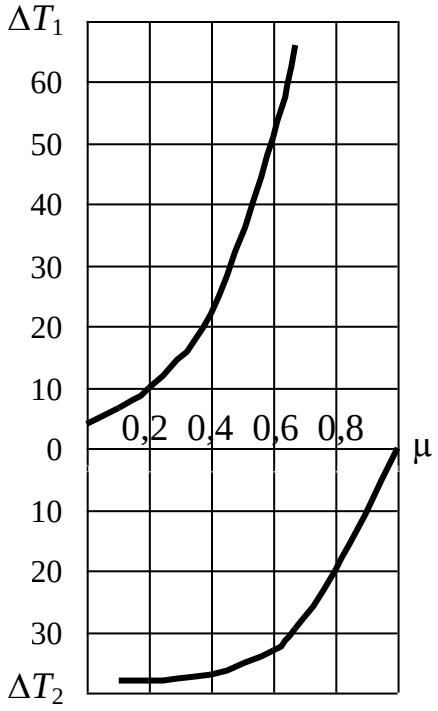


Рис. 1.20. Температура газа на выходе из вихревой трубы

Следует отметить, что поток газа в вихревой трубе является развитым турбулентным потоком. Можно предположить, что турбулентность, возбуждаемая струями, истекающими из вводных сопел вихревой трубы, имеет высокий уровень, превышающий во всей области энергетического разделения уровень турбулентности, порождаемый в пограничном слое на стенках трубы.

Рабочая величина давления на входе в вихревую трубу может меняться в широких пределах; по имеющимся данным, вихревая труба устойчиво работает при полном давлении на входе 0,5-0,7 МПа, известны эксперименты с пропусканием через вихревую трубу газа с давлением до 25 МПа. Температура теплого и холодного потоков зависит от начальной температуры газа на входе; рис. 1.20 дает представление о перепаде температур в потоках; этот перепад, как правило, сохраняется. Потери энергии в вихревой трубе связаны с трением высокоскоростного газового потока о стенки.

Таким образом, вихревая труба является весьма удобным инструментом для получения высокотемпературных (+60…+80 °С) и низкотемпературного (–20…–40 °С) газовых потоков, которые можно использовать для отопительных целей и холодильной техники.

В настоящее время вихревая техника широко внедрена в промышленность: вихревые управляющие клапаны в системах управления тягой ракетных двигателей, вихревые холодильники, вихревые системы очистки, осушки газа в газовой промышленности, вихревые системы газоподготовки для нужд пневмогазоавтоматики.

1.30. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Поршневым двигателем внутреннего сгорания (ДВС) называется тепловая машина, в рабочем цилиндре которой происходит сжигание топлива и преобразование теплоты в работу.

Принципиальная схема ДВС представлена на рис. 1.21. Основным элементом любого поршневого двигателя является цилиндр *4* с поршнем *5*, соединенным посредством кривошипно-шатунного механизма с внешним потребителем работы. Цилиндр (или блок цилиндров) монтируется на верхней части картера *1* и сверху закрыт крышкой, в которой установлены впускной *2* и выпускной *3* клапаны и электрическая свеча зажигания (в карбюраторном и газовом двигателях) или форсунка (в дизеле). В зарубашечном пространстве цилиндра и его головке циркулирует охлаждающая жидкость. В картере *1* монтируется коленчатый вал, кривошип *7* которого подвижно соединен с шатуном *6*. Верхняя головка шатуна сочленена с поршнем, который совершает прямолинейное возвратно-поступательное движение в цилиндре.

Крайние положения поршня называют *верхней мертвой точкой* (ВМТ) и *нижней мертвой точкой* (НМТ). Ход поршня от ВМТ до НМТ называют *тактом*. Объем, описываемый поршнем за один ход, является рабочим объемом цилиндра:

$$V_{\text{п}} = nD^2S / 4,$$

где D – диаметр цилиндра; S – ход поршня.

Сумму рабочих объемов всех цилиндров двигателя в литрах называют *литражом двигателя*.

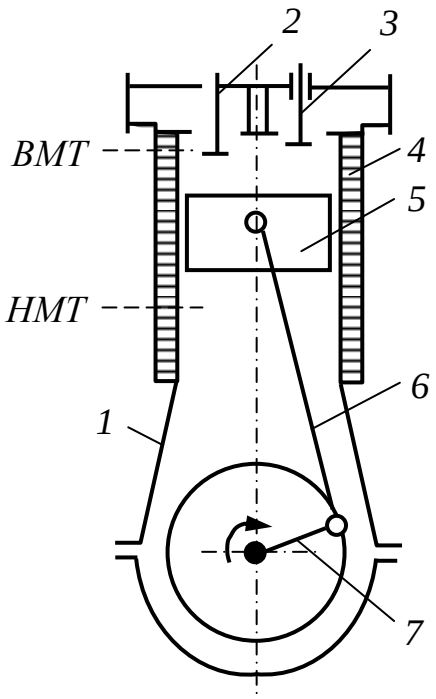


Рис. 1.21. Принципиальная схема поршневого двигателя внутреннего сгорания

Объем V_c над поршнем, находящимся в ВМТ, называют *объемом камеры сгорания*. Полный объем одного цилиндра $V_ц = V_п + V_c$; отношение $\varepsilon = V_ц / V_c$ – *степень сжатия*.

Анализ рабочего цикла в ДВС производят с помощью индикаторной диаграммы, на которой графически изображена зависимость давления в цилиндре от объема, занятого газом, или положения поршня.

Различают два типа поршневых ДВС – четырех- и двухтактные. У четырехтактного двигателя, индикаторная диаграмма которого изображена на рис. 1.22, *а*, отдельным процессам соответствуют: *0-1* – всасывание топливной смеси (1-й такт); *1-2* – сжатие смеси (2-й такт); *2-3* – сгорание; *3-4* – расширение продуктов сгорания, *4-5* – выхлоп (3-й такт); 5-*0* – выталкивание продуктов сгорания (4-й такт).

Из всех четырех тактов, составляющих цикл, только в третьем получается полезная работа, в остальных трех тактах работа затрачивается.

У двухтактного двигателя отдельным процессам соответствуют (рис. 1.22, *б*): *0-1* – продувка и введение новой порции смеси; *1-2* – сжатие (1-й такт); *2-3* – сгорание; *3-4* – расширение; *4-0* – выхлоп (2-й такт). В двухтактном двигателе очистку цилиндра от остаточ-

ных газов и наполнение его свежим зарядом выполняют продувочным воздухом через шлицы, открываемые поршнем.

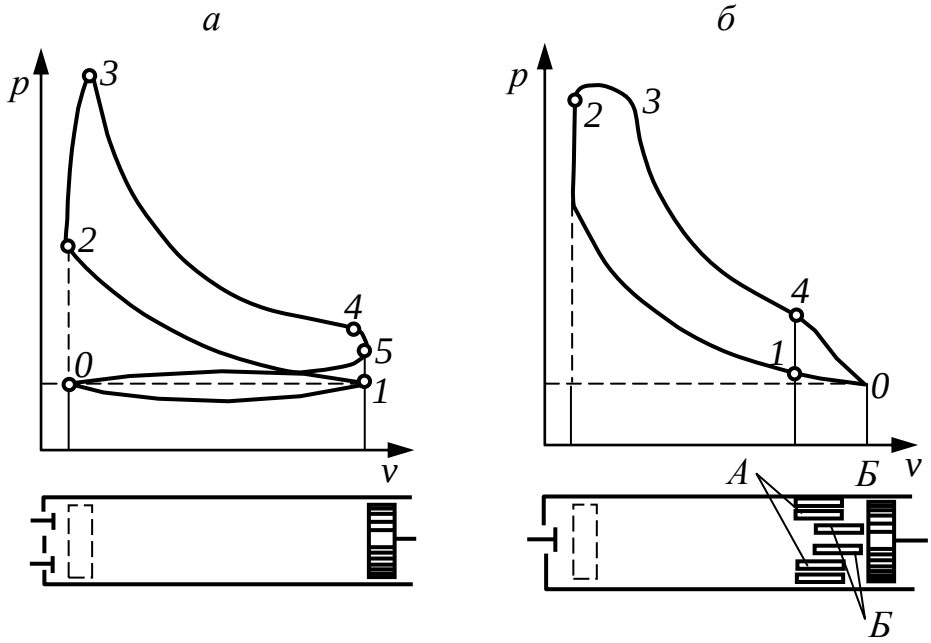


Рис. 1.22. Индикаторная диаграмма четырех- (*а*) и двухтактного (*б*) двигателей: *А – выпускное окно; Б – продувочное окно*

Двигатели с «мгновенным сгоранием» топлива (карбюраторные и газовые). Первый газовый двигатель был построен Отто (1876), а первый карбюраторный двигатель создан моряком русского флота О. С. Костовичем (1879). В цилиндр такого двигателя всасывается готовая горючая смесь, которая в нужный момент поджигается от внешнего источника (электрической искры высокого напряжения). Время сгорания готовой смеси очень мало, в связи с чем допустимо считать, что процесс сгорания осуществляется при (почти) постоянном объеме.

Теоретический КПД цикла с V = const зависит только от степени сжатия ε. Но предельные значения ε ограничены условиями самовоспламенения топливовоздушной смеси при сжатии. У современных бензиновых двигателей ε = 6-11, у газовых ε = 5-10. Расчеты показывают, что для ε = 10 термический КПД цикла составляет не более 0,61.

Двигатели со сгоранием топлива при постоянном давлении (компрессорные дизели). Создание такого двигателя связано с именем Р. Дизеля (1898). В цилиндре двигателя сжимается чистый воздух. В конце сжатия в цилиндр впрыскивается топливо, ко-

торое в процессе смешения с горячим воздухом воспламеняется и сгорает при p = const. Для распыла топлива, подаваемого в цилиндр, используют воздух, сжатый в компрессоре до давления, в 1,2-2 раза превышающего давление в цилиндре.

Такие двигатели имеют ряд конструктивных недостатков и в настоящее время не строятся.

Двигатели со смешанным сгоранием топлива (бескомпрессорные дизели). В цилиндре этого двигателя тоже сжимается чистый воздух, а жидкое топливо, сжатое насосом до давлений около 30-40 МПа, подается в форсунку, через которую оно в мелкораспыленном виде разбрызгивается в цилиндр в конце такта сжатия.

Топливо, попадая в воздух, нагретый в процессе сжатия до температуры, превышающей температуру воспламенения, сгорает по мере ввода его в цилиндр сначала (почти) при V = const, а затем при (почти) p = const. Наиболее целесообразным считается конструирование компрессорных дизелей со степенью сжатия ε = 13-18, так как дальнейшее повышение степени сжатия незначительно увеличивает КПД.

1.31. Теоретические процессы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Для исключения эксергетических потерь, за счет неравновесного теплообмена с горячим источником теплоты, целесообразно использовать в качестве рабочего тела газы, образующиеся при сгорании топлива. Это осуществляется в двигателе внутреннего сгорания, путем сжигания топлива непосредственно в его цилиндрах.

Теоретический цикл ДВС состоит из адиабатного сжатия *1-2* рабочего тела в цилиндре, изохорного *2-3* или изобарного *2-7* подвода теплоты, адиабатного расширения *3-4* или *7-4* и изохорного отвода теплоты *4-1* (рис. 1.23). В реальных двигателях подвод теплоты осуществляется путем сжигания топлива. Если пары бензина перемешаны с необходимым для горения воздухом до попадания в цилиндр, смесь сгорает в цилиндре практически мгновенно, подвод теплоты оказывается близким к изохорному. Если же в цилиндре сжимается только воздух и уже затем впрыскивается топливо, то его подачу можно отрегулировать таким образом, чтобы давление в

процессе сгорания оставалось приблизительно постоянным, и условно можно говорить об изобарном подводе теплоты.

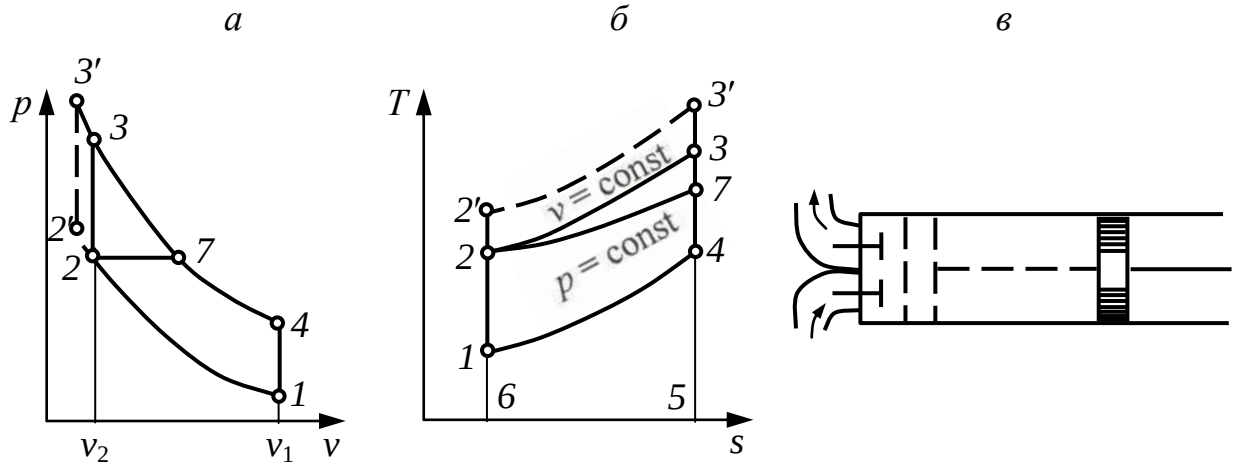


Рис. 1.23. Циклы ДВС:
а – в p-v координатах; б – в T-s координатах; в – схема цилиндра с поршнем

Чтобы не делать цилиндр двигателя очень длинным, а ход поршня слишком большим, расширение продуктов сгорания в ДВС осуществляют не до атмосферного давления p_1, а до более высокого давления p_4, а затем открывают выпускной клапан и выбрасывают горячие (с температурой T_4) продукты сгорания в атмосферу. Избыточное давление p_4-p_1 при этом теряется бесполезно. В идеальном цикле этот процесс заменяется изобарным отводом теплоты *4-1*.

Отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания называется *степенью сжатия двигателя* ε. Применительно к идеальному циклу (см. рис. 1.23): $\varepsilon = v_1 / v_2$.

Степень сжатия является основным параметром, определяющим термический КПД цикла. Рассмотрим два цикла с одинаковыми точками *1* и *4*, один из которых (*1′-2′-3′-4*) имеет бóльшую степень сжатия ε, чем другой (*1-2-3-4*). Бóльшему значению ε соответствует более высокая температура в конце сжатия *1-2*. Следовательно, изохора *2′-3′* расположена в *T-s*-диаграмме выше, чем изохора *2-3*. Из рис. 1.23, *б* видно, что количество теплоты q_1, подведенной в цикле *1-2′-3′-4*, больше, чем количество теплоты, подведенной в цикле *1-2-3-4*. Количество отведенной теплоты q_2 в обоих циклах одинаково. Следовательно, термический КПД больше в цикле *1-2′-3′-4*.

Термический КПД цикла двигателя внутреннего сгорания увеличивается с ростом степени сжатия ε.

На рис. 1.24 приведены кривые зависимости термического КПД цикла со сгоранием η_t при v = const от степени сжатия ε при различных показателях адиабаты.

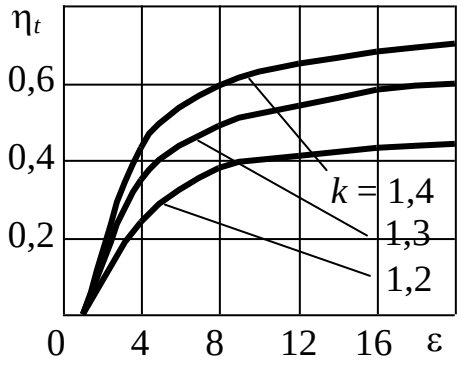


Рис. 1.24. Изменение КПД ДВС с подводом теплоты при v = const в зависимости от степени сжатия при различных значениях показателя адиабаты k

Используя в качестве рабочего тела неразбавленные продукты сгорания с максимальной эксергией, ДВС имеют самый высокий из всех тепловых машин КПД. Однако инерционные силы, связанные с возвратно-поступательным движением поршня, возрастают с увеличением как размеров цилиндра, так и частоты вращения вала, что затрудняет создание ДВС большой мощности. Большим их недостатком являются и высокие требования к качеству потребляемого топлива (жидкого или газа).

ДВС оказываются незаменимыми на транспортных установках (прежде всего автомобили, тепловозы и небольшие самолеты) и применяются в качестве небольших стационарных двигателей.

1.32. Цикл газотурбинной установки

В циклах ДВС рабочее тело выбрасывается из цилиндра с температурой и давлением, которые превышают соответствующие параметры окружающей среды. Поэтому циклам ДВС присущи потери эксергии из-за «недорасширения» газов до параметров окружающей среды. Их удается значительно сократить в циклах газотурбинных установок.

Принципиальная схема газотурбинной установки (ГТУ) представлена на рис. 1.25. Воздушный компрессор K сжимает атмосферный воздух, повышая его давление от p_1 до p_2, и непрерывно

подает его в камеру сгорания *КС*. Туда же специальным нагнетателем *Н* непрерывно подается необходимое количество жидкого или газообразного топлива. Образующиеся в камере продукты сгорания выходят из нее с температурой T_3 и практически с тем же давлением (если не учитывать сопротивления), что и на выходе из компрессора ($p_3 = p_2$). Следовательно, горение топлива (т. е. подвод теплоты) происходит при постоянном давлении.

В газовой турбине *Т* продукты сгорания адиабатно расширяются, в результате чего их температура снижается до T_4, а давление уменьшается до атмосферного p_1. Весь перепад давлений $p_3 - p_1$ используется для получения технической работы в турбине $l_{тех}$. Большая часть этой работы $l_к$ расходуется на привод компрессора; разность $l_{тех} - l_к$ является полезной и используется, например, на производство электроэнергии в электрическом генераторе *ЭГ* или на другие цели (при использовании жидкого топлива расход энергии на привод топливного насоса невелик, и в первом приближении его можно не учитывать).

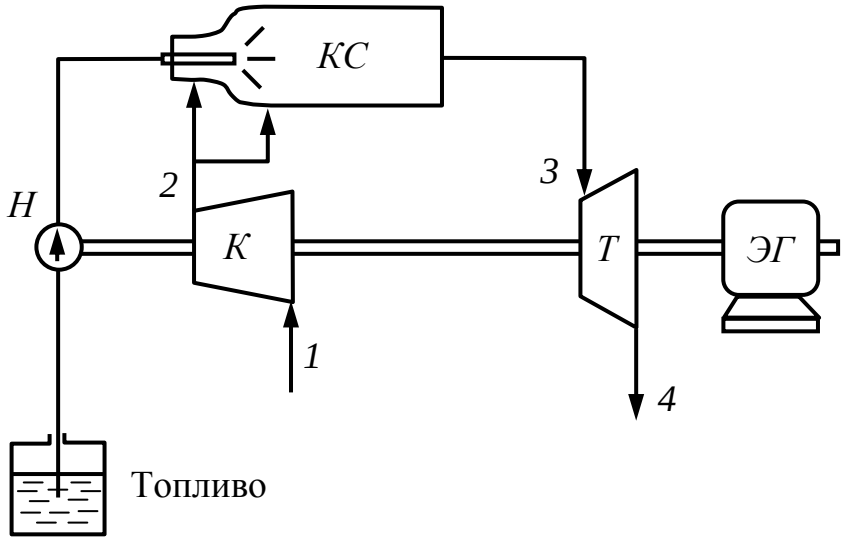


Рис. 1.25. Схема газотурбинной установки

Заменив сгорание топлива изобарным подводом теплоты (линия *2-3* на рис. 1.26), а охлаждение выброшенных в атмосферу продуктов сгорания – изобарным отводом теплоты (линия *4-1*), получим цикл газотурбинной установки *1-2-3-4*.

Полезная работа $l_ц$ изображается площадью, заключенной внутри контура цикла (площадь *1-2-3-4*). На рис. 1.26, *а* видно, что полезная работа равна разности между технической работой, полу-

ченной в турбине (площадь *6-3-4-5*), и технической работой, затраченной на привод компрессора (площадь *6-2-1-5*). Площадь цикла *1-2-3-4* в *T-s* диаграмме эквивалента этой же полезной работе (рис. 1.26, *б*). Теплота, превращенная в работу, получается как разность между количествами подведенной q_1 (площадь *8-2-3-7*) и отведенной q_2 (площадь *1-4-7-8*) теплоты.

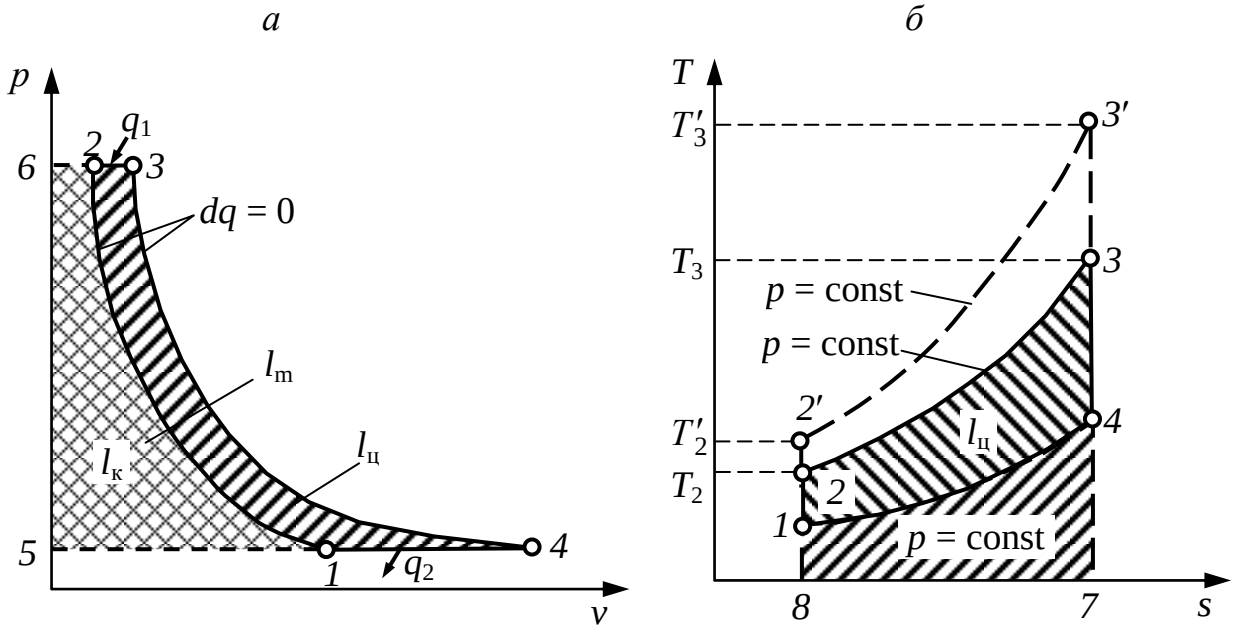


Рис. 1.26. Цикл газотурбинной установки:
а – в p-v координатах; б – в T-s координатах

Коэффициент полезного действия идеального цикла ГТУ:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}.$$

При этом теплоемкость c_p принята для простоты постоянной.

Одной из основных характеристик цикла газотурбинной установки является **степень повышения давления** в компрессоре π, равная отношению давления воздуха после компрессора к давлению перед ним.

Коэффициент полезного действия идеального цикла непрерывно возрастает с увеличением π. Это связано с увеличением температуры в конце процесса сжатия T_2 и соответственно температуры газов перед турбиной T_3. На рис. 1.26, *б* отчетливо видно, что цикл *1-2′-3′-4*, в котором π больше, экономичнее цикла *1-2-3-4*, ибо по линии *2′-3′* подводится больше теплоты q_1, чем по линии *2-3*, при том же количестве от-

веденной в процессе *4-1* теплоты q_2, т. е. уменьшаются потери эксергии при сгорании, поскольку эксергия исходного топлива постоянна (равна теплоте его сгорания). Это и увеличивает КПД цикла.

Максимальная температура газов перед турбиной ограничивается жаропрочностью металла, из которого делают ее элементы. Применение охлаждаемых лопаток из специальных материалов позволило повысить ее до 1400-1500 °С в авиации и до 1050-1090 °С – в стационарных турбинах, предназначенных для длительной работы.

КПД ГТУ оказывается пока еще ниже, чем ДВС, однако, не имея деталей с возвратно-поступательным движением, газовые турбины могут развивать значительно большие мощности, чем ДВС. Предельные мощности ГТУ сегодня составляют 100-200 МВт. Газовые турбины применяются в качестве мощных двигателей в авиации и на морском флоте, а также в маневренных стационарных энергетических установках.

1.33. Циклы паротурбинных установок

Современная стационарная теплоэнергетика базируется в основном на паровых теплосиловых установках. Продукты сгорания топлива в этих установках являются лишь промежуточным теплоносителем (в отличие от ДВС и ГТУ), а рабочим телом служит чаще всего водяной пар.

Циклы Карно и Ренкина насыщенного пара. Цикл Карно насыщенного пара можно осуществить следующим образом (рис. 1.27). Теплота от горячего источника подводится при постоянной температуре T_1 по линии *5-1*, в результате чего вода с параметрами точки *5* превращается в сухой насыщенный пар с параметрами точки *1*. Пар адиабатно расширяется в турбине до температуры T_2, совершая техническую работу $l_{\text{тех}}$ и превращаясь во влажный пар с параметрами точки *2*. Этот пар поступает в конденсатор, где отдает теплоту холодному источнику (циркулирующей по трубкам охлаждающей воде), в результате чего степень сухости пара уменьшается от x_2 до x_2'. Изотермы в области влажного пара являются одновременно и изобарами, поэтому процессы *5-1* и *2-2'* протекают при постоянных давлениях p_1 и p_2. Влажный пар с параметрами точки *2'* сжимается в компрессоре по линии *2'-5*, превращаясь в воду с температурой кипения. На практике этот цикл не осуществляется прежде всего потому,

что в реальном цикле вследствие потерь, связанных с неравновесностью протекающих в нем процессов, на привод компрессора затрачивалась бы большая часть мощности, вырабатываемой турбиной.

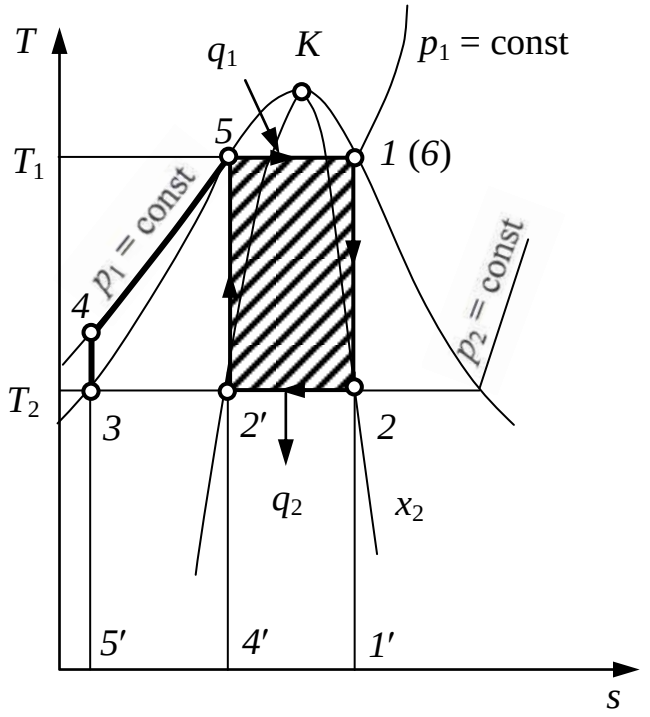


Рис. 1.27. Циклы Карно и Ренкина насыщенного водяного пара в *T*-s диаграмме

Значительно удобнее и экономичнее в реальном цикле конденсировать пар до конца по линии *2-3*, а затем насосом увеличивать давление воды от p_2 до p_1 по линии *3-4*. Поскольку вода несжимаема, точки *3* и *4* почти совпадают, и затрачиваемая на привод насоса мощность оказывается ничтожной по сравнению с мощностью турбины (несколько процентов), так что практически вся мощность турбины используется в качестве полезной. Такой цикл был предложен в 50-х годах прошлого века шотландским инженером и физиком Ренкиным и одновременно Клаузиусом. Схема теплосиловой установки, в которой осуществляется этот цикл, представлена на рис. 1.28 (на этой схеме показана также возможность перегрева пара в пароперегревателе *6-1*, которая в цикле насыщенного пара не реализуется).

Теплота в этом цикле подводится по линии *4-5-6* (см. рис. 1.28) в паровом котле *ПК*, пар поступает в турбину *Т* и расширяется там по линии *1-2* до давления p_2, совершая техническую работу $l_{\text{тех}}$. Она передается на электрический генератор *ЭГ* или другую машину,

которую вращает турбина. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор *К,* где конденсируется по линии *2-3,* отдавая теплоту конденсации холодному источнику (охлаждающей воде). Конденсат забирается насосом *Н* и подается снова в котел (линия *3-4* на рис. 1.27).

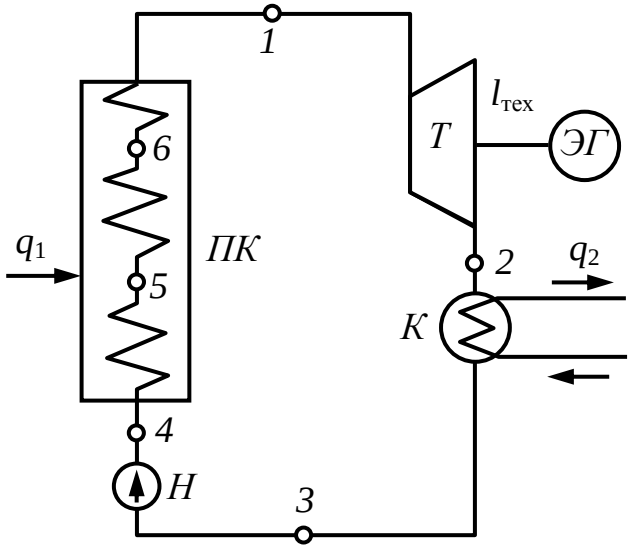


Рис. 1.28. Схема паросиловой установки:
ПК – паровой котел; Т – паровая турбина; ЭГ – электрогенератор; К – конденсатор; Н – насос

Термический КПД цикла Ренкина, естественно, меньше, чем η_t цикла Карно при тех же температурах T_1 и T_2, поскольку средняя температура подвода теплоты уменьшается при неизменной температуре отвода. Однако реальный цикл (с учетом неравновесности сжатия пара в компрессоре в цикле Карно) оказывается экономичнее.

К сожалению, цикл насыщенного водяного пара обладает весьма низким КПД из-за невысоких температур насыщения. Поэтому цикл насыщенного пара (регенеративный) применяется в основном в атомной энергетике, где перегрев пара выше температуры насыщения связан с определенными трудностями.

Между тем металлы, которыми располагает современное машиностроение, позволяют перегревать пар до 550-600 °С. Это дает возможность уменьшить потери эксергии при передаче теплоты от продуктов сгорания к рабочему телу и тем самым существенно увеличить эффективность цикла. Все без исключения тепловые электрические станции на органическом топливе работают сейчас на перегретом паре. Перегрев пара все шире применяется и на атомных электростанциях, особенно в реакторах на быстрых нейтронах.

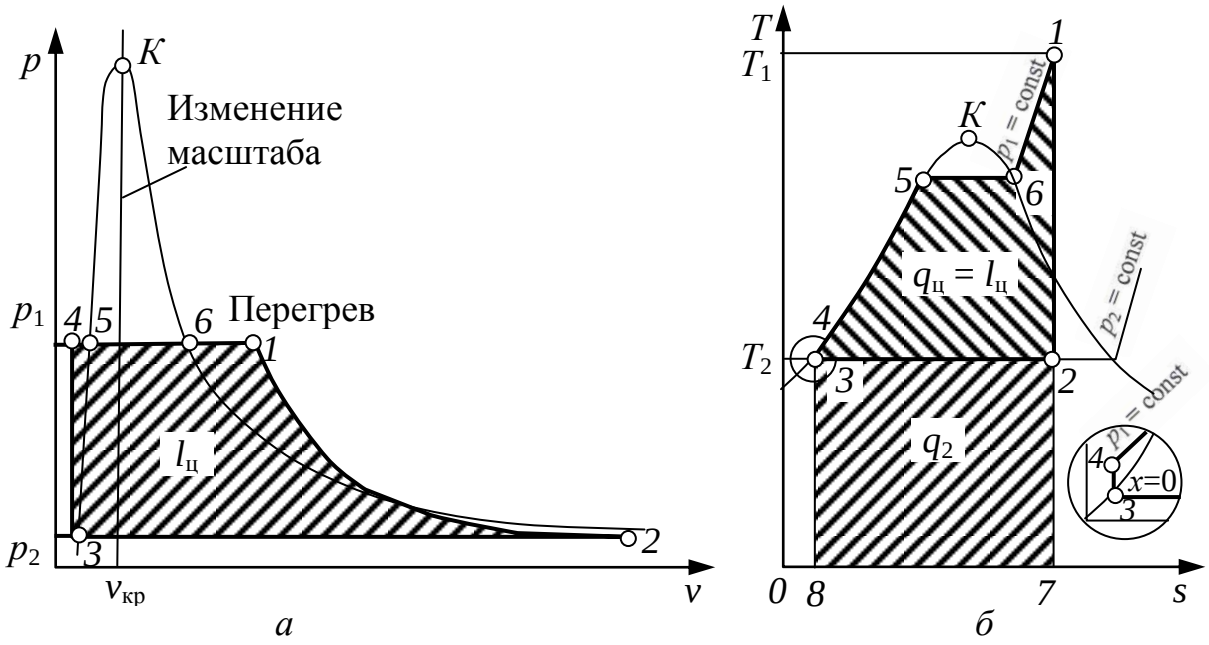


Рис. 1.29. Цикл Ренкина на перегретом паре:
а – в p-v диаграмме; б – в T-s диаграмме

Цикл Ренкина на перегретом паре. Изображения идеального цикла перегретого пара в *p-v* и *T-s* диаграммах приведены на рис. 1.29. Этот цикл отличается от цикла Ренкина на насыщенном паре (см. рис. 1.27) только наличием дополнительного перегрева по линии *6-1*. Он осуществляется в пароперегревателе, являющемся элементом парового котла.

1.34. Парогазовые циклы

В любом цикле вся теплота горячего источника q_1, не превращенная в работу $l_ц$, отдается холодному источнику q_2. В цикле газотурбинной установки (см. рис. 1.25, *б*) она фактически выбрасывается в атмосферу вместе с продуктами сгорания, имеющими достаточно высокую температуру (400 °С и выше). Теплота этих газов применяется для производства энергии в комбинированных установках.

Комбинированные установки, в которых одновременно используются два рабочих тела: газ и пар, называются **парогазовыми.** Простейшая схема парогазовой установки показана на рис. 1.30, а цикл ее – на рис. 1.31. Горячие газы, уходящие из газовой турбины после совершения в ней работы, охлаждаются в подогревателе *П,*

нагревая питательную воду, поступающую в паровой котел. В результате уменьшается расход теплоты (топлива) на получение пара в котле, что приводит к повышению эффективности комбинированного цикла по сравнению с этими же циклами, осуществляемыми раздельно.

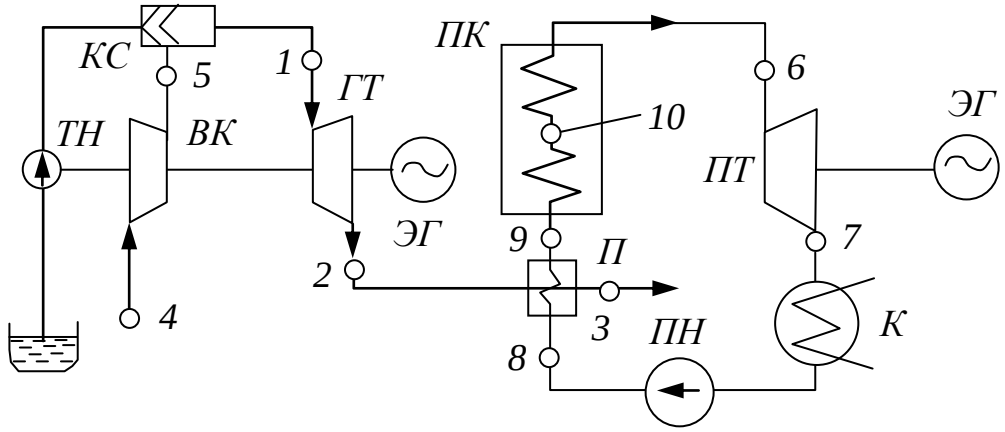


Рис. 1.30. Схема простейшей парогазовой установки:
ГТ – газовая турбина; ЭГ – электрогенератор; ПК – паровой котел; ПН – питательный насос; К – конденсатор; ПТ – паровая турбина; ВК – воздушный компрессор; КС – камера сгорания; ТН – топливный насос; П – подогреватель

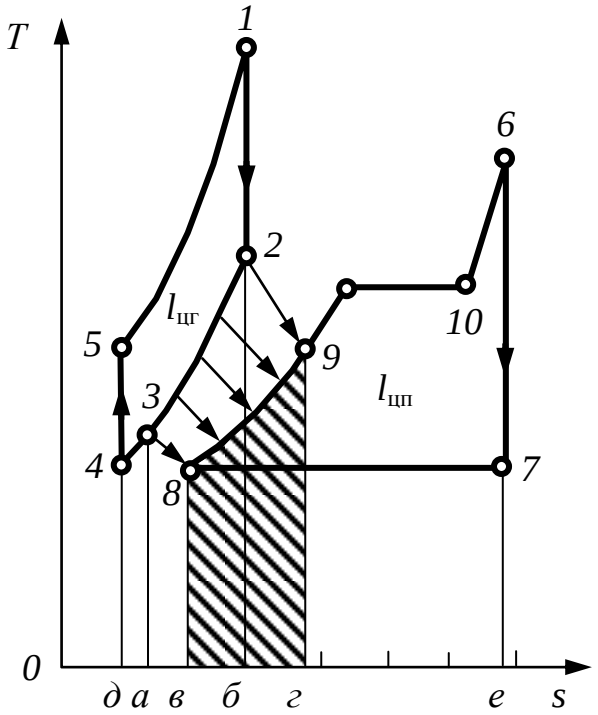


Рис. 1.31. Цикл парогазовой установки

Мощности и параметры газо- и паротурбинной установок выбираются таким образом, чтобы количество теплоты, отданной в подогревателе *П* газами, равнялось количеству теплоты, воспринятой пи-

тательной водой. Это определяет соотношение между расходами газа и воды через подогреватель *П.*

Цикл комбинированной установки (см. рис. 1.31) строится для 1 кг водяного пара и соответствующего количества газа, приходящегося на 1 кг воды.

В цикле газотурбинной установки подводится теплота, равная площади *1-б-д-5,* и получается полезная работа $l_{цг.}$, равная площади *1-2-3-4-5.* В цикле паротурбинной установки при его раздельном осуществлении количество подведенной теплоты равно площади *6-е-в-8-9-10,* а полезная работа $l_{цп}$ – площади *6-7-8-9-10.* Теплота отработавших в турбине газов, равная площади *2-б-д-4,* при раздельном осуществлении обоих циклов выбрасывается в атмосферу. В парогазовом цикле теплота, выделяющаяся при охлаждении газов по линии *2-3* и равная площади *2-б-а-3,* не выбрасывается в атмосферу, а используется на подогрев питательной воды по линии *8-9* в подогревателе *П* (см. рис. 1.31). Теплота, затрачиваемая на образование пара в котле, уменьшается на количество, равное заштрихованной площадке *9-г-в-8,* а эффективность комбинированного цикла увеличивается, поскольку суммарная полезная работа обоих циклов $l_{цг}+l_{цп}$ одинакова при совместном и раздельном их осуществлении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ 1

Контрольные вопросы

1. Назовите основные термодинамические параметры.
2. Напишите уравнение состояния (уравнение Клайперона–Менделеева) для идеального газа.
3. Чему равняется универсальная газовая постоянная и как вычисляется удельная газовая постоянная любого газа?
4. В чем заключается сущность первого закона термодинамики?
5. Что такое газовая смесь?
6. Как может быть задан состав смеси?
7. Как может быть произведен пересчет массового состава в объемный и объемного в массовый?
8. Что такое теплоемкость тела?
9. Назовите основные термодинамические процессы идеального газа.

10. Проанализируйте первый закон термодинамики применительно к изотермическому, изобарному, изохорному и адиабатическому процессам.

11. Представьте графически основные термодинамические процессы.

12. В чем заключается значимость второго закона термодинамики для тепловых двигателей и установок?

13. Что такое замкнутый процесс или цикл?

14. Чем отличается обратный цикл от прямого?

15. В чем заключается сущность второго закона термодинамики?

16. Как оценивается экономичность циклов?

17. Дайте определение термического КПД цикла.

18. Чему равняется холодильный коэффициент обратного цикла?

Требования к оформлению контрольных работ

При оформлении контрольных работ условия задач в контрольных работах переписываются полностью, без сокращений. Решения задач должны сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями с обязательным использованием рисунков, выполненных чертежными инструментами. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля и интервалы между задачами (не менее 5 см). В конце каждой контрольной работы необходимо указать, каким учебным пособием пользовался студент (название учебного пособия, автор, год издания).

Решение задач рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Ввести буквенные обозначения всех используемых физических величин.
2. Под рубрикой «Дано» кратко записать условие задачи с переводом значений всех величин в одну систему единиц – СИ.
3. Сделать (если это необходимо) чертеж, поясняющий содержание задачи и ход решения.
4. Сформулировать физические законы, на которых базируется решение задачи, и обосновать возможность их использования.
5. На основе сформулированных законов составить уравнение или систему уравнений, решая которую, можно найти искомые величины.
6. Решить уравнение и получить в общем виде расчетную формулу, в левой части которой стоит искомая величина, а в правой – величины, данные в условии задачи.
7. Проверить единицы измерения полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность.
8. Произвести вычисления. Для этого необходимо все значения величин в единицах СИ подставить в расчетную формулу и выполнить вычисления (с точностью не более 2-3 значащих цифр).
9. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 6340 надо записать $6{,}34 \cdot 10^3$.

Зачет по каждой контрольной работе принимается преподавателем в процессе собеседования по правильно решенной контрольной задаче.

Контрольная задача № 1

Определение характеристик газовой смеси

Газовая смесь задана следующим образом (табл. 1.2): в объемных долях, процентным составом компонентов смеси (графа 1); давление смеси $p_{см}$ =...[бар] (графа 2); объем смеси $v_{см}$ =...[м^3] (графа 3), температура смеси $t_{см}$ =...°С (графа 4).

Требуется определить:

- состав смеси в массовых долях;
- газовые постоянные компонентов R_i и смеси $R_{см}$;
- среднюю молярную массу смеси $\mu_{см}$ через объемные и массовые доли;
- парциальные давления компонентов через объемные и массовые доли;
- массу смеси $m_{см}$ и компонентов m_i;
- парциальные объемы компонентов V_i и общий объем газовой смеси $V_{см}$.

Контрольная задача № 2

Расчет теплоемкости газовой смеси

Газовая смесь задана следующим образом (см. табл. 1.2): в массовых долях, процентным составом компонентов смеси (графа 1); давление смеси $p_{см}$ =...[бар] (графа 2); объем смеси $v_{см}$ =...[м^3] (графа 3), температура смеси $t_{см}$ =...°С (графа 4).

Требуется определить количество подведенной теплоты при изобарном нагревании смеси до температуры t_5 =...°С (графа 5) и работу, совершаемую газом. Теплоемкость газов принимать в соответствии с Приложением (табл. I).

Таблица 1.2

Исходные данные к контрольным задачам № 1 и № 2

Номер варианта	(1)							(2)	(3)	(4)	(5)
	CO_2	H_2	CO	N_2	H_2O	SO_2	O_2				
1	10	-	2	80	-	-	8	1,0	3	277	1276
2	-	5	15	70	10	-	-	0,9	4	30	772
3	13	-	-	75	6	-	6	1,05	5	34	870
4	-	10	30	50	10	-	-	1,05	6	263	1151
5	5	30	10	55	-	-	-	0,85	7	279	1276
6	14	-	-	77	5	-	4	0,7	8	78	595
7	-	5	20	75	-	-	-	0,95	9	135	816
8	-	-	-	60	15	10	15	1,0	10	205	420
9	15	-	-	76	4	-	5	1,05	2	48	797

Окончание табл. 1.2

Номер варианта	(1)							(2)	(3)	(4)	(5)
	CO_2	H_2	CO	N_2	H_2O	SO_2	O_2				
10	20	-	10	-	15	-	55	1,15	3	238	891
11	16	-	-	76	4	-	4	1,2	4	100	1266
12	8	5	2	85	-	-	-	1,25	5	227	589
13	15	-	-	75	5	-	5	1,05	6	266	781
14	-	20	10	50	-	-	20	0,85	7	31	403
15	8	-	1	65	-	16	-	1,2	8	90	1076
16	-	15	-	45	15	-	25	1,0	9	232	512
17	14		-	76	6	-	4	0,9	10	138	1204
18	-	2	25	65	-	8	-	1,0	2	294	351
19	-	10	-	70	-	15	5	1,05	3	45	1095
20	10	-	-	75	5	-	10	1,05	4	68	772
21	-	5	10	80	-	-	5	1,0	5	281	430
22	17	-	-	74	5	-	4	0,95	6	0	506
23	10	10	20	60	-	-	-	0,9	7	91	367
24	-	2	28	55	-	15	-	0,85	8	126	653
25	15	-	-	47	7	-	31	1,0	9	277	1276

Контрольная задача № 3

Определение калорических параметров газа

Газ m (кг) расширяется в цилиндре, перемещая поршень от начального давления p_1 (Па) и температуры t_1 °С до конечного давления p_2 (Па). Определить изменение внутренней энергии, работу расширения и теплоту для адиабатного и политропного процессов. Данные принимать из таблицы 1.3.

Таблица 1.3

Исходные данные к контрольной задаче № 3

Номер варианта	Газ	m, кг	Показатель политропы, n	$p_1 \cdot 10^5$, Па	$p_2 \cdot 10^5$, Па	t_1, °С
1	O_2	8	1,2	20	2	459
2	H_2	10	1,3	24	4	590
3	N_2	12	1,1	28	6	500
4	CO	16	1,2	32	8	555
5	CO2	18	1,1	40	5	456
6	SO2	22	1,3	36	9	530
7	воздух	15	1,1	45	7	520

Окончание табл. 1.3

Номер варианта	Газ	m, кг	Показатель политропы, n	$p_1 \cdot 10^5$, Па	$p_2 \cdot 10^5$, Па	t_1, °С
8	CO	13	1,2	15	8	515
9	O_2	12	1,2	20	3	315
10	H_2	19	1,3	24	4	345
11	N_2	44	1,1	28	2	375
12	CO	6	1,2	32	4	385
13	CO_2	8	1,1	40	6	395
14	SO_2	4	1,3	36	8	415
15	воздух	15	1,1	45	5	443
16	CO	13	1,2	15	9	471
17	O_2	12	1,2	20	7	342
18	H_2	19	1,3	24	8	325
19	N_2	44	1,1	28	3	530
20	CO	6	1,2	32	4	520
21	CO_2	8	1,1	40	2	515
22	SO_2	4	1,3	36	4	315
23	воздух	8	1,1	45	6	345
24	CO	10	1,2	15	8	375
25	N_2	12	1,3	22	5	385

Контрольная задача № 4

Анализ термодинамического цикла

Проанализировать произвольный цикл, который состоит из четырех последовательно осуществляемых термодинамических процессов; рабочее тело – 1 кг сухого воздуха; принять теплоемкость C_p = 1,025 [кДж/(кг·К)], газовую постоянную R = 0,287 кДж/(кг·К). Условия задач приведены в табл. 1.4.

Требуется:

1) определить параметры p, v, T для основных точек цикла (точек пересечения процессов);

2) для каждого термодинамического процесса заданного цикла определить показатель политропы n, теплоемкость C, изменение внутренней энергии Δu, энтальпии Δi, энтропии Δs, количество теплоты q, работу l;

3) определить количество теплоты q_1, подведенное за цикл, и q_2, отведенное за цикл, работу цикла $l_ц$, термический КПД цикла η_t;

4) построить цикл в координатах: а) v-p ; б) s-T;

5) результаты расчета представить в форме табл. 1.5.

Таблица 1.4

Исходные данные к контрольной задаче № 4

Номер варианта	Заданные параметры в основных точках (p – в МПа, v – в м^3/кг, T – в К)				Тип процесса и показатель политропы			
					1-2	2-3	3-4	4-1
1	p_1=0,8	v_1=0,12	p_2=2,0	p_3=1,2	s=c	T=c	s=c	v=c
2	p_1=1,3	T_1=573	p_2=0,5	T_3=290	T=c	s=c	T=c	s=c
3	p_1=0,2	v_1=0,45	p_2=1,2	T_3=573	s=c	v=c	s=c	p=c
4	p_1=35	T_1=483	T_2=573	p_3=25	p=c	n=1,2	p=c	v=c
5	p_1=0,1	T_1=273	p_2=0,5	T_3=473	n=1,3	p=c	n=1,3	p=c
6	p_1=0,09	T_1=303	p_2=0,4	T_3=473	n=1,2	p=c	n=1,2	v=c
7	p_1=0,16	v_1=0,5	T_2=423	p_3=2,5	n=1,2	v=c	n=1,2	p=c
8	p_1=0,18	T_1=303	v_2=0,1	p_3=0,3	n=1,1	T=c	n=1,1	v=c
9	p_1=0,3	v_1=0,3	p_2=2,0	T_3=573	n=1,3	p=c	n=1,3	p=c
10	p_1=2,0	T_1=473	T_2=623	v_3=0,12	p=c	s=c	v=c	T=c
11	p_1=0,2	T_1=323	p_2=2,0	T_3=473	T=c	p=c	T=c	p=c
12	p_1=0,4	T_1=373	p_2=1,6	p_3=0,6	s=c	T=c	s=c	p=c
13	p_1=0,3	T_1=300	p_2=0,8	T_3=473	T=c	v=c	T=c	v=c
14	p_1=1,2	T_1=373	p_2=3,0	T_3=473	T=c	p=c	T=c	p=c
15	p_1=5,0	T_1=573	p_2=1,8	v_3=0,2	T=c	s=c	v=c	s=c
16	p_1=0,7	v_1=0,12	p_2=2,0	T_3=473	s=c	p=c	s=c	T=c
17	p_1=0,3	T_1=303	p_2=0,6	*T_3=523*	*s=c*	*v=c*	*s=c*	*T=c*
18	p_1=0,12	v_1=0,7	v_2=0,2	*T_3=423*	*T=c*	*p=c*	*T=c*	*p=c*
19	p_1=0,4	v_1=0,3	p_2=1,0	*T_3=573*	*T=c*	*p=c*	*s=c*	*p=c*
20	p_1=0,7	T_1=473	T_2=573	*v_3=0,4*	*p=c*	*T=c*	*v=c*	*s=c*
21	p_1=0,3	T_1=298	p_2=1,0	T_3=573	s=c	p=c	T=c	p=c
22	p_1=0,3	v_1=0,3	p_2=1,0	T_3=473	s=c	v=c	T=c	p=c
23	p_1=1,0	T_1=523	T_2=573	p_3=0,6	p=c	s=c	p=c	v=c
24	p_1=1,2	v_1=0,08	p_2=1,4	T_3=423	v=c	p=c	v=c	p=c
25	v_1=0,12	T_1=323	p_2=2,5	T_3=573	s=c	p=c	T=c	p=c

Таблица 1.5

Результаты расчетов

Процесс	n	c, кДж/(кг·К)	Δu, кДж/кг	Δi, кДж/кг	Δs, кДж/(кг·К)	q, кДж/кг	l, кДж/кг
1-2							
2-3							
3-4							
4-1							
Сумма							

Примеры решения задач

Пример 1

Газовая смесь имеет следующий объемный состав: углекислый газ CO_2 – 12 %, азот N_2 – 75 %, водяной пар H_2O – 8 %, кислород O_2 – 5 %. Известны основные термодинамические параметры смеси: объем 3 м^3, давление 1 бар, температура 100 °С.

Требуется определить:

- состав смеси в массовых долях;
- газовые постоянные компонентов R_i и смеси $R_{см}$;
- среднюю молярную массу смеси $\mu_{см}$ через объемные и массовые доли;
- парциальные давления компонентов через объемные и массовые доли;
- массу смеси $m_{см}$ и компонентов m_i;
- парциальные объемы компонентов V_i и общий объем газовой смеси $V_{см}$.

Решение

Исходя из заданного в процентах объемного состава, газовая смесь в объемных долях будет следующей:

углекислый газ CO_2 ..... $r_1 = 0{,}12$
азот N_2 ..... $r_2 = 0{,}75$
водяной пар H_2O ..... $r_3 = 0{,}08$
кислород O_2 ..... $r_4 = 0{,}05$
Всего: $\Sigma r_i = 1{,}00$

Состав смеси в массовых долях: $g_i = r_i\mu_i / \Sigma r_i\mu_i$, где μ_i – молекулярная масса компонентов, кг/моль:

углекислый газ CO_2 ..... $\mu_1 = 44$
азот N_2 ..... $\mu_2 = 28$
водяной пар H_2O ..... $\mu_3 = 18$
кислород O_2 ..... $\mu_4 = 32$

Тогда массовая доля компонентов, входящих в газовую смесь:

углекислый газ CO_2 – $g_1 = \dfrac{0{,}12 \cdot 44}{0{,}12 \cdot 44 + 0{,}75 \cdot 28 + 0{,}08 \cdot 18 + 0{,}05 \cdot 32} = 0{,}180$;

азот N_2 – $g_2 = \dfrac{0{,}75 \cdot 28}{29{,}32} = 0{,}716$;

водяной пар H_2O – $g_3 = \dfrac{0{,}08 \cdot 18}{29{,}32} = 0{,}049$;

кислород O_2 – $g_4 = \dfrac{0{,}05 \cdot 32}{29{,}32} = 0{,}055$.

Всего $\Sigma g_i = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 = 0{,}180 + 0{,}716 + 0{,}049 + 0{,}055 = 1{,}000$.

Газовые постоянные компонентов смеси, кДж/(кг·К):

$$R_i = \frac{8{,}314}{\mu_i}.$$

Углекислый газ CO_2 $\quad R_1 = \frac{8{,}314}{44} = 0{,}189;$

азот N_2 $\quad R_2 = \frac{8{,}314}{28} = 0{,}297;$

водяной пар H_2O $\quad R_3 = \frac{8{,}314}{18} = 0{,}462;$

кислород O_2 $\quad R_4 = \frac{8{,}314}{32} = 0{,}260.$

Газовая постоянная смеси:

$$R_{см} = \Sigma g_i R_i = 0{,}180 \cdot 0{,}189 + 0{,}716 \cdot 0{,}297 + 0{,}049 \cdot 0{,}462 + 0{,}055 \cdot 0{,}260 =$$
$$= 0{,}284 \text{ кДж / (кг·К)}.$$

Средняя молярная масса смеси через объемные доли:

$$\mu_{см} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}} = \frac{1}{\left(\frac{0{,}18}{44} + \frac{0{,}716}{28} + \frac{0{,}049}{18} + \frac{0{,}055}{32}\right)} = \frac{1}{0{,}03410} = 29{,}32 \text{ кг/кмоль}.$$

Парциальные давления компонентов смеси через объемные доли:

$$p_i = r_i p_{см}.$$

Углекислый газ CO_2 $\quad p_1 = 0{,}12 \cdot 1{,}0 = 0{,}12$ бар;

азот N_2 $\quad p_2 = 0{,}75 \cdot 1{,}0 = 0{,}75$ бар;

водяной пар H_2O $\quad p_3 = 0{,}08 \cdot 1{,}0 = 0{,}08$ бар;

кислород O_2 $\quad p_4 = 0{,}05 \cdot 1{,}0 = 0{,}05$ бар.

Парциальные давления компонентов смеси через массовые доли:

$$p_i = \frac{p_{см} \cdot g_i \cdot R_i}{R_{см}}.$$

Углекислый газ CO_2 $\quad p_1 = \frac{1{,}0 \cdot 0{,}18 \cdot 0{,}189}{0{,}284} = 0{,}12$ бар;

азот N_2 $\quad p_2 = \frac{1{,}0 \cdot 0{,}716 \cdot 0{,}297}{0{,}284} = 0{,}75$ бар;

водяной пар H_2O $\quad p_3 = \frac{1{,}0 \cdot 0{,}049 \cdot 0{,}462}{0{,}284} = 0{,}08$ бар;

кислород O_2 $\quad p_4 = \frac{1{,}0 \cdot 0{,}055 \cdot 0{,}260}{0{,}284} = 0{,}05$ бар.

Масса газовой смеси:

$$m_{см} = \frac{p_{см} v_{см}}{R_{см} T_{см}} = \frac{1{,}0 \cdot 10^5 \cdot 3}{0{,}284 \cdot 10^3 \cdot 373} = 2{,}83 \text{ кг}.$$

Массы компонентов газовой смеси:

$$m_i = m_{см} g_i.$$

Углекислый газ CO_2 $m_1 = 2{,}83 \cdot 0{,}180 = 0{,}509$ кг;
азот N_2 $m_2 = 2{,}83 \cdot 0{,}716 = 2{,}026$ кг;
водяной пар H_2O $m_3 = 2{,}83 \cdot 0{,}049 = 0{,}139$ кг;
кислород O_2 $m_4 = 2{,}83 \cdot 0{,}055 = 0{,}156$ кг.

Отсюда масса газовой смеси:

$$m_{см} = \Sigma m_i = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 0{,}509 + 2{,}026 + 0{,}139 + 0{,}156 = 2{,}83 \text{ кг}.$$

Парциальные объемы компонентов газовой смеси:

$$v_i = r_i v_{см}.$$

Углекислый газ CO_2 – $v_1 = 0{,}12 \cdot 3 = 0{,}36$ м^3;
азот N_2 – $v_2 = 0{,}75 \cdot 3 = 2{,}25$ м^3;
водяной пар H_2O – $v_3 = 0{,}08 \cdot 3 = 0{,}24$ м^3;
кислород O_2 – $v_4 = 0{,}05 \cdot 0{,}055 = 0{,}156$ м^3.

Отсюда общий объем газовой смеси:

$$v_{см} = \Sigma v_i = v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 0{,}36 + 2{,}25 + 0{,}24 + 0{,}16 = 3 \text{ м}^3.$$

Пример 2

Газовая смесь имеет следующий массовый состав: углекислый газ CO_2 – 12 %, азот N_2 – 75 %, водяной пар H_2O – 8 %, кислород O_2 – 5 %. Известны основные термодинамические параметры смеси: объем $v_{см} = 3$ м^3, давление $p_{см} = 1$ бар, температура $t_{см} = 100$ °С ($T_1 = 100 + 273 = 373$ К).

Требуется определить количество подведенной теплоты при изобарном нагревании смеси до температуры $t_5 = 727$ °С ($T_5 = 1000$ К) и работу, совершаемую газом.

Решение

Исходя из заданного в процентах массового состава, газовая смесь в объемных долях будет следующей:

углекислый газ CO_2 ..... $g_1 = 0{,}12$;
азот N_2 ..... $g_2 = 0{,}75$;
водяной пар H_2O ..... $g_3 = 0{,}08$;
кислород O_2 ..... $g_4 = 0{,}05$.

Молекулярная масса компонентов, кг/моль:

углекислый газ CO_2 ..... $\mu_1 = 44$;
азот N_2 ..... $\mu_2 = 28$;
водяной пар H_2O ..... $\mu_3 = 18$;
кислород O_2 ..... $\mu_4 = 32$.

Количество подведенной теплоты к смеси при ее изобарном нагревании:

$$Q = m_{\text{см}} c_{p\text{см}} (T_5 - T_1), \text{ кДж};$$

где $m_{\text{см}}$, $c_{p\text{см}}$ – масса и изобарная массовая теплоемкость смеси, соответственно.

Масса газовой смеси, кг:

$$m_{\text{см}} = \frac{p_{\text{см}} v_{\text{см}}}{R_{\text{см}} T_1},$$

где $R_{\text{см}}$ – газовая постоянная смеси, $R_{\text{см}} = \Sigma g_i R_i$.

Газовые постоянные компонентов смеси, кДж/(кг·К):

$$R_i = \frac{8{,}314}{\mu_i}.$$

Углекислый газ CO_2 $\quad R_1 = \frac{8{,}314}{44} = 0{,}189;$

азот N_2 $\quad R_2 = \frac{8{,}314}{28} = 0{,}297;$

водяной пар H_2O $\quad R_3 = \frac{8{,}314}{18} = 0{,}462;$

кислород O_2 $\quad R_4 = \frac{8{,}314}{32} = 0{,}260.$

Тогда

$$R_{\text{см}} = 0{,}12 \cdot 0{,}189 + 0{,}75 \cdot 0{,}297 + 0{,}08 \cdot 0{,}462 + 0{,}05 \cdot 0{,}260 =$$
$$= 0{,}295 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Масса газовой смеси:

$$m_{\text{см}} = \frac{1{,}0 \cdot 10^5 \cdot 3}{0{,}295 \cdot 10^3 \cdot 373} = 2{,}72 \text{ кг}.$$

Изобарная массовая теплоемкость смеси находится исходя из теплоемкости и массовых долей компонентов:

$$c_{p\text{см}} = c_{p1} g_1 + c_{p2} g_2 + c_{p3} g_3 + c_{p4} g_4.$$

Изобарная массовая теплоемкость компонентов:

$$c_{pi} = \frac{c_{\mu i}}{\mu_i},$$

где $c_{\mu i}$ – молярная теплоемкость i-того компонента при постоянном давлении, определяемая методом линейной интерполяции для средней температуры смеси (см. табл. I приложений):

углекислый газ CO_2 $\quad c_{\mu 1} = 48{,}9 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}; \ c_{p1} = \frac{c_{\mu 1}}{\mu_1} = \frac{48{,}9}{44} = 1{,}16 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$

азот N_2 $\quad c_{\mu 2} = 30{,}5 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}; \ c_{p2} = \frac{c_{\mu 2}}{\mu_2} = \frac{30{,}5}{28} = 1{,}09 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$

водяной пар H_2O $c_{\mu 3} = 37{,}3 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$; $c_{p3} = \frac{c_{\mu 3}}{\mu_3} = \frac{37{,}3}{18} = 2{,}07 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

кислород O_2 $c_{\mu 4} = 32{,}76 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$; $c_{p4} = \frac{c_{\mu 4}}{\mu_4} = \frac{32{,}76}{32} = 1{,}02 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Изобарная массовая теплоемкость смеси:

$$c_{p\text{см}} = 1{,}16 \cdot 0{,}12 + 1{,}09 \cdot 0{,}75 + 2{,}07 \cdot 0{,}08 + 1{,}02 \cdot 0{,}05 = 1{,}17 \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Количество подведенной теплоты к смеси при ее изобарном нагревании:

$$Q = 2{,}72 \cdot 1{,}17 \cdot (1000 - 373) = 1995{,}36 \text{ кДж}.$$

Работа, совершаемая газом, при изобарном нагревании:

$$L = m_{\text{см}} R_{\text{см}} (T_5 - T_1).$$

$$L = 2{,}72 \cdot 0{,}295 \cdot (1000 - 373) = 503{,}1 \text{ кДж}.$$

Ответ: Q = 1995,36 кДж; L = 503,1 кДж.

Пример 3

Кислород, массой m = 24 кг, расширяется в цилиндре, перемещая поршень от начального давления $p_1 = 30 \cdot 10^5$ Па и температуры t_1 = 510 °С до конечного давления $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па.

Требуется определить изменение внутренней энергии, работу расширения и теплоту для адиабатного и политропного процессов (показатель политропы принять n = 1,2).

Решение

Для заданных условий молярная изобарная теплоемкость кислорода составит (см. табл. I приложений):

c_μ = 34,2068 кДж/(кмоль·К) (при T = 600 °С).

Массовая изобарная теплоемкость кислорода:

$$c_p = \frac{c_\mu}{\mu_{O_2}} = \frac{34{,}2068}{32} = 1{,}069 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Изохорная теплоемкость определяется из уравнения Майера:

$$c_v = c_p - R_{O_2},$$

где газовая постоянная для кислорода $R_{O_2} = \frac{8{,}314}{\mu_{O_2}} = \frac{8{,}314}{32} = 0{,}260$ кДж/(кг·К).

Тогда

c_v = 1,069 – 0,260 = 0,809 кДж/(кг·К).

1) Определим параметры для адиабатного процесса

Уравнение адиабатного процесса:

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}},$$

отсюда выразим температуру T_2:

$$T_2=\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\cdot T_1,$$

где k – показатель адиабаты: $k=\frac{c_p}{c_v}=1{,}32$.

Значение температуры T_2:

$$T_2=\left(\frac{2\cdot10^5}{30\cdot10^5}\right)^{\frac{1{,}32-1}{1{,}32}}\cdot(510+273)=360{,}96\approx361\text{ К}.$$

Изменение внутренней энергии газа:

$$\Delta U=mc_v(T_2-T_1)=24\cdot0{,}809\cdot(361-783)=-8194\text{ кДж}.$$

Работа расширения газа:

$$L=-\Delta U=mc_v(T_1-T_2)=24\cdot0{,}809\cdot(783-361)=8194\text{ кДж}.$$

Подведенная теплота:

$$Q=0.$$

2) Определим параметры для политропного процесса

Уравнение политропного процесса:

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}},$$

отсюда выразим температуру T_2:

$$T_2=\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1{,}2-1}{1{,}2}}\cdot T_1=\left(\frac{2\cdot10^5}{30\cdot10^5}\right)^{0{,}167}\cdot783=498\text{ К}.$$

Изменение внутренней энергии газа:

$$\Delta U=mc_v(T_2-T_1)=24\cdot0{,}809\cdot(498-783)=-5534\text{ кДж}.$$

Работа расширения газа:

$$L=\frac{R}{n-1}m(T_1-T_2)=\frac{0{,}260}{1{,}2-1}\cdot24\cdot(783-498)=8892\text{ кДж}.$$

Подведенная теплота:

$$Q=mc_n(T_2-T_1),\text{ кДж},$$

где c_n – политропная массовая теплоемкость газа:

$$c_n=c_v\frac{k-n}{1-n}=0{,}809\cdot\frac{1{,}32-1{,}2}{1-1{,}2}=0{,}809\cdot\frac{0{,}12}{-0{,}2}=-0{,}485\text{ кДж/(кг·К)}.$$

Тогда значение подведенной теплоты к газу:

$$Q = 24 \cdot (-0{,}485) \cdot (498 - 783) = 3317 \text{ кДж}.$$

Ответ: для адиабатного процесса ΔU = –8194 кДж, L = 8194 кДж, Q = 0; для политропного процесса ΔU = –5534 кДж, L = 8892 кДж; Q = 3317 кДж.

Пример 4

Построить и проанализировать произвольный цикл, который состоит из четырех последовательно осуществляемых следующих термодинамических процессов для сухого воздуха массой 1 кг:

1-2 – политропный, n = 1,3;

2-3 – изобарный, p = const;

3-4 – адиабатный, s = const;

4-1 – изохорный, v = const.

В основных точках заданы следующие параметры:

давление p_2 = 0,1 МПа; температура T_2 = 338 К; температура T_3 = 273 К;

температура T_4 = 433 К.

Принять удельную теплоемкость воздуха c_p = 1,025 кДж/(кг·К), газовую постоянную R = 0,287 кДж/(кг·К).

Требуется определить:

1) давление, удельный объем и температуру для основных точек цикла (точек пересечения процессов);

2) для каждого термодинамического процесса заданного цикла показатель политропы, теплоемкость, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, количество теплоты, работу;

3) количество теплоты, подведенное и отведенное за цикл, работу цикла, термический КПД цикла;

4) построить цикл в координатах p-v и s-T;

5) результаты расчета представить в форме табл. 1.4.

Решение

Так как процесс *2-3* является изобарным, то давление в точках 2, 3:

$$p_2 = p_3 = 0{,}1 \text{ МПа}.$$

На основании уравнения Клапейрона можно определить удельный объем в точке *3*:

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{0{,}287 \cdot 10^3 \cdot 273}{0{,}1 \cdot 10^6} = 0{,}784 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Для определения удельного объема в точке *4* используем уравнение адиабаты для точек *3-4*:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1},$$

откуда $v_4 = v_3\left(\frac{T_3}{T_4}\right)^{\frac{1}{k-1}} = 0{,}784 \cdot \left(\frac{273}{433}\right)^{\frac{1}{1{,}4-1}} = 0{,}248$ м^3/кг.

Давление в точке *4*:

$$p_4 = \frac{RT_4}{v_4} = \frac{0{,}287 \cdot 10^3 \cdot 433}{0{,}248} = 0{,}501 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0{,}501 \text{ МПа}.$$

Удельный объем в точке *2*:

$$v_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{0{,}287 \cdot 10^3 \cdot 338}{0{,}1 \cdot 10^6} = 0{,}97 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Так как процесс *4-1* изохорный, то удельные объемы в точках *4* и *1*:

$$v_4 = v_1 = 0{,}248 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Для определения температуры в точке *1* используем уравнение политропы для точек *1-2*:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1},$$

откуда $T_1 = T_2\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{n-1} = 338 \cdot \left(\frac{0{,}97}{0{,}248}\right)^{1{,}3-1} = 509$ К.

Давление в точке *1*:

$$p_1 = \frac{RT_1}{v_1} = \frac{0{,}287 \cdot 10^3 \cdot 514}{0{,}248} = 0{,}595 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0{,}595 \text{ МПа}.$$

Определяем требуемые калорические параметры.

Процесс 1-2 (n = const = 1,3):

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta u_{1\text{-}2} = u_2 - u_1 = c_v\,(T_2 - T_1) = 0{,}738\,(338 - 509) = -126 \text{ кДж/кг}.$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta i_{1\text{-}2} = i_2 - i_1 = c_p\,(T_2 - T_1) = 1{,}025\,(338 - 509) = -184 \text{ кДж/кг}.$$

Изменение энтропии:

$$\Delta s_{1\text{-}2} = s_2 - s_1 = c_p \ln(T_2 / T_1) - R \ln(p_2 / p_1) =$$
$$= 1{,}025 \cdot \ln(338 / 509) - 0{,}287 \cdot \ln(0{,}1 / 0{,}6) = 0{,}095 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Количество теплоты:

$$q_{1\text{-}2} = c_n\left(T_2 - T_1\right) = c_v \frac{k-n}{1-1{,}3}\left(T_2 - T_1\right) = 0{,}738 \cdot \frac{1{,}4-1{,}3}{1-1{,}3} \cdot \left(338 - 509\right) = 42{,}1 \text{ кДж/кг}.$$

Работа:

$$l_{1\text{-}2} = q_{1\text{-}2} - \Delta u_{1\text{-}2} = 42{,}1 - (-126) = 168{,}1 \text{ кДж/кг}.$$

Процесс 2-3 (p = const):

$$\Delta u_{2\text{-}3} = c_v\,(T_3 - T_2) = 0{,}738\,(273 - 338) = -48{,}0 \text{ кДж/кг};$$
$$\Delta i_{2\text{-}3} = c_p\,(T_3 - T_2) = 1{,}025\,(273 - 338) = -66{,}6 \text{ кДж/кг};$$
$$\Delta s_{2\text{-}3} = c_p \ln(T_3 / T_2) = 1{,}025 \cdot \ln(273 / 338) = -0{,}219 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$q_{2\text{-}3} = c_p\,(T_3 - T_2) = \Delta i_{2\text{-}3} = 1{,}025\,(273 - 338) = -66{,}6 \text{ кДж/кг};$$

$$l_{2\text{-}3} = R\,(T_3 - T_2) = 0{,}287\cdot(273 - 338) = -18{,}7 \text{ кДж/кг}.$$

Процесс 3-4 (s = const*):*

$$\Delta u_{3\text{-}4} = c_v\,(T_4 - T_3) = 0{,}738\cdot(433 - 273) = 117{,}9 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i_{3\text{-}4} = c_p\,(T_4 - T_3) = 1{,}025\,(433 - 273) = 164{,}0 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta s_{3\text{-}4} = 0;$$

$$q_{3\text{-}4} = 0;$$

$$l_{3\text{-}4} = -\Delta u_{3\text{-}4} = -117{,}9 \text{ кДж/кг}$$

или

$$l_{3\text{-}4} = \frac{\mathrm{R}}{\mathrm{k}-1}\left(\mathrm{T}_3 - T_4\right) = \frac{0{,}287}{1{,}4-1}\cdot\left(273-433\right) = -117{,}9 \text{ кДж/кг}.$$

Процесс 4-1 (v = const):

$$\Delta u_{4\text{-}1} = c_v\,(T_1 - T_4) = 0{,}738\,(509 - 433) = 56 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i_{4\text{-}1} = c_p\,(T_1 - T_4) = 1{,}025\,(514 - 433) = 77{,}9 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta s_{4\text{-}1} = c_v \ln(T_1 / T_4) = 0{,}738 \ln(509 / 433) = 0{,}119 \text{ кДж/кг};$$

$$l_{4\text{-}1} = 0;$$

$$q_{4\text{-}1} = \Delta u_{4\text{-}1} = 56 \text{ кДж/кг}.$$

Полученные данные сводим в табл. 1.6.

Количество теплоты, подведенное за цикл:

$$q_1 = q_{1\text{-}2} + q_{4\text{-}1} = 42{,}1 + 56 = 98{,}1 \text{ кДж/кг}.$$

Количество теплоты, отведенное за цикл:

$$q_2 = q_{2\text{-}3} = 66{,}6 \text{ кДж/кг}.$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{98{,}1 - 66{,}6}{98{,}2} = 0{,}322 \quad \text{или } 32{,}2\ \%.$$

Работа цикла: $l_ц = 31{,}5$ кДж/кг.

Таблица 1.6

Результаты расчетов

Процесс	***n***	***c*, кДж/(кг·К)**	**Δ*u*, кДж/кг**	**Δ*i*, кДж/кг**	**Δ*s*, кДж/(кг·К)**	***q*, кДж/кг**	***l*, кДж/кг**
1-2	1,3	–0,219	–126,0	–184,0	0,095	42,1	168,1
2-3	0	1,025	–48,0	–66,6	–0,219	–66,6	–18,7
3-4	1,4	0	118,1	164,0	0	0	–117,9
4-1	∞	0,738	56,1	77,9	0,119	56	0
Сумма:	–	–	0	0	0	31,5	31,5

Построим графики цикла в координатах *p*-*v* и *T*-*s* (рис. 1.33).

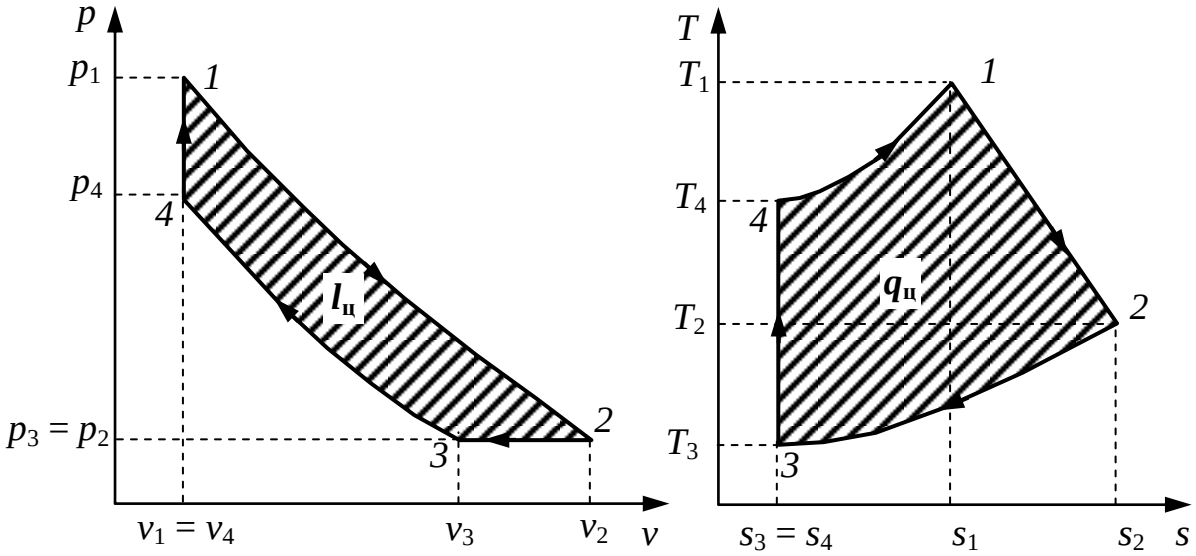


Рис. 1.33. Цикл в координатах *p*-*v* и *T*-*s*

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛООБМЕНА

2.1. Основные понятия и виды теплообмена

Согласно второму закону термодинамики самопроизвольный процесс переноса теплоты в пространстве возникает под действием разности температур и направлен в сторону уменьшения температуры.

Закономерности переноса теплоты и количественные характеристики этого процесса являются предметом исследования теории теплообмена.

Процесс передачи тепла может осуществляться тремя способами. В связи с этим различают три основных вида теплообмена:

– теплопроводность,

– конвективный теплообмен,

– лучистый теплообмен.

Теплопроводность представляет собой распространение теплоты внутри тела путем непосредственного соприкосновения его частиц. Это так называемый *молекулярный способ переноса тепловой энергии.*

В чистом виде явление теплопроводности наблюдается в твердых телах, неподвижных газах и жидкостях при условии невозможности возникновения в них конвективных токов.

В газах и жидкостях явление теплопроводности обычно определяется с рядом других физических явлений, например, движением массы газа и связанным с этим переносом теплоты. Изучение явления теплопроводности в металлах показывает, что механизм распространения теплоты в них аналогичен распространению электричества.

Конвективный теплообмен (конвекция) – это передача теплоты, осуществляемая перемещающимися в пространстве частями жидкости. Конвекция всегда сопровождается теплообменом посредством теплопроводности между соприкасающимися частицами.

В зависимости от причины, вызывающей движение жидкости или газа, конвективный теплообмен подразделяют на два вида:

а) конвективный теплообмен при свободном движении среды (свободная конвекция);

б) конвективный теплообмен при вынужденном движении среды (вынужденная конвекция).

Свободная конвекция имеет место тогда, когда движение жидкости или газа вызвано исключительно неодинаковой плотностью в различных частях исследуемой среды, что, в свою очередь, обусловлено неодинаковым нагревом этих частей.

Вынужденная конвекция имеет место тогда, когда движение жидкости или газа вызвано внешними причинами (поток, создаваемый насосом, компрессором, движением самолета относительно воздуха; вентиляторный обдув при охлаждении двигателей и т. д.).

Теплообмен при вынужденной конвекции, как правило, во много раз интенсивнее теплообмена при свободной конвекции, и поэтому в технике при решении ряда вопросов, связанных с необходимостью передачи больших количеств теплоты, используется вынужденная конвекция.

Лучистый теплообмен – это передача теплоты, осуществляемая тепловым излучением. Лучистый теплообмен характеризуется тем, что нагретое тело способно превращать часть энергии, принадлежащей телу, в лучистую энергию, которая передается от одного тела к другому. Встречая на своем пути какое-нибудь тело, тепловые лучи частично поглощаются и снова превращаются в теплоту, частично отражаются и частично проходят сквозь тело.

Тепловые лучи подчиняются всем законам световых лучей: законам отражения, преломления и поглощения. По современным воззрениям природа лучистого теплообмена заключается в использовании переноса теплоты и энергии электромагнитными волнами, имеющими квантовую природу и подчиняющимися законам термодинамики.

Анализ конкретных явлений, связанных с передачей теплоты, показывает, что обычно имеют место все три вида теплообмена одновременно, т. е. на практике совершается сложный теплообмен.

Однако изучение закономерностей, управляющих сложным теплообменом, математически затруднительно. Поэтому обычно изучают каждый из трех видов теплообмена в отдельности, после чего можно сравнительно легко перейти к расчету сложного теплообмена.

2.2. Основной закон теплопроводности

Теплопроводностью называется *процесс распространения теплоты в теле путем непосредственного соприкосновения между частицами с различной температурой.* В чистом виде этот процесс

возможен лишь в однородных твердых телах. В основу теории процесса распространения теплоты положен простейший опытный факт: потоки теплоты возникают в среде только при условии, если в ней имеются элементы с неодинаковой температурой. Следовательно, для любой данной среды процесс переноса теплоты всецело зависит от распределения температуры. При любом температурном поле в теле всегда имеются «точки» с одинаковой температурой, при соединении которых получаются изотермические поверхности. Температура в теле изменяется только в направлении, пересекающем изотермы. При этом наиболее сильное изменение температуры $\left(\frac{dt}{dn}\right)$ получается в направлении нормали к изотермам (рис. 2.1).

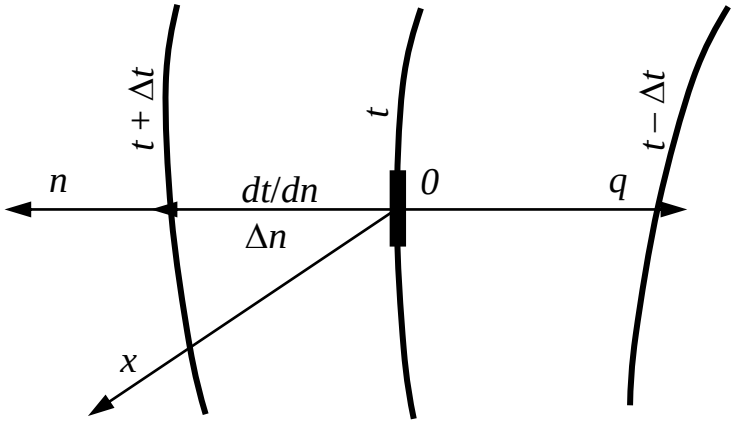


Рис. 2.1. К закону Фурье

Количество теплоты, протекающей в единицу времени через элемент изотермической поверхности в направлении нормали к ней, называется *тепловым потоком* Q в Вт. Тепловой поток, отнесенный к единице поверхности, называется *удельным тепловым потоком,* Вт/м^2: $q = \frac{Q}{F}$.

По закону Фурье удельный тепловой поток пропорционален производной от температуры по нормали $\frac{dt}{dn}$ к изотермической поверхности, Вт/м^2:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dn}.$$

Знак минус указывает на то, что векторы q и $\frac{dt}{dn}$ направлены в

противоположные стороны; λ – физический параметр, называемый *коэффициентом теплопроводности,* он характеризует собой способность вещества проводить теплоту, Вт/(м·К):

$$\lambda = -\frac{q}{\frac{dt}{dn}} = -\frac{\frac{Q}{F}}{\frac{\Delta t}{\Delta n}}.$$

Следовательно, значение коэффициента теплопроводности определяет собой количество теплоты, которая проходит в час через 1 м^2 поверхности при падении температуры в 1° на 1 м пути теплового потока.

Для различных веществ коэффициент теплопроводности различен и для каждого из них зависит от структуры, плотности, влажности, давления и температуры тела.

Ориентировочные значения λ приведены в табл. 2.1. Аналитически для большинства материалов зависимость коэффициента теплопроводности от температуры линейна:

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + bt),$$

где λ_0 – значение коэффициента теплопроводности при 0 °С; b – постоянная, определяемая опытом.

Для одномерного случая температура тела изменяется в пространстве и во времени:

$$t = f(x, \tau),$$

где x – пространственная координата.; τ – время.

Совокупность значений температуры во всех точках тела называется *температурным полем.*

Связь между изменениями температуры в пространстве и во времени устанавливается на основе первого и второго законов термодинамики и закона Фурье и выражается дифференциальным уравнением теплопроводности, имеющим в прямоугольных координатах для однородного и изотропного тела при отсутствии внутренних источников теплоты следующий вид:

$$\frac{dt}{d\tau} = a\frac{d^2t}{dx^2},$$

где $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент температуропроводности, характеризую-

щий скорость выравнивания температуры в неравномерно нагретом теле, $м^2/с$; *с* – теплоемкость, кДж/(кг·К); ρ – плотность, $кг/м^3$.

Таблица 2.1

Ориентировочные значения λ для различных веществ

Вещество	λ, Вт/(м·К)	Вещество	λ, Вт/(м·К)
Газы.	0,005–0,60	Дерево.	0,06–0,55
Воздух, 0-1000 °С	0,020–0,08	Металлы.	2–420
Капельные жидкости.	0,08–0,80	Медь красная. . . .	~ 400
Вода, 0-100 °С.	0,15–0,29	Алюминий.	~ 210
Строительные и изоляционные материалы.	0,02–2,9	Железо.	~ 48
		Сталь.	10–60
Красный кирпич, 0-300 °С. .	0,5–0,6	Ртуть, 0-500 °С. . . .	7–88
Минеральная шерсть.	0,02–0,06		

Если температурное поле не изменяется во времени, т. е. $\frac{dt}{d\tau} = 0$, то оно называется *стационарным,* при изменении же температуры – *нестационарным.*

Для одномерного стационарного температурного поля дифференциальное уравнение теплопроводности имеет вид

$$\frac{d^2t}{dx^2} = 0.$$

Обе формы уравнения теплопроводности имеют прикладное значение и могут быть использованы при решении задач.

2.3. Физический смысл дифференциального уравнения теплопроводности

Дифференциальное уравнение теплопроводности, определяющее температурное поле твердого тела, выражает связь между изменением температуры во времени и ее распределением в пространстве. Действительно, левая часть уравнения характеризует скорость изменения температуры некоторой точки тела во времени, правая – пространственное распределение температуры вблизи этой точки. Весьма существенно, что пространственное распределение температуры в уравнении характеризуется именно через вторые производные. Чтобы уяснить это, рассмотрим дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$\frac{dt}{d\tau} = a\frac{d^2t}{dx^2}.$$

Производная $\frac{d^2t}{dx^2} = \frac{d}{dx}\left(\frac{dt}{dx}\right)$ определяет интенсивность изменения первой производной от температуры по направлению оси *x*.

Но в таком случае она же служит мерой интенсивности изменения потока теплоты в направлении по оси *x* (так как $q_\lambda = -\lambda\frac{dt}{dx}$). Поэтому величина $\frac{d^2t}{dx^2}$ характеризует различие между тепловым потоком, подходящим к данной точке, и потоком, отходящим от нее. Именно этим различием и обусловлено изменение температуры в данной точке.

Входящий в уравнение теплопроводности коэффициент температуропроводности *a* характеризует специфические теплоинерционные свойства тела, так как он пропорционален λ, с увеличением которого растут потоки теплоты, идущие в тело, и обратнопропорционален объемной теплоемкости *c*ρ. С возрастанием *c*ρ уменьшаются изменения температуры элемента.

Дифференциальное уравнение теплопроводности дает наиболее общую связь между существенными для явления величинами и характеризует свойства, присущие всем явлениям теплопроводности. Соответственно этому при интегрировании данного уравнения получается бесчисленное множество различных решений, удовлетворяющих ему.

Чтобы получить из множества возможных решений одно частное решение, соответствующее определенному конкретному явлению, необходимо иметь дополнительные данные, не содержащиеся в исходном дифференциальном уравнении.

Условия, которые в совокупности с дифференциальным уравнением однозначно определяют единичное явление, называются *условиями однозначности.*

Условия однозначности включают в себя:

а) геометрическую форму и размеры тела;

б) значения физических параметров (*c,* ρ, λ);

в) распределение температур в теле в начальный момент времени (начальное условие);

г) условия теплообмена на границе тела (граничные условия).

Граничные условия задают в виде распределения температур t_w (граничное условие первого рода) или удельных тепловых потоков q на поверхности тела (граничное условие второго рода), или задают температуру окружающей тело среды и закон теплообмена между телом и средой по Ньютону (граничное условие третьего рода):

$$q = \alpha\,(t_w - t_f),$$

где α – коэффициент теплоотдачи, характеризующий интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой, численно равный количеству теплоты, переданной в единицу времени через единицу поверхности при разности между температурами тела и среды в 1°, Вт/(м^2·К).

Рассмотрим решение дифференциального уравнения теплопроводности для случая однородной плоской стенки.

2.4. Распространение теплоты в однослойной и многослойной стенках

Однослойная плоская стенка. Предполагаем, что плоская однослойная стенка, в которой рассматривается процесс теплопроводности, имеет длину и ширину, безгранично большие по сравнению с ее толщиной δ (рис. 2.2).

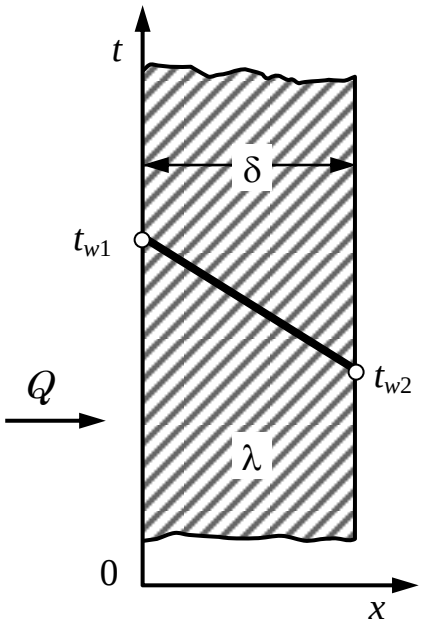


Рис. 2.2. Теплопроводность в плоской однослойной стенке

Как известно, дифференциальное уравнение теплопроводности имеет вид:

$$\frac{d^2t}{dx^2} = 0.$$

Закон распределения температур по толщине стенки найдем двойным интегрированием этого уравнения. После первого интегрирования получим $\frac{dt}{dx} = C_1$. После второго интегрирования:

$$t = C_1 x + C_2, \qquad (2.1)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Из уравнения (2.1) видно, что закон распределения температур в стенке следует закону прямой линии.

Для определения постоянных интегрирования C_1 и C_2 воспользуемся граничными условиями первого рода, т. е. зададимся законом распределения температур на поверхности тела для любого момента времени:

при $x = 0$ $\quad t = t_{w1}$;

при $x = \delta$ $\quad t = t_{w2}$,

где t_{w1} – температура более нагретой поверхности стенки в °С; t_{w2} – температура более холодной поверхности стенки, °С.

Тогда из уравнения (2.1) при $x = 0$ получим $t_{w1} = C_2$; при $x = \delta$ соответственно $C_1 = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta}$.

Подставляя значения C_1 и C_2 в уравнение (2.1), получим:

$$t = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} x + t_{w1}. \qquad (2.2)$$

Уравнение (2.2) есть окончательное решение задачи, так как описываемое им распределение температур удовлетворяет как дифференциальному уравнению, так и использованным граничным условиям.

Для определения удельного теплового потока воспользуемся уравнением Фурье:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad \text{или} \quad dt = -\frac{q}{\lambda} dx.$$

В результате интегрирования этого уравнения имеем:

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + C.$$

Постоянная интегрирования определяется из граничного условия: при $x = 0$ $t = t_{w1}$, откуда $C = t_{w1}$.

Так как при $x = \delta$, $t = t_{w2}$, то

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}.$$

Следовательно, тепловой поток, проходящий через 1 м^2 стенки, прямо пропорционален коэффициенту теплопроводности λ и разности температур наружных поверхностей стенки и обратно пропорционален толщине стенки δ.

Отношение $\frac{\delta}{\lambda}$ называют *термическим сопротивлением* стенки, а $\frac{\lambda}{\delta}$ *– проводимостью стенки.*

Многослойная плоская стенка. Стенки, состоящие из нескольких разнородных слоев, называют многослойными (рис. 2.3).

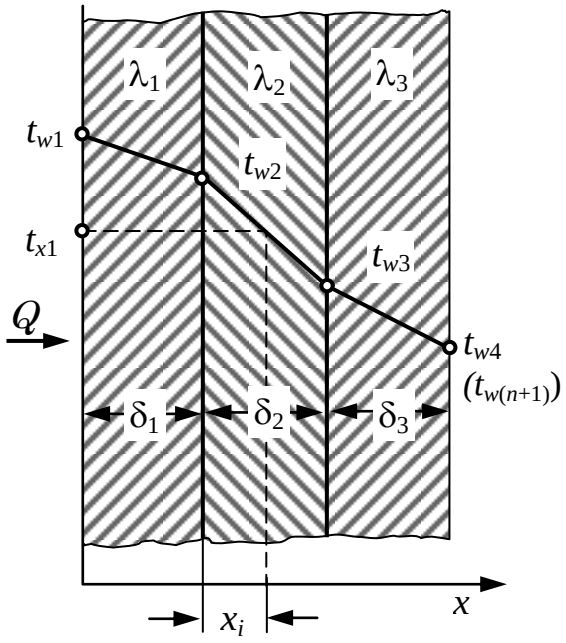


Рис. 2.3. Теплопроводность в плоской многослойной стенке

Пусть стенка состоит из n плотно прилегающих один к другому слоев. Коэффициенты теплопроводности для каждого слоя равны соответственно $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$, а толщины слоев $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$.

При стационарном режиме удельный тепловой поток постоянен и для всех слоев одинаков. Отсюда получим:

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_{w1} - t_{w2});$$

$$q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_{w2} - t_{w3});$$

. . . . . .

$$q = \frac{\lambda_n}{\delta_n}(t_{wn} - t_{w(n+1)}).$$

Определим изменение температуры в каждом слое:

$$t_{w1} - t_{w2} = q\frac{\delta_1}{\lambda_1};$$

$$t_{w2} - t_{w3} = q\frac{\delta_2}{\lambda_2};$$

. . . . . .

$$t_{wn} - t_{w(n+1)} = q\frac{\delta_n}{\lambda_n}.$$

Произведя почленное сложение, получим:

$$t_{w1} - t_{w(n+1)} = q\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + ... + \frac{\delta_n}{\lambda_n}\right),$$

откуда:

$$q = \frac{t_{w1} - t_{w(n+1)}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + ... + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} = \frac{t_{w1} - t_{w(n+1)}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}},$$

где i – номер слоя.

Из полученного уравнения следует, что общее термическое сопротивление стенки равно сумме частных.

При выводе формулы для многослойной стенки мы предполагали, что слои плотно прилегают один к другому, и благодаря хорошему контакту соприкасающиеся поверхности разных слоев имеют одну и ту же температуру. В действительности же поверхности всегда шероховаты, вследствие чего возникает дополнительное термическое контактное сопротивление.

Однослойная цилиндрическая стенка. Расчетное уравнение имеет вид:

$$Q = \frac{2\pi\lambda l}{\ln \frac{d_2}{d_1}}(t_{w1} - t_{w2}),$$

т. е. количество теплоты, переданной в час через стенку трубы, прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности λ, длине трубы l и температурному напору $(t_{w1} - t_{w2})$ и обратно пропорционально натуральному логарифму отношения внешнего диаметра d_2 трубы к внутреннему d_1. При λ = const внутри однослойной цилиндрической стенки температура изменяется по логарифмической кривой.

Многослойная цилиндрическая стенка. Для такой стенки уравнение теплового потока получает вид

$$Q = \frac{2\pi l(t_{w1} - t_{w(n+1)})}{\frac{1}{\lambda_1}\ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2}\ln \frac{d_3}{d_2} + ... + \frac{1}{\lambda_n}\ln \frac{d_{n+1}}{d_n}}.$$

Для многослойной цилиндрической стенки в целом температурная кривая представляет собой ломаную кривую.

Однослойная шаровая стенка. Запишем уравнение для расчета теплового потока шаровой стенки с внутренним радиусом r_1 и внешним r_2:

$$Q = \frac{2\pi\lambda}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}(t_{w1} - t_{w2}).$$

Кривая, выражающая закон изменения температур в шаровом слое, представляет собой гиперболу.

2.5. Конвективный теплообмен и основы теории подобия

Конвективным теплообменом, или теплоотдачей, называют *процесс теплообмена,* который осуществляется между какой-либо твердой поверхностью и омывающей ее жидкостью или газом.

Изучают и рассчитывают конвективный теплообмен на основе закона Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha F(t_f - t_w), \text{ Вт},$$

или

$$q = \alpha\,(t_f - t_w), \text{ Вт/м}^2,$$

где F – площадь поверхности теплообмена; $(t_f - t_w)$ – разность температур жидкости и стенки; α – коэффициент теплоотдачи.

Значение α зависит от термодинамического состояния и физических свойств среды, омывающей поверхность (от ее температуры, вязкости, теплопроводности и т. д.); от скорости и режима движения среды (ламинарного или турбулентного); от формы и размеров поверхности теплообмена и др.

Исследовать опытным путем влияние каждого из этих факторов на значение коэффициента теплоотдачи α не представляется возможным, так как изменение одного из них неизбежно повлечет за собой изменение других. Например, если изменить температуру среды, неизбежно изменятся ее плотность, вязкость, теплопроводность, при этом может также измениться режим движения жидкости. В силу этого полученное опытным путем значение коэффициента теплоотдачи было бы справедливо только в тех условиях, в которых был проведен опыт. Для теоретического исследования зависимости коэффициента теплоотдачи от упомянутых выше факторов для каждого явления пришлось бы решать систему дифференциальных уравнений конвективного теплообмена (дифференциальные уравнения движения, энергии, сплошности, теплообмена) совместно с условиями однозначности. Однако решение такой системы дифференциальных уравнений связано с математическими трудностями.

Результаты же отдельных экспериментов не позволяют распространять их на другие явления. На помощь приходит теория подобия, которая дает возможность результаты единичного опыта распространить на целую группу «подобных» явлений.

Теория подобия состоит из трех основных теорем. *Первая теорема подобия* гласит: у подобных явлений значения одноименных критериев подобия одинаковы, а индикаторы подобия равны единице. Для получения критериев подобия дифференциальные уравнения, описывающие процесс, должны быть подвергнуты преобразованию подобия, которое заключается в следующем.

Рассмотрим уравнение энергии конвективного теплообмена для стационарного одномерного случая:

$$w_x \frac{dt}{dx} = a \frac{d^2 t}{dx^2}. \qquad (2.3)$$

Если имеются две подобные системы, то для каждой из них можно написать:

$$w'_x \frac{dt'}{dx'} = a' \frac{d^2 t'}{dx'^2};$$

$$w''_x \frac{dt''}{dx''} = a'' \frac{d^2 t''}{dx''^2}.$$

Возьмем отношения:

$$C_w = \frac{w''_x}{w'_x}; \quad C_t = \frac{t''}{t'}; \quad C_x = \frac{x''}{x'}; \quad C_a = \frac{a''}{a'},$$

которые служат константами подобия.

Выразим переменные величины уравнения (2.3) через константы подобия и переменные величины первой системы:

$$C_w w'_x \frac{C_t}{C_x} \cdot \frac{dt'}{dx'} = C_a a' \frac{C_t}{C_x^2} \cdot \frac{d^2 t'}{dx'^2}$$

или

$$\frac{dt'}{dx'} \cdot \frac{C_w C_x}{C_a} w'_x = a' \frac{d^2 t'}{dx'^2}. \qquad (2.4)$$

Из сравнения выражения (2.4) с уравнением (2.3) видно, что комплекс, составленный из констант подобия, должен быть равен единице.

Такие комплексы, составленные из констант подобия, называют *индикаторами подобия:*

$$\frac{C_w C_x}{C_a} = 1. \qquad (2.5)$$

Заменим в уравнении (2.5) константы подобия переменными величинами, тогда:

$$\frac{w'x'}{a'} = \frac{w''x''}{a''} = Pe.$$

Полученный комплекс безразмерен и носит название *критерия подобия Пекле.* Аналогично с помощью других дифференциальных уравнений, описывающих данное явление, могут быть получены необходимые критерии подобия.

Критерии подобия могут быть составлены из величин, входящих в условия однозначности, тогда они носят название *определяющих,* или содержать искомую величину, тогда критерий является *определяемым.*

Вторая теорема подобия свидетельствует о том, что математическое описание изучаемого явления должно быть представлено в виде критериального уравнения, т. е. функциональной зависимости между определяемым критерием и определяющими константами. Значение второй теоремы подобия заключается в том, что она указывает, как должны быть обработаны результаты исследований изучаемого явления. При обработке результатов эксперимента в виде критериального уравнения последним можно пользоваться для всех подобных явлений. Какие явления подобны? На этот вопрос отвечает *третья теорема подобия:* подобными следует считать такие явления, для которых математическое описание совпадает и одноименные определяющие критерии подобия численно равны.

Значение третьей теоремы подобия заключается в том, что она дает возможность выделить группу явлений, на которую можно распространять данные единичных опытов, представленные в виде критериальных уравнений.

Наиболее часто мы будем встречаться со следующими критериями:

– критерий теплоотдачи (Нуссельта) $\mathrm{Nu} = \frac{\alpha l_0}{\lambda_f}$, который является определяемым критерием и характеризует интенсивность теплообмена на границе жидкость-стенка;

– критерий динамического подобия (Рейнольдса) $\mathrm{Re} = \frac{w l_0}{\nu}$, характеризующий соотношение сил инерции и сил вязкости в потоке жидкости;

– критерий Грасгофа $\mathrm{Gr} = \frac{g l_0 \beta \Delta t}{\nu^2}$, характеризующий взаимодействие подъемных сил и сил вязкости;

– критерий Прандтля $\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{a}$, характеризующий физические свойства жидкости;

– критерий Пекле – произведение критериев $\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr} = \mathrm{Pe}$.

Критерии Re, Gr, Pr, Pe являются определяющими. В этих формулах: w – скорость; α – коэффициент теплоотдачи; ν – кинематическая вязкость; a – коэффициент температуропроводности; $\beta = \frac{1}{T}$ –

коэффициент объемного расширения; l_0 – размер, которым определяется развитие процесса.

При обтекании трубы, например, за определяющий размер берут диаметр трубы, при обтекании плиты – ее длину в направлении движения.

В общем случае конвективного теплообмена критериальное уравнение имеет вид:

$$\mathrm{Nu} = f\,(\mathrm{Re}, \mathrm{Gr}, \mathrm{Pr}).$$

При обработке опытных данных по теплообмену очень важным является усреднение зависящих от температуры физических параметров или выбор так называемой определяющей температуры, по которой находят их значения. Определяющую температуру можно выбирать различно в зависимости от условий поставленной задачи. В некоторых случаях определяющей температурой служит средняя температура жидкости t_f, которую находят по зависимости:

$$t_f = t_w \pm \Delta t,$$

где t_w – температура стенки; Δt – среднелогарифмический температурный напор;

$$\Delta t = \Delta t' \frac{\frac{\Delta t''}{\Delta t'} - 1}{\ln \frac{\Delta t''}{\Delta t'}};$$

$$\Delta t' = t'_f - t'_w;$$

$$\Delta t'' = t''_f - t''_w,$$

где $'$ и $''$ – рассматриваемые сечения потока.

В некоторых случаях в качестве определяющей температуры принимают среднюю температуру стенки t_w или среднеарифметическую температуру $t_m = \dfrac{t_w + t_f}{2}$.

Обычно в критериальных уравнениях указывается, какая температура была принята определяющей, для этого используются подстрочные индексы.

Например, Nu_m означает, что при определении величин, входящих в критерий Нуссельта, за определяющую температуру была принята средняя температура t_m. Критериям Nu_f и Nu_w соответствуют определяющие температуры t_f и t_w.

2.6. Теплоотдача при свободном движении жидкости

Движение среды, омывающей твердую поверхность, если оно вызвано разностью плотностей нагретых и холодных частиц, называют *свободным*.

Таким образом, для возникновения свободного движения жидкости необходима разность температур.

Различают процессы теплообмена, протекающие в большом по сравнению с размерами тела «неограниченном» пространстве, и процессы теплообмена, протекающие в ограниченном пространстве.

Теплоотдача в неограниченном пространстве. Исследование уравнений, описывающих свободную конвекцию на основе теории подобия, показывает, что определяющими критериями являются в этом случае Gr и Pr. Определяемым критерием служит критерий Нуссельта Nu.

Академиком М. А. Михеевым для теплоотдачи в неограниченном пространстве получено критериальное уравнение $\mathrm{Nu}_m = C\,(\mathrm{Pr}\cdot\mathrm{Gr})_m^n$. Значения коэффициента C и показателя n зависят от численного значения комплекса $\mathrm{Pr}\cdot\mathrm{Gr}$ (табл. 2.2) и не зависят от формы тела.

Таблица 2.2

Коэффициенты *C* и *n*

Pr · Gr	***C***	***n***
$10^{-3} – 5\cdot10^{2}$	1,18	$1/8$
$5\cdot10^{2} – 2\cdot10^{7}$	0,54	$1/4$
$2\cdot10^{7} – 10^{13}$	0,135	$1/3$

На рис. 2.4 показано изменение коэффициента теплоотдачи при свободном движении воздуха по высоте трубы. По направлению движения жидкости толщина ламинарного пограничного слоя растет. Процесс теплообмена в пограничном слое осуществляется главным образом вследствие явления теплопроводности, поэтому значение коэффициента теплоотдачи α уменьшается с увеличением толщины слоя. Минимальное значение α соответствует точке перехода ламинарного (струйчатого) режима в турбулентный (вихреоб-

разный), после чего теплоотдача растет. В развитии свободного движения форма тела не имеет особого значения. Большое значение имеют протяженность поверхности, вдоль которой происходит движение, и ее положение.

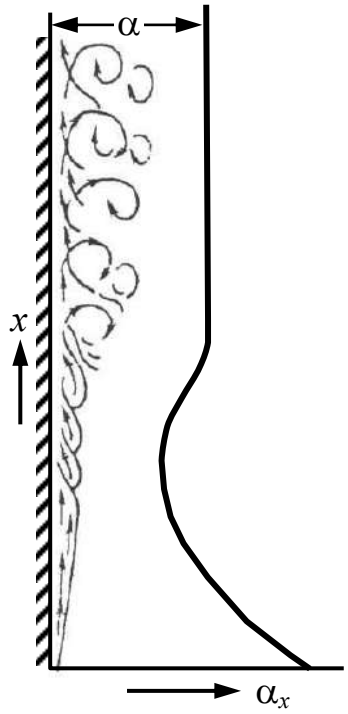


Рис. 2.4. Изменение коэффициента теплоотдачи по высоте трубы при свободном движении воздуха

Около нагретых горизонтальных плоских плит движение жидкости имеет иной характер и в значительной мере зависит от положения плиты и ее размеров (рис. 2.5). Если нагретая поверхность обращена кверху, то движение протекает по схеме рис. 2.5, *а*. При этом если плита имеет большие размеры, то вследствие наличия с краев сплошного потока нагретой жидкости центральная часть плиты оказывается изолированной, и движение внутри происходит лишь в результате опускания холодной жидкости сверху по схеме рис. 2.5, *б*. Если же нагретая поверхность обращена вниз (рис. 2.5, *в*), то движение происходит лишь в тонком слое под поверхностью, остальная же масса жидкости ниже этого слоя остается неподвижной.

Теплоотдача в ограниченном пространстве. В этом случае характер свободного движения в значительно мере зависит от формы замкнутого пространства и от взаимного расположения теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностей (рис. 2.6). Для вертикальных щелей характер свободного движения определяется шириной δ щели, для горизонтальных щелей – расположением теплоот-

дающей поверхности с температурой t_w. Как видно из рис. 2.6, *г,* при расположении теплоотдающей поверхности сверху конвективные токи отсутствуют.

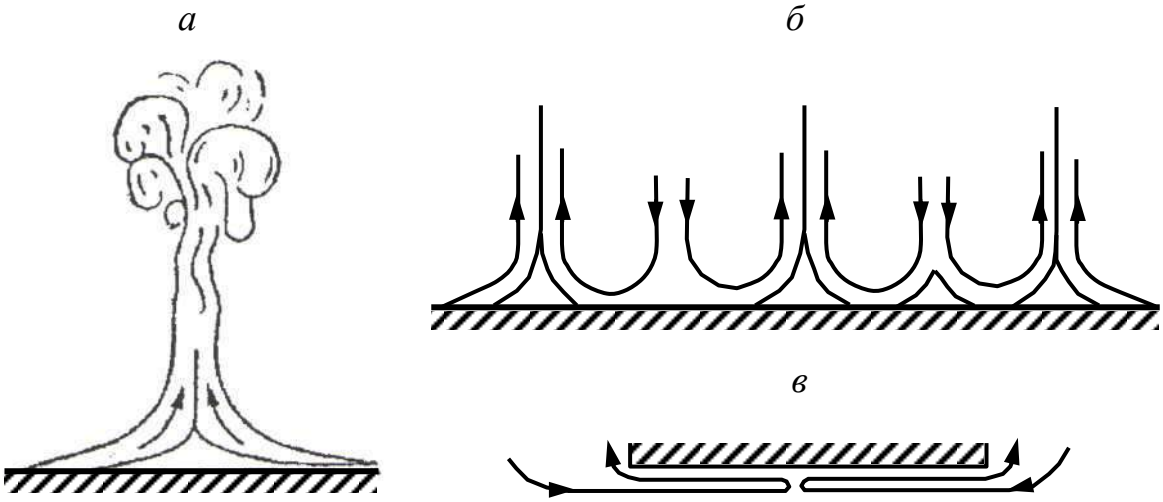


Рис. 2.5. Характер свободного движения жидкости около нагретых горизонтальных плит

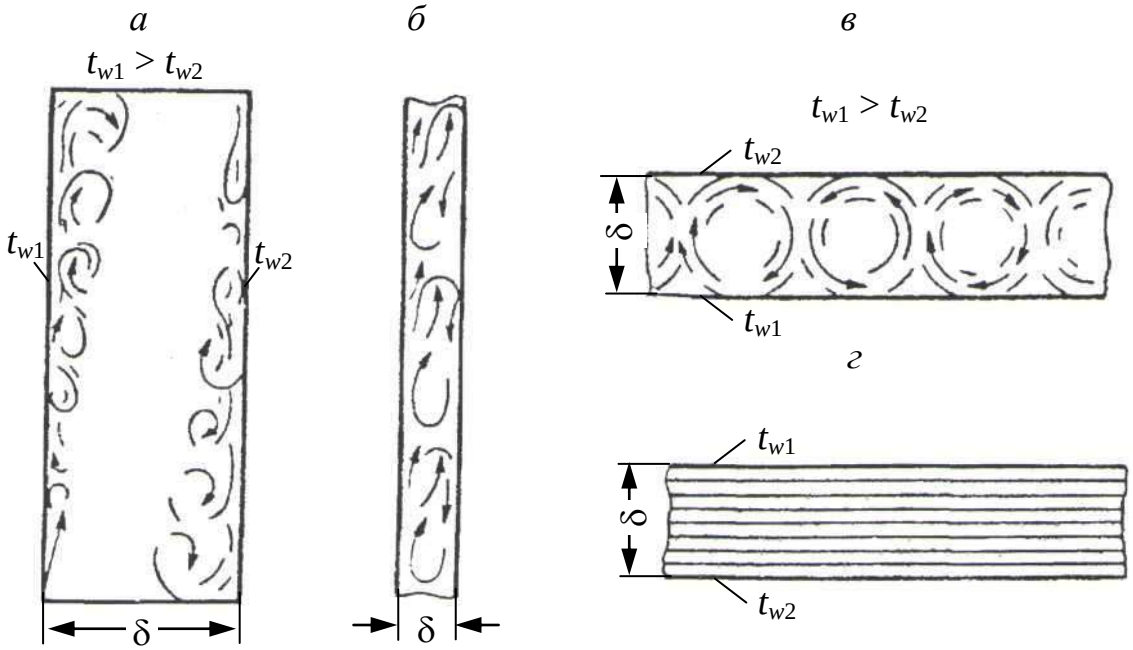


Рис. 2.6. Конвективные токи в ограниченном пространстве:
а – большая ширина прослойки; б – малая ширина прослойки;
в – подогрев снизу, г – подогрев сверху

Расчет теплоотдачи в ограниченном пространстве условно принято выполнять как для явления теплопроводности, при этом вводится понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности:

$$\lambda_{\text{экв}} = \frac{Q}{F\Delta t\delta}.$$

Очевидно, значение $\lambda_{экв}$ будет больше значения коэффициента теплопроводности λ неподвижной среды, заполняющей ограниченное пространство, так как в действительности будет еще иметь место конвекция.

Принято определять значение $\lambda_{экв}$ по формуле:

$$\lambda_{экв} = \varepsilon\lambda,$$

где ε – коэффициент, учитывающий влияние конвекции.

Приближенное значение ε рекомендуется оценивать по следующей формуле:

$$\varepsilon = 0{,}18\,(\mathrm{Gr}\cdot\mathrm{Pr})_f^{0{,}25}.$$

2.7. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости

Теплоотдача при течении жидкости в трубах. Течение жидкости в трубах может быть ламинарным и турбулентным. О режиме течения судят по величине числа Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{w d_{экв}}{\nu},$$

где w – средняя скорость жидкости; $d_{экв}$ – эквивалентный диаметр, равный отношению учетверенной площади сечения трубы к периметру. Для круглой трубы $d_{экв} = d$.

Если $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{кр} = 2000$, то течение является ламинарным. Развитое турбулентное движение устанавливается при $\mathrm{Re} >> 10^4$.

Течение при $2000 \le \mathrm{Re} \le 10^4$ называют переходным. Если жидкость поступает в трубу из большого объема и стенки трубы на входе закруглены, распределение скоростей на входе будет прямолинейным (рис. 2.7). При движении жидкости вдоль трубы у стенок образуется пограничный слой, толщина которого постепенно возрастает. Нарастание толщины приводит к слиянию пограничных слоев, и в трубе устанавливается постоянное распределение скоростей, характерное для данного режима течения.

Расстояние, отсчитываемое от входа, на котором устанавливается постоянное распределение скоростей, носит название *длины гидродинамического начального участка $l_н$ или участка гидродинамической стабилизации.* При изотермическом ламинарном течении $\frac{l_н}{d_{экв}} = 0{,}03\mathrm{Re}$, при турбулентном $\frac{l_н}{d_{экв}} \approx 40$.

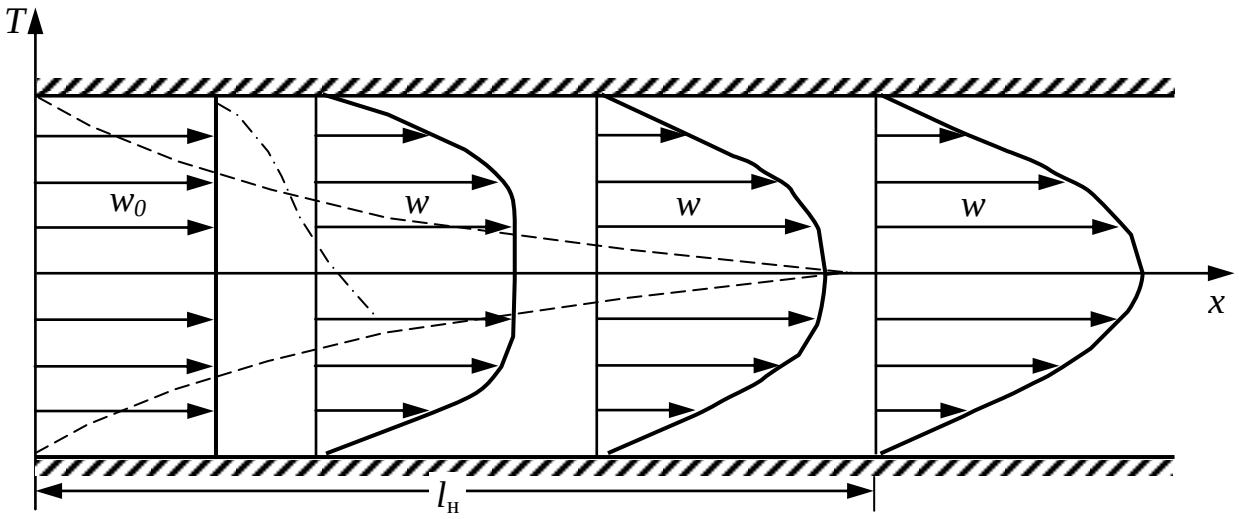


Рис. 2.7. Стабилизация распределения скоростей при движении жидкости в трубе

Изменение коэффициента теплоотдачи α по длине трубы показано на рис. 2.8. Максимальное значение α имеет непосредственно у входа в трубу, затем α убывает и на участке стабилизации принимает вполне определенное значение, которое остается неизменным по всей длине трубы. Это явление можно объяснить следующим образом.

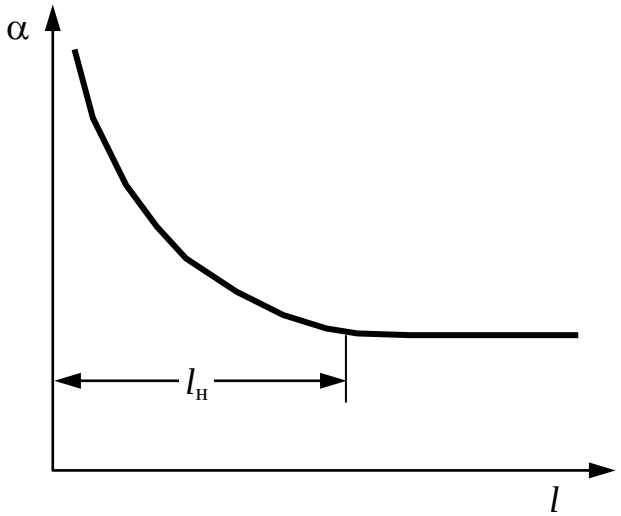


Рис. 2.8. Изменение коэффициента теплоотдачи при входе в трубу

В начальном участке трубы вследствие сравнительно низких значений коэффициента теплопроводности жидкостей и газов падение температуры осуществляется в прилегающем к стенке довольно тонком слое. Поэтому в начальных сечениях температурный градиент $\frac{dt}{dy}$ и температурный напор $\Delta t = t_f - t_w$ имеют бóльшие значения, чем в последующих сечениях.

По закону сохранения энергии количество теплоты, передаваемое в единицу времени стенкам трубы от жидкости $q = \alpha(t_f - t_w)$, равно тому количеству теплоты, которое воспринимается стенками вследствие теплопроводности $q = -\lambda \dfrac{dt}{dy}$.

Тогда $$\alpha = -\frac{\lambda dt}{dy\left(t_f - t_w\right)}.$$

Уменьшение коэффициента теплоотдачи α по длине трубы объясняется тем, что по мере продвижения жидкости температурный градиент убывает быстрее, чем температурный напор. При стабилизированном течении температурный градиент и температурный напор убывают вдоль трубы с одинаковой скоростью.

Рассмотренные закономерности течения жидкости в трубах справедливы при изотермическом течении, т. е. когда температура жидкости не меняется. При наличии теплообмена течение усложняется.

Исследования теплоотдачи в трубах показали, что определяющими критериями являются Gr, Re, Pr и $\dfrac{\mathrm{Pr}_f}{\mathrm{Pr}_w}$.

При ламинарном течении любой жидкости для определения коэффициента теплоотдачи рекомендуется следующая расчетная формула:

$$\mathrm{Nu}_f = 0{,}15\,\mathrm{Re}_f^{0{,}33}\,\mathrm{Pr}_f^{0{,}43}\,\mathrm{Gr}_f^{0{,}1}\left(\frac{\mathrm{Pr}_f}{\mathrm{Pr}_w}\right)^{0{,}25}. \qquad (2.6)$$

Член $\dfrac{\mathrm{Pr}_f}{\mathrm{Pr}_w}$ учитывает влияние направления теплового потока. При ламинарном течении, как видно из уравнения (2.6), теплоотдача существенно зависит от интенсивности свободной конвекции, определяемой значением критерия Грасгофа Gr. При развитом турбулентном режиме развитие свободного движения в жидкости невозможно и критерий Gr выпадает из числа определяющих. В этом случае критериальное уравнение имеет вид:

$$\mathrm{Nu}_f = 0{,}021\,\mathrm{Re}_f^{0{,}8}\,\mathrm{Pr}_f^{0{,}43}\left(\frac{\mathrm{Pr}_f}{\mathrm{Pr}_w}\right)^{0{,}25}.$$

При $\frac{l_н}{d_{экв}}$ < 40 значение коэффициента теплоотдачи выше, поэтому полученное значение α умножается на поправочный коэффициент ε_i, который берут из табл. 2.3. При движении жидкости в изогнутых трубах вследствие центробежного эффекта коэффициент теплоотдачи выше, чем в прямых. Расчет теплоотдачи производится по формулам для прямой трубы с учетом поправочного коэффициента ε_R в качестве сомножителя:

$$\varepsilon_R = 1 + 1{,}77\frac{d_{экв}}{R},$$

где R – радиус изгиба.

Таблица 2.3

Значения $\varepsilon_i = f\,(l/d, \mathrm{Re}_f)$

Re_f	Отношение l/d								
	1	**2**	**5**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**50**
$2\cdot10^3$	1,90	1,70	1,44	1,28	1,18	1,13	1,05	1,02	1
$2\cdot10^4$	1,51	1,40	1,27	1,18	1,13	1,10	1,05	1.02	1
$1\cdot10^5$	1,28	1,22	1,15	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02	1

Теплообмен при поперечном омывании труб. При поперечном омывании цилиндрической трубы (рис. 2.9) теплоотдача определяется характером движения жидкости.

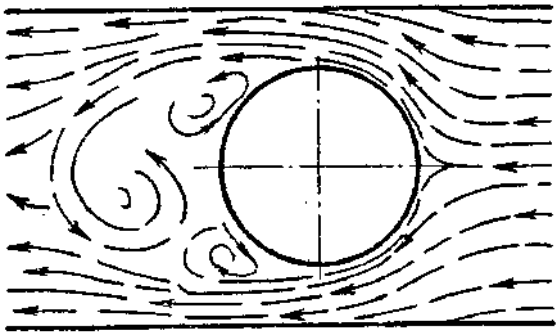


Рис. 2.9. Характер обтекания цилиндрической трубы

А. Одиночная труба

На передней половине цилиндра возникает пограничный слой, толщина которого увеличивается в направлении движения. Вследствие роста толщины слоя возрастает его термическое сопротивление, что приводит к падению коэффициента теплоотдачи α (рис. 2.10).

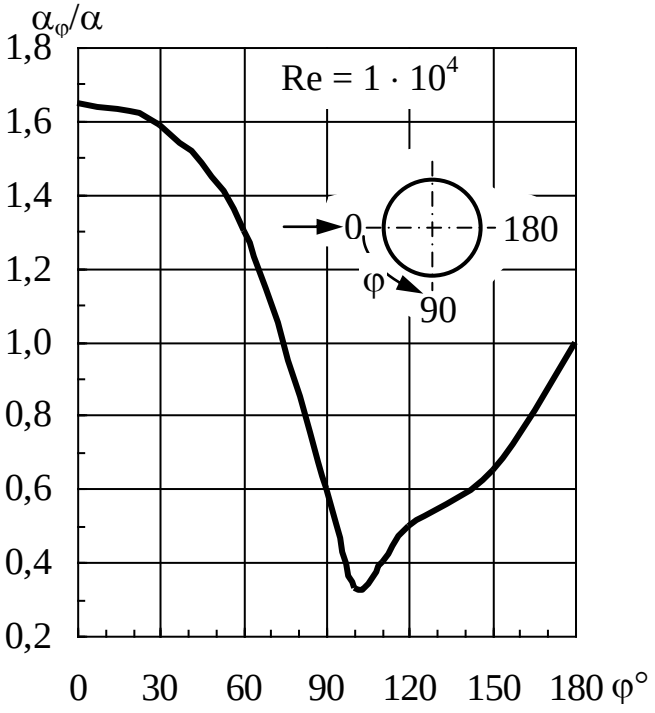


Рис. 2.10. Изменение коэффициента теплоотдачи
по сечению трубы при поперечном обтекании

Минимальное значение α соответствует линии отрыва пограничного слоя от цилиндра.

В кормовой области (после точки отрыва потока) поверхность цилиндра омывается потоком со сложным вихревым движением, значение коэффициента теплоотдачи увеличивается. Отрыв вязкой жидкости с поверхности цилиндра происходит в результате совместного влияния подтормаживания жидкости твердой стенкой и действия перепада давления, поэтому на линии отрыва образуются обратные токи, которые оттесняют набегающий поток от поверхности тела.

На основании опытных данных для расчета средней величины теплоотдачи трубы установлена следующая критериальная зависимость:

$$\mathrm{Nu}_f = C \cdot \mathrm{Re}_f^n \cdot \mathrm{Pr}_f^{0,38} \left(\mathrm{Pr}_f / \mathrm{Pr}_w\right)^{0,25}. \qquad (2.7)$$

Значения C и n зависят от числа Re и формы обтекаемого тела. Для круглых труб они могут быть выбраны из табл. 2.4.

Найденное на основании уравнения (2.7) значение коэффициента теплоотдачи α является средним для всей поверхности цилиндра.

Уравнение (2.7) справедливо только для поперечного (при угле атаки, равном 90°) обтекания.

Таблица 2.4

Значения *C* и *n* для круглых труб

Re	*C*	*n*
$10^2 – 10^3$	0,59	0,47
$10^3 – 10^5 \cdot 2$	0,21	0,62

При уменьшении угла ψ атаки значение α уменьшается, что учитывается в расчетах введением поправки ε_ψ (рис. 2.11):

$$\alpha_\psi = \varepsilon_\psi \, (\alpha_{\psi = 90°}).$$

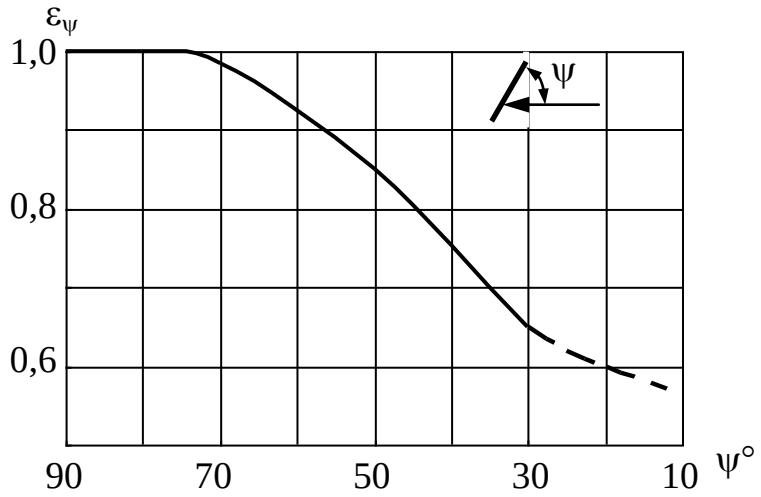


Рис. 2.11. Влияние угла атаки на коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании труб

Б. Пучки труб

Если поперечный поток жидкости омывает пучок труб, то процесс теплоотдачи еще более усложняется ввиду того, что характер движения жидкости, омывающей поверхности труб, в значительной мере зависит от расположения труб. На практике широко распространены коридорное (рис. 2.12, *а*) и шахматное (рис. 2.12, *б*) расположение труб. Опытными данными установлено, что значение коэффициента теплоотдачи второго и третьего рядов труб выше, чем первого; начиная с третьего ряда труб и дальше коэффициент теплоотдачи остается постоянным.

На основе многочисленных опытов академиком М. А. Михеевым предложено для расчета теплоотдачи труб следующее критериальное уравнение:

при коридорном расположении труб в пучке:

$$\mathrm{Nu}_f = 0{,}23 \cdot \mathrm{Re}_f^{0{,}65} \cdot \mathrm{Pr}_f^{0{,}33} \left(\mathrm{Pr}_f / \mathrm{Pr}_w\right)^{0{,}25};$$

при шахматном расположении труб в пучке:

$$\mathrm{Nu}_f = 0{,}41 \cdot \mathrm{Re}_f^{0,6} \cdot \mathrm{Pr}_f^{0,33} \left(\mathrm{Pr}_f / \mathrm{Pr}_w\right)^{0,25}.$$

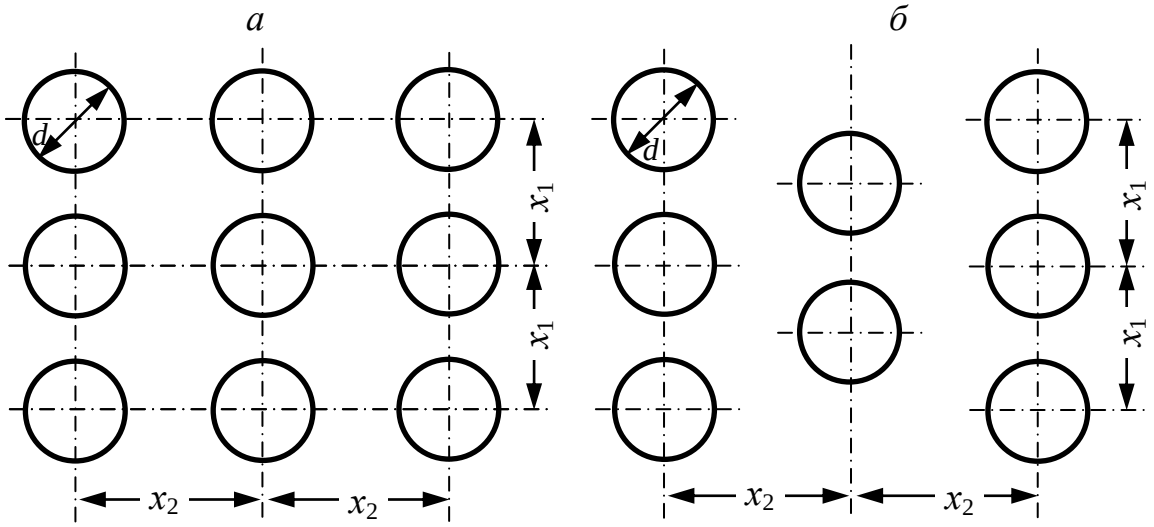


Рис. 2.12. Коридорное и шахматное расположение труб в пучке

В этих формулах в качестве определяющей температуры принята средняя температура жидкости; определяющей скорости – скорость в самом узком сечении ряда; определяющего размера – диаметр трубки.

Для воздуха критериальные уравнения соответственно принимают вид:

$$\mathrm{Nu}_f = 0{,}21 \cdot \mathrm{Re}_f^{0,65};$$

$$\mathrm{Nu}_f = 0{,}37 \cdot \mathrm{Re}_f^{0,6}.$$

Эти формулы позволяют определить среднее значение коэффициента теплоотдачи α для трубок третьего и всех последующих рядов в пучках. Значение коэффициента теплоотдачи для трубок первого ряда пучка определяется умножением найденного значения α для трубок третьего ряда на поправочный коэффициент ε_n = 0,6, для трубок второго ряда – в коридорных пучках ε_n = 0,9, а в шахматных пучках ε_n = 0,70. Если же требуется определить средний коэффициент теплоотдачи всего пучка, то расчет ведут по следующей зависимости:

$$\alpha_{\text{пуч}} = \frac{\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \ldots + \alpha_n F_n}{F_1 + F_2 + \ldots + F_n},$$

где α_1, ..., α_n – коэффициенты теплоотдачи для отдельных рядов; F_1, ..., F_n – поверхности нагрева всех трубок в ряду.

При изменении угла атаки, так же как и для одиночных труб, изменение теплоотдачи учитывается поправочным коэффициентом ε_ψ; $\alpha_\psi = \varepsilon_\psi (\alpha_{\psi - 90°})$:

ψ	90	80	70	60	50	40	30	20	10
ε_ψ	1	1	0,98	0,94	0,88	0,78	0,67	0,52	0,42

Теплообмен при продольном обтекании плоской пластины. Если жидкость обтекает плоскую пластину, то на поверхности пластины возникает ламинарный пограничный слой, толщина которого увеличивается в направлении движения (рис. 2.13). Как только толщина слоя достигает некоторой критической величины $x_{кр}$, пограничный слой становится турбулентным. В изотермических условиях обтекания пластины переход от ламинарного пограничного слоя в турбулентный происходит при $\mathrm{Re}_f \approx 4 \cdot 10^5$, а в неизотермических при $\mathrm{Re}_f \approx 4 \cdot 10^4$.

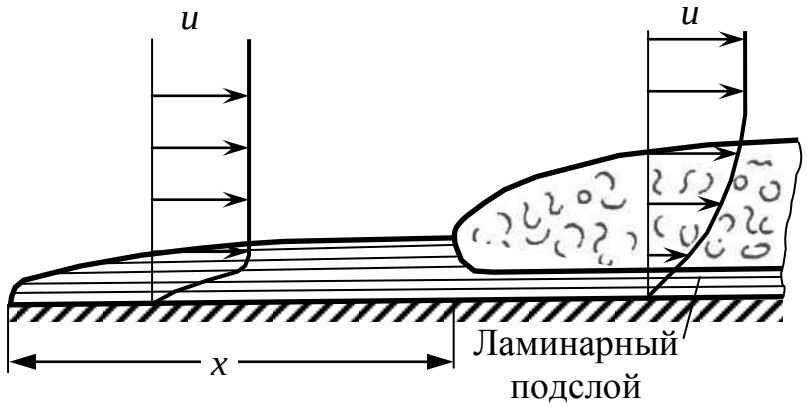


Рис. 2.13. Толщина ламинарного пограничного слоя в направлении движения жидкости (газа)

Для расчета процессов теплообмена, возникающих при обтекании различными жидкостями плоских пластин, академиком М. А. Михеевым предложено следующее критериальное уравнение:

$$\mathrm{Nu}_f = C \cdot \mathrm{Re}_f^n \cdot \mathrm{Pr}_f^{0,43} \left(\mathrm{Pr}_f / \mathrm{Pr}_w \right)^{0,25};$$

для $\mathrm{Re} < 4 \cdot 10^5$ $C = 0,76$, $n = 0,5$;

для $\mathrm{Re} > 4 \cdot 10^5$ $C = 0,037$, $n = 0,8$.

Критериальные уравнения являются основополагающими при определении коэффициентов теплоотдачи в процессе конвективного теплообмена и приводятся в справочниках по теплотехнике.

2.8. Основные понятия и определения лучистого теплообмена

Энергия теплового излучения возникает в теле вследствие тепловой энергии и представляет собой электромагнитные колебания, имеющие длину волны 0,8-40 мкм. Эти колебания известны под названием ультрафиолетовых, световых и инфракрасных лучей.

Излучение, испускаемое телом, падает на окружающие тела, частично поглощается ими (поглощенная энергия при этом превращается в теплоту), частично отражается и частично проходит сквозь тело. Та часть излучения, которая отражается, и та, которая проходит сквозь тело, попадает на другие тела и поглощается ими. Таким образом, каждое тело не только постоянно излучает, но и постоянно поглощает лучистую энергию.

Если из общего количества энергии Q, падающего на тело, поглощается Q_A, отражается Q_R и проходит сквозь тело Q_D (рис. 2.14), то $Q = Q_A + Q_R + Q_D$. Отношение $\frac{Q_A}{Q} = A$ называют *поглощательной способностью*; отношение $\frac{Q_R}{Q} = R$ *– отражательной способностью* и отношение $\frac{Q_D}{Q} = D$ *– пропускной способностью тела.*

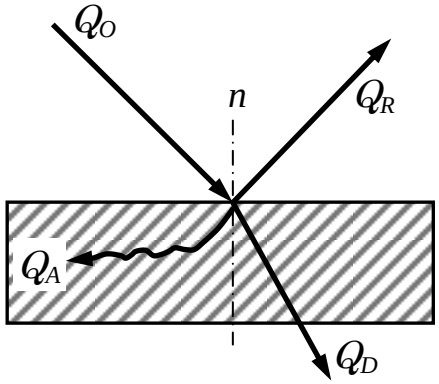


Рис. 2.14. Реакция тела на тепловое излучение

Следовательно, $A + R + D = 1$.

Если $A = 1$, $R = 0$, $D = 0$ – тело абсолютно черное, так как вся энергия поглощается телом.

$A = 0{,}96$ имеют шероховатые тела, покрытые сажей. Если $R = 1$, $A = 0$, $D = 0$ – тело зеркальное и вся энергия отражается телом. При $D = 1$, $R = 0$, $A = 0$ тело абсолютно прозрачное и вся энергия проходит через тело.

В природе абсолютно черных, прозрачных и зеркальных тел нет. Тела, поглощательная способность которых от длины волны не зависит, называют *серыми.* На практике большинство тел можно принимать серыми, а так как твердые тела и жидкости для тепловых лучей непрозрачны ($D = 0$), то для них $A + R = 1$; из этого следует, что если тело хорошо отражает, то оно плохо поглощает лучистую энергию, и наоборот.

2.9. Основные законы лучистого теплообмена

Закон Стефана-Больцмана. По закону Стефана-Больцмана лучеиспускательная способность тела E пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры:

$$E = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \qquad (2.8)$$

где E – лучеиспускательная способность тела, т. е. количество энергии, проходящей через единицу поверхности тела в единицу времени, Вт/м^2; $C_0 = 5{,}69$ – константа излучения абсолютно черного тела, Вт/(м^2·К^4); ε – степень черноты тела, характеризующая собой отношение лучеиспускательной способности E серого тела к лучеиспускательной способности E_0 абсолютно черного тела при той же температуре T:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{C\left(\frac{T}{100} \right)^4}{C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4} = \frac{C}{C_0}. \qquad (2.9)$$

Основные значения ε приведены в табл. 2.5.

Закон Кирхгофа. Рассмотрим случай теплообмена между двумя параллельными плоскостями, находящимися при одинаковых температурах, одна из них серая, а другая абсолютно черная (рис. 2.15).

Пусть абсолютно черное тело излучает энергию E_0. Часть этой энергии в количестве AE_0 поглотится серым телом, остальная энергия в количестве $(1 – A)E_0$ отразится, снова попадет на черное тело и полностью поглотится им. Собственное же излучение серого тела обозначим через E_λ.

Таблица 2.5

Степень черноты некоторых материалов

Материал	*t*, °C	ε
Алюминий шероховатый	26	0,055
Алюминий, окисленный при 600 °C	200-600	0,11-0,19
Железо окисленное гладкое	125-525	0,78-0,82
Золото полированное	225-635	0,018-0,035
Латунь прокатанная	22	0,06
Латунь, окисленная при 60 °C	200-600	0,61-0,59
Медь полированная	80-115	0,018-0,023
Медь, окисленная при 600 °C	200-600	0,57-0,87
Молибденовая нить	725-2 600	0,096-0,292
Никель технический полированный	225-375	0,07-0,087
Никелевая проволока	185-1 000	0,096-0,186
Никель, окисленный при 600 °C	200-600	0,37-0,48
Платина чистая, полированная пластина . . .	225-625	0,054-0,104
Платиновая проволока	225-1 375	0,73-0,182
Серебро полированное, чистое	225-625	0,020-0,032
Асбестовый картон	40-370	0,93-0,950
Бумага тонкая	19	0,92
Кирпич красный	20	0,93
Кирпич огнеупорный	–	0,8-0,9
Лак белый и черный	40-95	0,80-0,98
Масляные краски различных цветов	100	0,92-0,86
Сажа, свечная копоть	95-270	0,95
Продольная нить	1 040-1 405	0,53
Штукатурка шероховатая, известковая	10-88	0,91

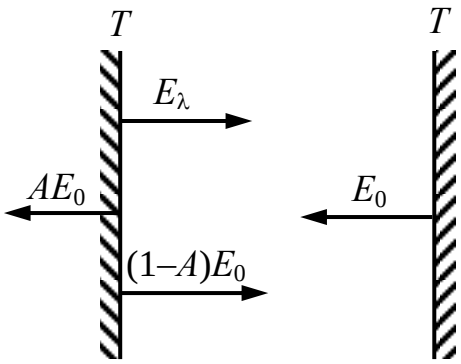


Рис. 2.15. Теплообмен между серой и абсолютно черной поверхностями тел

Так как передача теплоты при равных температурах пластин одинакова, получим:

$$E_0 = (1 - A)E_0 + E_\lambda. \qquad (2.10)$$

Отсюда

$$E_\lambda = AE_0,$$

т. е. количество испускаемого телом излучения равно произведению коэффициента поглощения этого тела на количество испускаемого излучения абсолютно черным телом. Этот закон носит название закона Кирхгофа.

Так как $A < 1$, то $E_\lambda < E_0$.

Рассмотрим случай $A = 0$, т. е. тело не поглощает излучения (данной длины волны), следовательно, по закону Кирхгофа оно и не способно дать соответствующей тепловой энергии. Поэтому красное стекло, не поглощая красных лучей, не может оставаться красным при нагреве до состояния свечения, оно будет излучать зеленый цвет.

Сравнивая формулы (2.9) и (2.10), можно записать, что $\varepsilon = A$, т. е. поглощательная способность и степень черноты тела численно равны между собой.

Закон Ламберта. Закон Ламберта позволяет определить изменение излучения по отдельным направлениям. Рассмотрим излучение с элементарной площадки *dF* на поверхность тела (рис. 2.16).

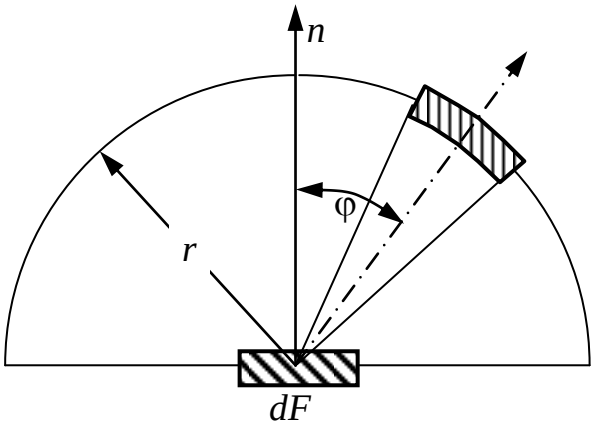


Рис. 2.16. Излучение с элементарной площадки на поверхности тела

Общее количество энергии, излучаемой по всем направлениям в пределах полусферы с 1 м^2 поверхности в единицу времени, равно лучеиспускательной способности $E = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4$.

Если же рассматривать излучение тела лишь в направлении нормали E_n, то известно, что оно будет в $\pi = 3{,}14$ раз меньше, т. е.:

$$E_n = \frac{E}{\pi}. \qquad (2.11)$$

Для любого другого направления излучение равно излучению в направлении нормали, умноженному на cos φ, т. е.:

$$E_\varphi = E_n \cos\varphi. \qquad (2.12)$$

Окончательно получим:

$$E_\varphi = E_n \cos\varphi = \frac{E}{\pi} \cos\varphi = \frac{\varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4}{\pi} \cos\varphi. \qquad (2.13)$$

Закон Ламберта справедлив для абсолютно черных тел, для серых же тел он справедлив при $\varphi \le 60°$.

Закон Планка. Излучение называется монохроматическим, если оно отвечает какой-либо определенной длине волны. Излучение, отвечающее длинам волн от 0 до ∞, называется *интегральным.*

Планком теоретически установлена зависимость интенсивности излучения абсолютно черного тела *I* от длины волны и температуры, Вт/м^3:

$$I_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}, \qquad (2.14)$$

где λ – длина волны излучения, м; *T* – абсолютная температура, К; C_1 и C_2 – постоянные величины.

Формула Планка хорошо подтверждается опытом. Графически закон Планка представлен на рис. 2.17. Анализ формулы Планка показывает, что при всех температурах, при очень малых и очень больших длинах волн λ интенсивность излучения T_λ равна нулю, а при некотором промежуточном значении λ_m она имеет максимум. Таким образом, абсолютно черное тело излучает волны всех длин от 0 до ∞ при всех температурах, кроме $T = 0$ К. Для всех длин интенсивность тем выше, чем выше температура.

Закон Вина. Закон «смещения» Вина вытекает из закона Планка и устанавливает зависимость длины волны λ_m, соответствующей максимальной интенсивности, от температуры:

$$\lambda_m T = 2{,}9.$$

Закон Вина показывает, что при повышении температуры максимум интенсивности излучения смещается в сторону более коротких длин волн (см. рис. 2.17).

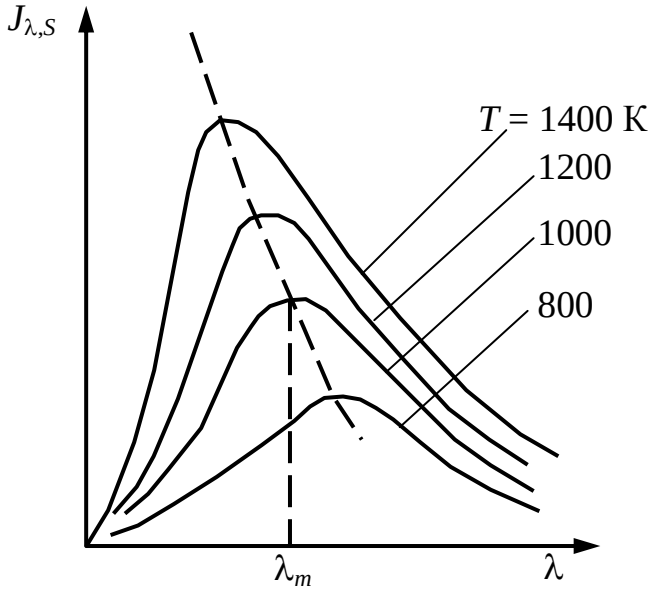


Рис. 2.17. Зависимость интенсивности
излучения от длины волн и температуры

Наглядным качественным подтверждением этого закона является тот факт, что раскаленный металл по мере повышения температуры принимает сначала красный, затем оранжевый и желтый цвета, соответствующие более коротким длинам волн в области видимого спектра.

2.10. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде

Рассмотрим теплообмен между двумя поверхностями, обращенными друг к другу с небольшим зазором (рис. 2.18), причем $T_1 > T_2$. В этой системе E_1 – энергия собственного излучения первого тела на второе, E_2 – второго на первое. Ввиду малого расстояния между ними практически все излучение каждой из рассматриваемых поверхностей попадает на противоположную. Воспользуемся понятием эффективного излучения $E_{эф}$. Для непрозрачного тела ($D = 0$ и $R = 1 - A$):

$$E_{эф} = E + E_{пад}\,(1 - A).$$

Каждое из рассматриваемых тел имеет эффективное (полное) излучение, соответственно, $E_{эф1}$ и $E_{эф2}$. Для первого тела $E_{эф2}$ является падающим излучением, поэтому:

$$E_{эф1} = E_1 + E_{эф2}\,(1 - A_1). \qquad (2.15)$$

Аналогично для второго тела:

$$E_{эф2} = E_2 + E_{эф1}\,(1 - A_2). \qquad (2.16)$$

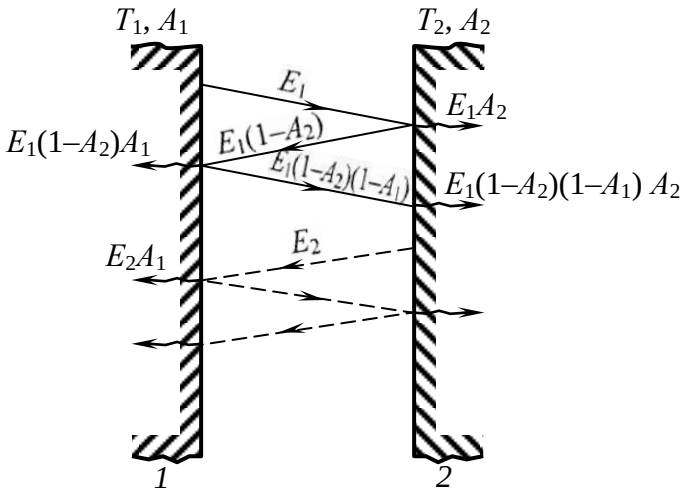


Рис. 2.18. Схема лучистого теплообмена между двумя телами

Плотность результирующего теплового потока от первого тела на второе равна:

$$q_{1,2} = E_{эф1} - E_{эф2}. \qquad (2.17)$$

Подставляя найденные из совместного решения уравнений (2.15) и (2.16) выражения $E_{эф1}$ и $E_{эф2}$ в (2.17), получаем:

$$q_{1,2} = \frac{A_2E_1 - A_1E_2}{A_1 + A_2 - A_1A_2}. \qquad (2.18)$$

Заменим величины E_1 и E_2 по формуле (2.8). Тогда:

$$q_{1,2} = \frac{A_2\varepsilon_1C_0\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - A_1\varepsilon_2C_0\left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{A_1 + A_2 - A_1A_2}. \qquad (2.19)$$

По закону Кирхгофа $A_1 = \varepsilon_1$ и $A_2 = \varepsilon_2$. Заменяя A на ε и преобразуя выражение, получаем:

$$q_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} C_0\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]. \qquad (2.20)$$

Величина

$$\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \varepsilon_{пр} \qquad (2.21)$$

называется *приведенной степенью черноты системы тел*. Формула для полного теплового потока записывается в виде:

$$Q_{1,2} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \qquad (2.22)$$

где F – площадь теплообменной поверхности, одинаковая в нашем случае для обоих тел.

В соответствии с формулой (2.22) полный поток теплоты, передаваемый излучением от горячего тела более холодному, пропорционален поверхности тела, приведенной степени черноты и разности четвертых степеней абсолютных температур тел.

В случае теплообмена между произвольными телами, каждое из них излучает на другое лишь часть энергии, излучаемой им по всем направлениям; остальная энергия рассеивается в пространстве или попадает на другие тела. В этом случае в расчетную формулу (2.22) вводится поправочный коэффициент, называемый *коэффициентом облученности тела* $\varphi_{1,2}$ и учитывающий долю излучения первого тела, которая воспринимается вторым телом.

Таким образом, теплообмен между двумя произвольно расположенными телами может быть рассчитан по формуле:

$$Q_{1,2} = \varphi_{1,2} \varepsilon_{\text{пр}} C_0 F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \qquad (2.23)$$

Коэффициент облученности называют также *угловым коэффициентом излучения*. Это чисто геометрический фактор, зависящий только от формы, размеров тел и их взаимного расположения.

В приближенных расчетах лучистого теплообмена между двумя произвольно расположенными телами $\varepsilon_{\text{пр}}$ допустимо рассчитывать по формуле $\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_1 \varepsilon_2$.

2.11. Сложный теплообмен

Разделение теплопереноса на теплопроводность, конвекцию и излучение удобно для изучения этих процессов. В действительности очень часто встречается сложный теплообмен, при котором теплота передается двумя или даже всеми тремя способами одновременно.

Наиболее распространенным случаем сложного теплообмена является теплоотдача от поверхности к газу (или от газа к поверхности). При этом имеет место конвективный теплообмен между по-

верхностью и омывающим ее газом и, кроме того, та же самая поверхность излучает и поглощает энергию, обмениваясь потоками излучения с газом и окружающими предметами. В целом интенсивность сложного теплообмена в этом случае характеризуют суммарным коэффициентом теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_к + \alpha_л.$$

Обычно считают, что конвекция и излучение не влияют друг на друга. Под коэффициентом теплоотдачи излучением $\alpha_л$ понимают отношение плотности теплового потока излучением $q_л$ к разности температур поверхности и газа:

$$\alpha_л = \frac{q_л}{t_с - t_г}.$$

Способы расчета теплового потока излучением $q_л$ изложены в 2.10.

2.12. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую их стенку

Часто приходится рассчитывать стационарный процесс переноса теплоты от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку (рис. 2.19). Такой процесс называется *теплопередачей*. Он объединяет все рассмотренные нами ранее элементарные процессы. Вначале теплота передается от горячего теплоносителя $t_{ж1}$ к одной из поверхностей стенки путем конвективного теплообмена, который характеризуется коэффициентом теплоотдачи α_1.

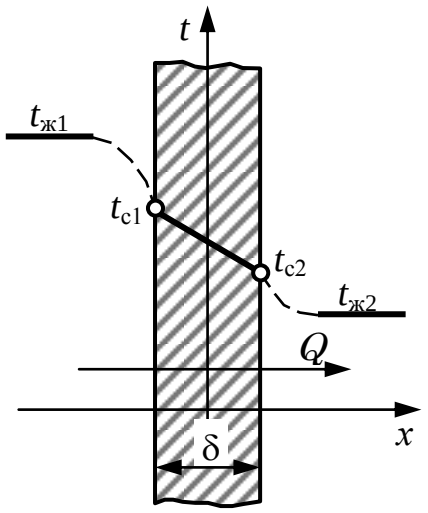


Рис. 2.19. Распределение температуры при передаче теплоты между двумя теплоносителями через плоскую стенку

Затем теплота теплопроводностью переносится от одной поверхности стенки к другой. Термическое сопротивление теплопроводности R_λ рассчитывается в зависимости от вида стенки. И, наконец, теплота опять путем конвективного теплообмена, характеризуемого коэффициентом теплоотдачи α_2, передается от поверхности стенки к холодной жидкости.

При стационарном режиме тепловой поток Q во всех трех процессах одинаков, а перепад температур между горячей и холодной жидкостями складывается из трех составляющих:

1) между горячей жидкостью и поверхностью стенки; обозначим $R_\alpha = \dfrac{1}{\alpha F}$, тогда, согласно закону Ньютона-Рихмана:

$$t_{ж1} - t_{с1} = \frac{Q}{\alpha_1 F} = QR_{\alpha 1}; \qquad (2.24)$$

2) между поверхностями стенки:

$$t_{с1} - t_{с2} = QR_\lambda; \qquad (2.25)$$

3) между второй поверхностью стенки, площадь которой может быть отлична от F_1 (например, для цилиндрической стенки), и холодной жидкостью:

$$t_{с2} - t_{ж2} = \frac{Q}{\alpha_2 F_2} = QR_{\alpha 2}; \qquad (2.26)$$

Просуммировав левые и правые части выражений (2.24), (2.25) и (2.26), получим:

$$t_{ж1} - t_{ж2} = Q\left(\frac{1}{\alpha_1 F_1} + R_\lambda + \frac{1}{\alpha_2 F_2}\right), \qquad (2.27)$$

откуда

$$Q = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{\dfrac{1}{\alpha_1 F_1} + R_\lambda + \dfrac{1}{\alpha_2 F_2}} = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{R_{\alpha 1} + R_\lambda + R_{\alpha 2}} = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{R_к}. \qquad (2.28)$$

Формула (2.28) пригодна для расчета процесса теплопередачи через любую стенку – плоскую, цилиндрическую, однослойную, многослойную и т. д. Отличия при этом будут только в расчетных формулах для R_λ.

Величина $R_\alpha = \dfrac{1}{\alpha F}$ называется *термическим сопротивлением теплоотдачи*, а суммарное термическое сопротивление R_k – *термическим сопротивлением теплопередачи*.

В случае теплопередачи через плоскую стенку (см. рис. 2.19), для которой $R_\lambda = \dfrac{\delta}{\lambda F}$, а площади поверхностей плоской стенки одинаковы с обеих сторон ($F_1 = F_2 = F$), удобнее рассчитывать плотность теплового потока q. Тогда (2.28) преобразуется к виду:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{\dfrac{1}{\alpha_1} + \dfrac{\delta}{\lambda} + \dfrac{1}{\alpha_2}} = k\left(t_{ж1} - t_{ж2}\right); \qquad (2.29)$$

$$k = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1} + \dfrac{\delta}{\lambda} + \dfrac{1}{\alpha_2}}, \qquad (2.30)$$

где k – *коэффициент теплопередачи*. Он характеризует интенсивность процесса теплопередачи от одного теплоносителя к другому через разделяющую их плоскую стенку.

2.13. Теплообменные аппараты

2.13.1. Типы и классификация теплообменных аппаратов

Теплообменными аппаратами (ТА) называются устройства, предназначенные для передачи теплоты от среды с более высокой температурой (теплоотдающей) к среде с более низкой температурой (тепловоспринимающей). Движущиеся среды, участвующие в процессе теплообмена, называются *теплоносителями*.

По способу передачи теплоты ТА делятся на рекуперативные (рис. 2.20, *а–ж*), регенеративные (рис. 2.20, *з*, *и*) и контактные (рис. 2.20, *к*, *л*).

Рекуперативными аппаратами (рекуператорами) называют такие ТА, в которых теплота от одного теплоносителя другому передается через разделяющую их стенку (поверхность теплообмена). Такие аппараты являются наиболее распространенными.

В *регенеративных* аппаратах (регенераторах) одна и та же теплообменная поверхность поочередно омывается теплоотдающим и тепловоспринимающим теплоносителями.

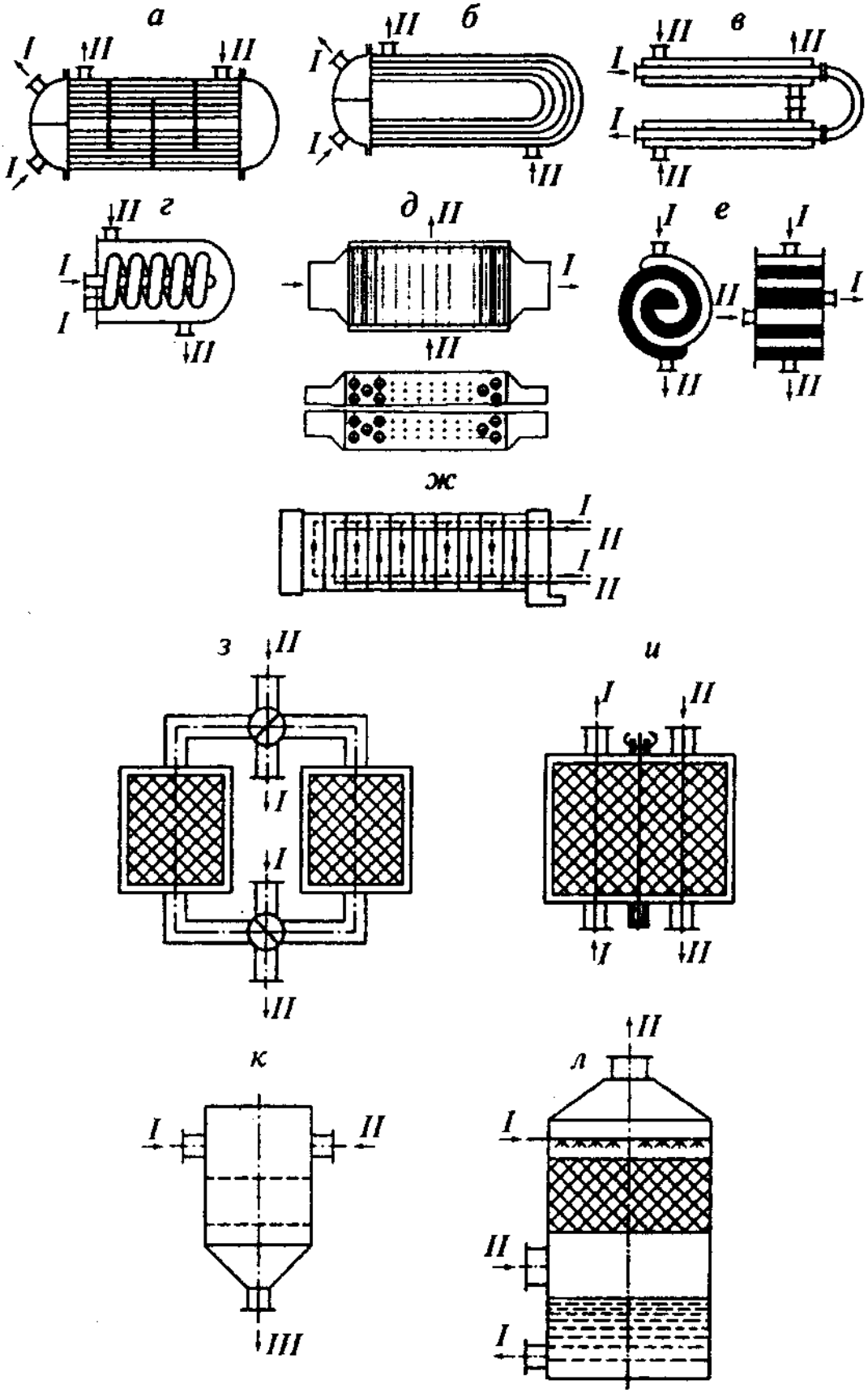


Рис. 2.20. Схемы теплообменных аппаратов:

а, б – кожуотрубных; в – секционных типа «труба в трубе»; г – змеевиковых, коробчатых; е – спиральных; ж – пластинчатых; з – с неподвижной насадкой; и – с подвижной насадкой; к – смесительных; л – насадочных

Обе группы указанных теплообменных аппаратов относятся к категории поверхностных теплообменников, так как в них имеются поверхности теплообмена, отдающие или воспринимающие теплоту. В рекуператорах – это поверхность, разделяющая теплоносители, а в регенераторах – поверхность тех тел (насадок), которые аккумулируют тепловую энергию, а затем отдают ее.

В *контактных* теплообменных аппаратах (градирнях, скрубберах, смесительных, барботажных и др.) перенос теплоты обеспечивается при непосредственном контакте теплоносителей. При этом процесс теплопереноса сопровождается частичным или полным смешением теплоносителей (массопереносом). Принцип действия контактных (смесительных) ТА наглядно иллюстрирует бытовой кран-смеситель холодной и горячей воды.

По характеру теплового режима различают аппараты со *стационарными* и *нестационарными* процессами переноса теплоты. В регенераторах происходят нестационарные процессы аккумуляции теплоты насадкой при омывании ее теплоотдающим теплоносителем с последующей передачей теплоты от насадки к тепловоспринимающему теплоносителю.

Наиболее распространенными являются рекуперативные ТА, которые работают в установившемся тепловом режиме. Ограничимся их рассмотрением, опуская в дальнейшем признаки способа передачи теплоты и характера теплового режима.

По назначению рекуперативных ТА разделяют на *охладители*, *нагреватели*, *конденсаторы*, *испарители*, *выпарные* аппараты и *кристаллизаторы*.

По характеру движения теплоносителей выделяют ТА *с естественной и принудительной циркуляцией*, а также *с движением теплоносителя под действием полей массовых сил*, например, силы тяжести. Примерами аппаратов с естественной циркуляцией являются некоторые конструкции паровых и водогрейных котлов, а аппаратов со свободным движением теплоносителя – конденсаторы, паровые подогреватели нефтепродуктов и некоторые виды контактных теплообменников. К ТА с принудительной циркуляцией относятся аппараты с вынужденным движением теплоносителей в каналах.

По роду теплоносителя ТА различают *газовые*, *газожидкостные* и *жидкостные* аппараты.

По типу поверхности выделяют *трубчатые* ТА и аппараты, теплопередающая поверхность которых выполнена из *листового материала*. В трубчатых ТА используют гладкие прямые и змеевиковые трубы, а также трубы с оребрением. К ТА с поверхностью из листового материала относят спиральные, пластинчатые и пластинчато-ребристые теплообменники.

Трубчатые ТА являются традиционными для энергетических установок отрасли. Тем не менее, в последнее время все более широкое применение стали находить пластинчатые и пластинчато-ребристые теплообменники. Все приведенные ниже теоретические положения справедливы для ТА с любым типом теплообменной поверхности, однако ограничимся рассмотрением только трубчатых ТА, как наиболее распространенных.

По типу кожуха различают *коробчатые* и *кожухотрубные* аппараты. У первых из них вертикально или горизонтально ориентированный трубный пучок расположен в кожухе (корпусе) коробчатого типа. В кожухотрубных аппаратах кожух выполнен в виде цилиндрической обечайки.

Кожухотрубные аппараты монтируют вертикально, горизонтально с наклоном к горизонтальной плоскости, и это необходимо учитывать при расчете теплоотдачи в трубах и каналах ТА.

2.13.2. Схемы тока теплоносителей

Линией тока называют схему взаимного движения теплоносителей в ТА. Противоток реализуется в схеме тока (рис. 2.21, *а*), когда теплоносители, омывая разделяющую их стенку, движутся параллельно и навстречу. С точки зрения передачи теплоты такая схема является наиболее эффективной.

Прямоток реализуется в схеме тока (рис. 2.21, *б*), когда теплоносители не движутся параллельно, но в одном и том же направлении. С точки зрения передачи теплоты такая схема является самой неэффективной.

Перекрестный ток реализуется в схеме тока (см. рис. 2.21, *в*), когда теплоносители, омывая разделяющую их стенку, движутся во взаимно перпендикулярных направлениях.

Если число трубных ходов больше двух, что достигается установкой специальных перегородок в полостях крышек или продольных перегородок в межтрубном пространстве, то полагают, что в

ТА реализован *смешанный (реверсивный) ток* (рис. 2.21, *г*). При этом теплоноситель, движущийся в трубах, как бы выполняет реверс и возвращается к месту входа в ТА.

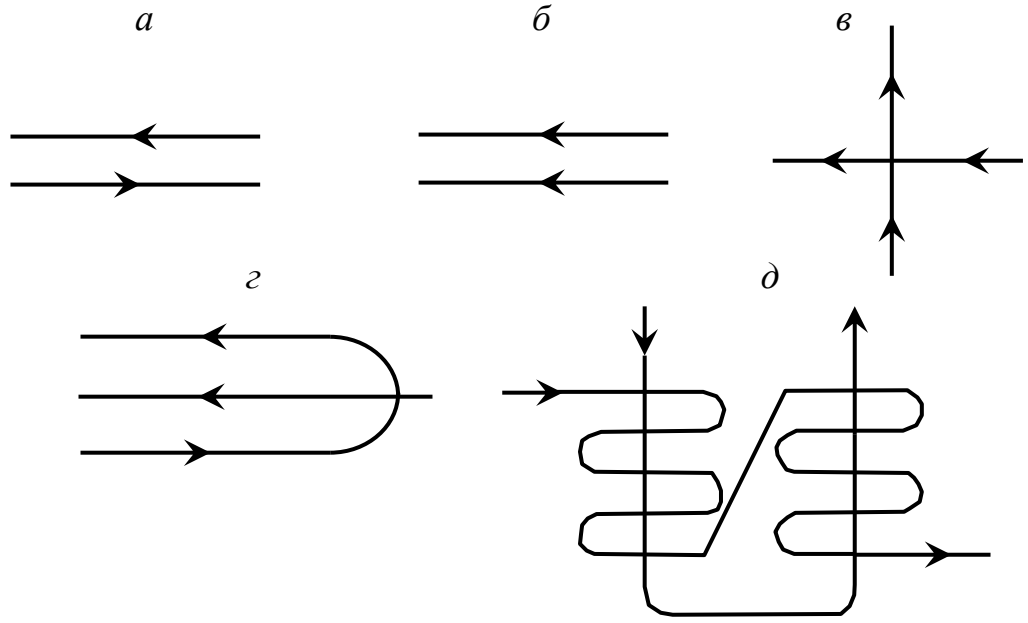


Рис. 2.21. Схемы движения теплоносителей

Ходом называется участок поверхности нагрева, в пределах которого весь расход теплоносителя происходит в одном направлении.

Сплошной ток представляет собой произвольную комбинацию прямотока, противотока, сложного и перекрестного токов (рис. 2.21, *д*).

В общем случае при выборе схемы движения теплоносителей стараются добиться приблизительно одинаковой разности между температурами теплоносителей по всей поверхности теплообмена.

2.13.3. Тепловой баланс

Основу теплового расчета поверхностного теплообменного аппарата составляют уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.

Уравнение теплового баланса (при отсутствии тепловых потерь в окружающую среду) формулируется следующим образом: тепловой поток Φ_1 от теплоотдающего теплоносителя равен тепловому потоку Φ_2 к тепловоспринимающему теплоносителю ($\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$) и записывается так:

$$\Phi = m_{\tau 1} c_{pm} (t_1' - t_1'') = m_{\tau 2} c_{pm2} (t_2'' - t_2') \qquad (2.31)$$

или

$$\Phi = m_{\tau 1}(i_1' - i_1'') = m_{\tau 2}(i_2'' - i_2') \qquad (2.32)$$

где Ф – тепловой поток, Вт; m_τ – массовый расход жидкости, кг/с; c_{pm} – средняя удельная массовая теплоемкость теплоносителя при постоянном давлении, Дж/(кг·К); t – температура теплоносителей, °С; i – удельная энтальпия теплоносителя, Дж/кг.

Индексом «1» отмечены величины, относящиеся к теплоотдающему теплоносителю, «2» – к тепловоспринимающему.

Индексом «′» помечены температуры и удельные энтальпии теплоносителей при входе в теплообменный аппарат; «″» – те же параметры теплоносителей при выходе из аппарата.

Обозначим произведение массового расхода жидкости на среднюю удельную теплоемкость $m_\tau c_{pm}$ через W, а изменения температур теплоносителей $t_1' - t_1''$ через Δt_1 и $t_2'' - t_2'$ через Δt_2 соответственно теплоотдающего и тепловоспринимающего. Величину W называют *условным эквивалентом* или *полной теплоемкостью массового расхода*. Прежнее название, когда массовая теплоемкость измерялась в ккал/(кг·°С) и для воды равнялась 1 ккал/(кг·°С) – *водяной эквивалент*, поскольку W численно равнялось эквивалентному расходу воды, имеющему ту же полную теплоемкость, что и расход рассматриваемого теплоносителя теплоемкостью c_{pm}.

Тогда уравнение теплового баланса (2.31) можно записать так:

$$W_1 \Delta t_1 = W_2 \Delta t_2 . \qquad (2.33)$$

Из выражения (2.33) следует:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{W_2}{W_1} . \qquad (2.34)$$

Из (2.34) получаем, что *изменения температур жидкостей обратно пропорциональны произведениям из массовых расходов на удельные теплоемкости*.

Введем обозначения для разностей удельных энтальпий жидкостей: $\Delta i_1 = i_1' - i_1''$ и $\Delta i_2 = i_2'' - i_2'$.

Тогда уравнение теплового баланса (2.32) можно записать так:

$$m_{\tau 1} \Delta i_1 = m_{\tau 2} \Delta i_2 . \qquad (2.35)$$

Из (2.35) следует:

$$\frac{\Delta i_1}{\Delta i_2} = \frac{W_2}{W_1} , \qquad (2.36)$$

т. е. *изменения удельных энтальпий теплоносителей обратно пропорциональны их условным эквивалентам*.

Уравнения (2.31), (2.33) и (2.34) можно применять только в случае отсутствия фазовых превращений (кипения, конденсации) одного или обоих теплоносителей в теплообменном аппарате, а уравнения (2.32), (2.35) и (2.36) – для всех случаев теплообмена при наличии или отсутствии фазовых превращений жидкости.

На рис. 2.22 показаны характерные кривые изменения температур жидкостей при движении их вдоль поверхности нагрева площадью A в зависимости от отношения $\frac{W_1}{W_2}$ для прямотока и противотока.

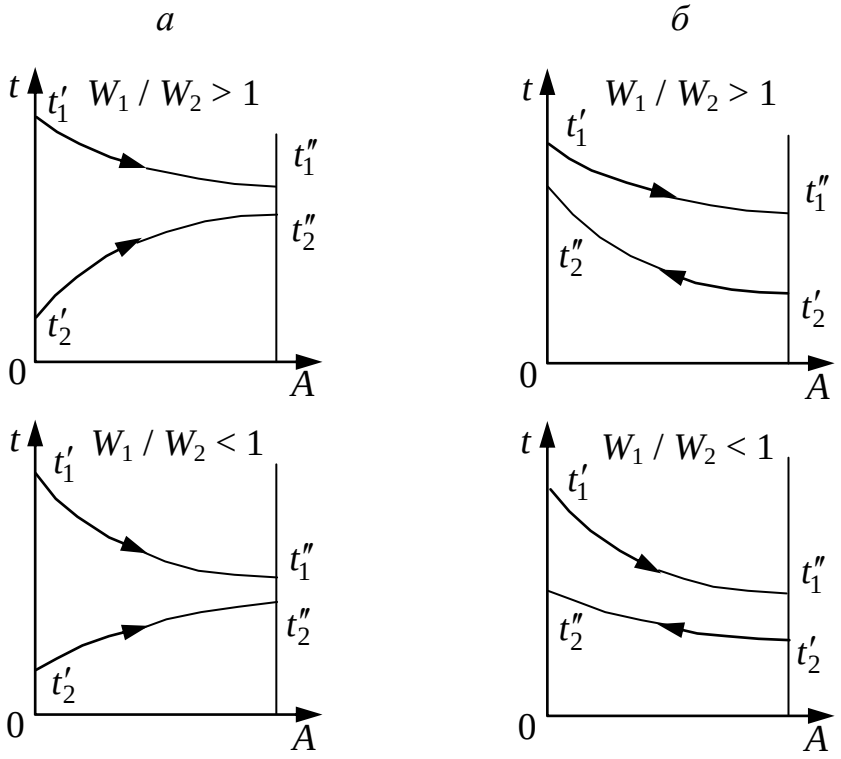


Рис. 2.22. Изменение температур при различных схемах движения теплоносителей:
а – прямоток; б – противоток

В соответствии с формулой (2.34) наибольшее изменение температуры Δt происходит у того теплоносителя, у которого произведение массового расхода на удельную теплоемкость $m_\tau c_{pm}$ меньше.

2.13.4. Температурный напор

Уравнение теплопередачи для теплообменного аппарата

$$\Phi = kA\Delta t_{\mathrm{T}}, \qquad (2.37)$$

где Ф – тепловой поток от теплоотдающего к тепловоспринимающему теплоносителю через разделяющую их стенку, Вт; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2·К); A – площадь поверхности теплообмена, м^2; $\Delta t_{\text{Т}}$ – средняя разность температур теплоносителей, называемая температурным напором и зависящая от их начальных и конечных температур и схемы теплообмена (прямоточной, противоточной, перекрестной, смешанной и др.).

Определим температурный напор $\Delta t_{\text{Т}}$ для общего случая теплопередачи, когда температура теплоносителей меняется вдоль поверхности теплового обмена. Для этого рассмотрим ТА, работающий в стационарном режиме по схеме противотока (рис. 2.23, *а*) или прямотока (рис. 2.23, *б*).

Для элементарной площади поверхности теплообмена dA, удаленной от начала поверхности на размер x, можно написать уравнение теплопередачи (2.37) и уравнение теплового баланса (2.31).

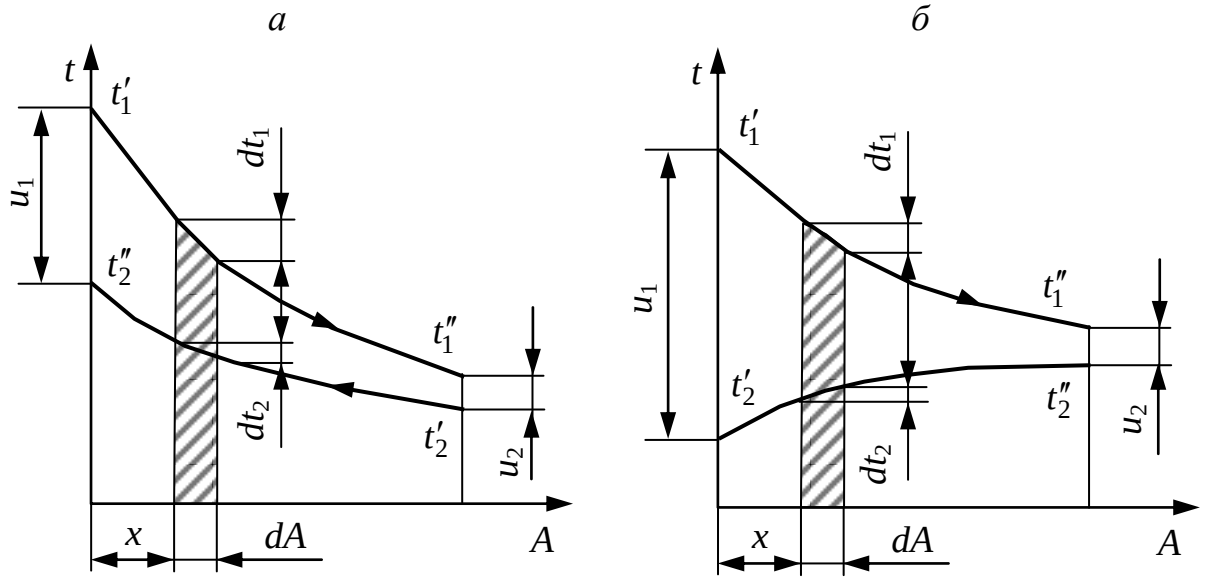


Рис. 2.23. Расчетные схемы для определения температурного напора:
а – противоток; б – прямоток

Поскольку при стационарном режиме тепловые потоки для теплоносителей равны, то уравнение теплового баланса можно записать в дифференциальной форме:

для случая противотока $\delta\Phi = -W_1 dt_1 = -W_2 dt_2$; (2.38)

для случая прямотока $\delta\Phi = W_1 dt_1 = W_2 dt_2$. (2.39)

Знаки плюс или минус у dt_1 и dt_2 выбираются в зависимости от направления движения жидкостей. Так, при противотоке при увеличении площади поверхности теплообмена на dA температуры t_1 и

t_2 уменьшаются, а при прямотоке температура t_2 увеличивается, в то время как температура t_1 уменьшается.

В дальнейшем рассмотрим только случай противотока. Из (2.38) следует:

$$dt_1 = -\frac{\delta\Phi}{W_1}; \tag{2.40}$$

$$dt_1 = -\frac{\delta\Phi}{W_2}. \tag{2.41}$$

Вычитая почленно (2.41) из (2.40), получаем:

$$d(t_1 - t_2) = -\frac{\delta\Phi}{\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}}. \tag{2.42}$$

В соответствии с выражением (2.34):

$$\delta\Phi = kdA(t_1 - t_2). \tag{2.43}$$

После подстановки выражения (2.43) в (2.42) получаем:

$$d(t_1 - t_2) = -kdA(t_1 - t_2)\left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}\right). \tag{2.44}$$

Разделяя переменные, интегрируем в пределах изменения разности температур от $t_1' - t_2'' = v_1$ до $t_1'' - t_2' = v_2$ и A от 0 до A:

$$-\int_{v_1}^{v_2}\frac{d(t_1 - t_2)}{(t_1 - t_2)} = k\left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}\right)\int_0^A dA; \tag{2.45}$$

$$\ln\frac{v_1}{v_2} = kA\left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}\right). \tag{2.46}$$

Подставляя значение kA из выражения (2.37) в (2.46), получим:

$$\ln\frac{v_1}{v_2} = \frac{\Phi\left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}\right)}{\Delta t_{\text{T}}};$$

$$\Delta t_{\text{T}} = \frac{\frac{\Phi}{W_1} - \frac{\Phi}{W_2}}{\ln\frac{v_1}{v_2}}. \tag{2.47}$$

Интегрируем выражение (2.38) в пределах изменения температур t_1 и t_2:

$$\frac{\Phi}{W_1} = t_1' - t_1''; \qquad (2.48)$$

$$\frac{\Phi}{W_1} = t_2'' - t_2'. \qquad (2.49)$$

Подставив выражения (2.48) и (2.49) в (2.47), получим окончательную расчетную формулу для определения средней разности температур Δt_{T}:

$$\Delta t_{\text{T}} = \frac{v_1 - v_2}{\ln \dfrac{v_1}{v_2}}, \qquad (2.50)$$

где $v_1 = t_1' - t_2''$ и $v_2 = t_1'' - t_2'$ – для противотока.

В случае прямотока порядок вывода и окончательное выражение для Δt_{T} остаются прежними, но для прямотока $v_1 = t_1' - t_2'$ и $v_2 = t_1'' - t_2''$.

Таким образом, при переменных температурах жидкостей для расчета теплопередачи следует применять выражение (2.37), определяя температурный напор (среднюю разность температур) Δt_{T} по выражению (2.50).

Величина Δt_{T}, определяемая по выражению (2.50), называется среднелогарифмической разностью температур или среднелогарифмическим температурным напором.

Часто формулу для среднелогарифмического температурного напора записывают в следующем виде:

$$\Delta t_{\text{T}} = \frac{v_{\text{б}} - v_{\text{м}}}{\ln \dfrac{v_{\text{б}}}{v_{\text{м}}}}, \qquad (2.51)$$

где $v_{\text{б}}$ и $v_{\text{м}}$ – соответственно наибольший и наименьший температурные напоры между теплоносителями.

Если температура одного из теплоносителей в пределах поверхности теплообмена остается постоянной (рис. 2.24) и равной температуре t_s фазового превращения (испарения, конденсации), то среднеарифметический температурный напор:

$$\Delta t_{\mathrm{T}} = \frac{t' - t_s}{\ln \dfrac{t' - t_s}{t'' - t_s}}, \qquad (2.52)$$

где t' и t'' – температуры теплоносителя с изменяющейся температурой на входе в ТА и выходе из него.

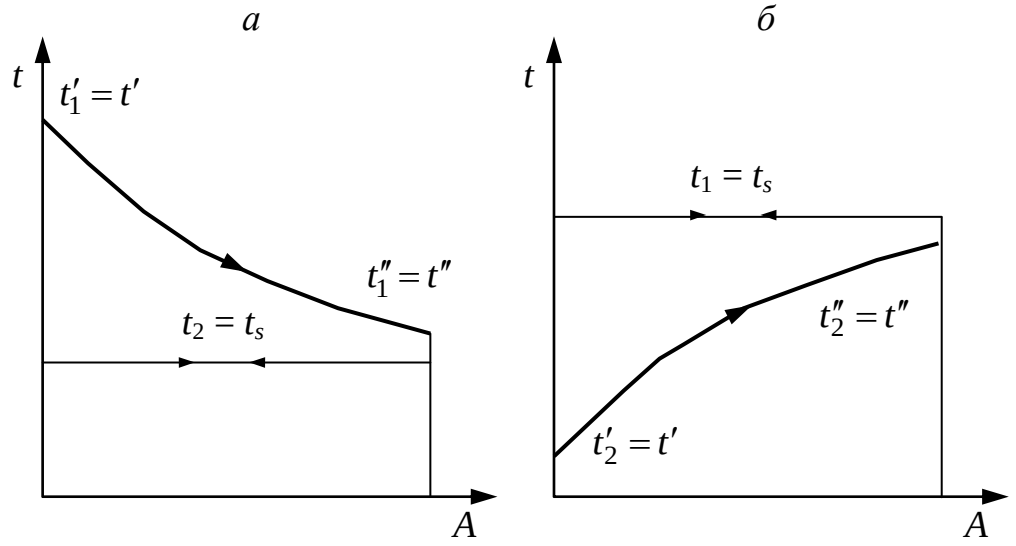


Рис. 2.24. Изменение температур теплоносителей при фазовых превращениях:
а – испарение; б – конденсация

При $\dfrac{\Delta t_{\mathrm{б}}}{\Delta t_{\mathrm{м}}} < 1{,}7$ температурный напор с достаточной степенью точности может быть заменен среднеарифметической разностью температур:

$$\Delta t_{\mathrm{T}} = 0{,}5\left(\Delta t_{\mathrm{б}} + \Delta t_{\mathrm{м}}\right). \qquad (2.53)$$

При любых значениях температуры и любых значениях произведений массового расхода на удельную теплоемкость $m_\tau c_{pm}$ *наибольший возможный температурный напор* $(\Delta t_{\mathrm{T}})_{\mathrm{прот}}$ *достигается при использовании противоточной схемы, и наименьший напор – при прямотоке* (при прочих равных условиях), в связи с чем при проектировании теплообменных аппаратов рекомендуется применение противоточной схемы. Однако при этом необходимо учесть, что при противотоке поверхность теплообмена на начальном ее участке находится в худших температурных условиях, чем при прямотоке, так как этот участок омывается жидкостями, имеющими наибольшие температуры t_1' и t_2'. По этой причине (а иногда по конструктивным соображениям) в некоторых случаях применяют прямоточную схему или

сложную, подобную изображенной на рис. 2.21, *г* (например, в пароперегревателях с высокой температурой перегретого пара).

Среднелогарифмический температурный напор для любой смешанной схемы движения теплоносителей всегда меньше, чем при противотоке, и больше, чем при прямотоке.

При перекрестной схеме и сложных схемах движения теплоносителей задача нахождения среднего температурного напора решается при помощи достаточно громоздких математических выражений, используемых только при расчете ТА на ЭВМ. При немашинном расчете обычно используют упрощающие расчет графики. Для любой схемы теплообмена можно написать:

$$\Delta t_{\mathrm{T}} = \varepsilon_{\Delta t} \left(\Delta t_{\mathrm{T}}\right)_{\mathrm{прот}}, \qquad (2.54)$$

где $\varepsilon_{\Delta t}$ – поправочный коэффициент, меньший единицы, выбираемый из графика. Значение $\varepsilon_{\Delta t}$ можно представить как функцию двух безразмерных параметров P и R:

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t}; \qquad (2.55)$$

$$R = \frac{t_1' - t_2'}{t_2'' - t_2'} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}. \qquad (2.56)$$

Разности температур Δt_1, Δt_2 и $\Delta t'$ приведены на рис. 2.25. Таким образом, расчет сложных схем можно свести к определению $(\Delta t_{\mathrm{T}})_{\mathrm{прот}}$ для противоточной схемы по (2.38) и поправочного коэффициента $\varepsilon_{\Delta t}$ по графику в зависимости от значений P и R.

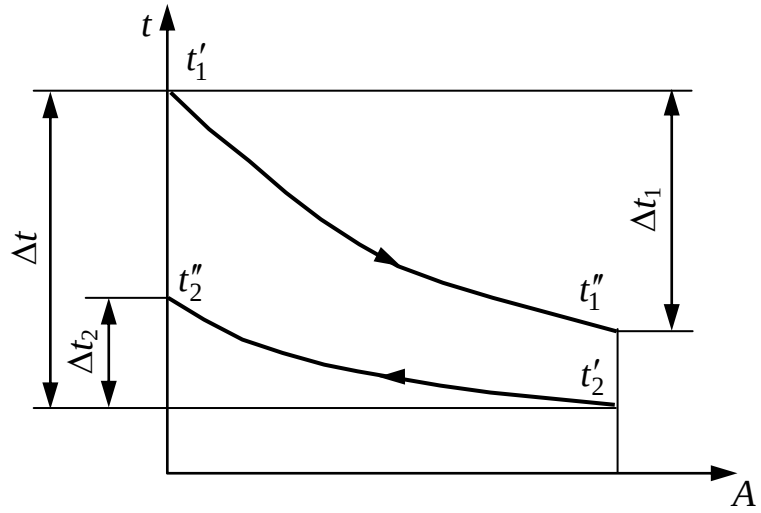


Рис. 2.25. График для расчета значений P и R

На рис. 2.26 представлен график функции $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$ для перекрестной схемы движения, когда одна из жидкостей движется перпендикулярно пучку параллельных труб, внутри которых движется вторая жидкость. Графики $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$ для часто встречающихся сложных схем представлены в специальной литературе.

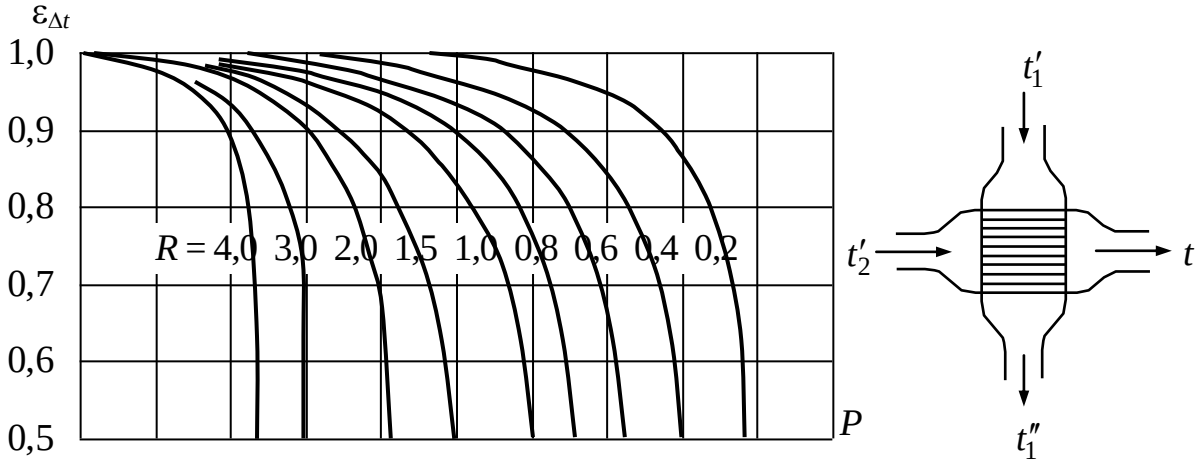


Рис. 2.26. График для определения значения поправочного коэффициента $\varepsilon_{\Delta t}$

В основное уравнение теплопередачи (2.37) входит коэффициент теплопередачи k. Обычно при расчете теплообменных аппаратов считают k = const, поскольку коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 определяют по средней температуре теплоносителей $t_{\text{пот1}}$ и $t_{\text{пот2}}$ или стенки. Для жидкости с большим значением W температуру $t_{\text{пот1}}$ принимают как среднеарифметическую из крайних значений, а для жидкости с меньшим значением W среднюю температуру $t_{\text{пот2}}$ подсчитывают по формуле:

$$t_{\text{пот}\,2} = t_{\text{пот}\,1} \pm \Delta t_{\text{Т}}. \qquad (2.57)$$

Полученная зависимость позволяет достаточно точно рассчитать необходимые параметры теплообменных аппаратов различных типов.

2.13.5. Тепловые расчеты

По назначению расчеты ТА подразделяются на конструкторские, проектные, проектно-конструкторские, проверочные, проектно-проверочные и исследовательские.

Конструкторские расчеты проводят на базе определенной технологической программы специализированных предприятий по производству ТА с использованием заранее разработанных каталогов основных деталей. В соответствии с этими документами и за-

данным типом ТА выбирают конструктивные размеры основных деталей и рассчитывают прочность. Иногда к категории конструкторских относят расчеты количества труб в трубных ходах, рабочих длин труб (между трубными решетками), а также некоторые другие расчеты, уточняющие конструкцию ТА.

Проектные расчеты имеют целью определения поверхности теплопередачи *A* при заданных энергетических параметрах. Как правило, проектные расчеты ориентированы на использование стандартизованных конструкций. Наиболее трудоемкими частями проектного расчета являются определение коэффициента теплопередачи, среднего температурного напора и потерь давления (гидродинамический расчет).

Проектно-конструкторский расчет отличается от проектного тем, что объектом расчета является нестандартный ТА.

При *проверочном расчете* исходными данными являются тип ТА, все его конструктивные размеры, расходы теплоносителей, а также любая пара температур t_1', t_1'', t_2', t_2''. Целью расчета является определение неизвестных концевых температур и характеристик теплообменника.

Проектно-проверочный расчет включает в себя проектный или проектно-конструкторский и полный проверочный расчеты. Обычно при проектном расчете округляют размеры до нормализованных величин и вводят некоторый запас теплообменной поверхности, а это приводит к отличию расчетной поверхности теплопередачи от действительно необходимой. Поэтому задачей окончательного проверочного расчета является корректировка выходных температур или расходов теплоносителей.

Целью *исследовательских расчетов* является оптимизация термодинамических, энергетических, конструктивных или экономических показателей ТА, корректировка расчетных уравнений по экспериментальным данным, проверка тех или иных зависимостей, выявление влияния различных физических величин, а также условий эксплуатации на характеристики ТА или исследуемые величины и т. п.

Как правило, при проведении расчетных исследований выполняют десятки и сотни отдельных расчетов, объединенных специальным планом, разработанным на базе идей математической теории планирования эксперимента.

Проектный расчет. Рассмотрим совокупность вычислительных операций, необходимых для конструирования нового ТА и определения его характеристик.

В состав исходных данных обычно входят следующие величины:

- температуры носителей t_1', t_1'', t_2', t_2'' (температура t_2'' чаще всего не задается);
- расходы теплоносителей $m_{\tau 1}$ и $m_{\tau 2}$ и их давление (если теплоноситель – газ);
- размеры каналов для прохода теплоносителей, которые если не заданы, то определяются при эскизной проработке пучка;
- допустимые потери давления Δp_1^* и Δp_2^*, допускаемые скорости движения теплоносителей, геометрические размеры труб или пластин;
- плотность и теплопроводимость материала труб или других элементов теплопередающей поверхности;
- число ходов теплоносителя в трубах, коэффициенты запаса.

Проектный расчет выполняют в такой последовательности:

1) определяют недостающие исходные данные, например t_2'' и т. п.;

2) рассчитывают поверхность теплопередачи (прямой расчет);

3) выполняют гидродинамический расчет (определение потерь давления);

4) рассчитывают тепловые, энергетические, массовые, объемные и прочие показатели эффективности ТА.

Прямой расчет выполняют в такой последовательности:

1) рассчитывают геометрические характеристики теплопередающей поверхности, необходимые для расчета коэффициентов теплоотдачи α_1, α_2 и теплоотдачи k, а также проходные сечения;

2) определяют теплофизические свойства теплоносителей при определяющих температурах t_1 и t_2 по таблицам или с помощью уравнений, аппроксимирующих эти таблицы;

3) находят коэффициенты теплоотдачи α_1, α_2 и теплоотдачи k;

4) определяют средний температурный напор Δt_{T};

5) рассчитывают требуемую поверхность теплоотдачи по уравнению $A = \dfrac{\Phi}{k\Delta t_{\text{T}}}$ при $\Phi = W_1\left(t_1' - t''\right) = W_2\left(t_2'' - t_2'\right)$;

6) увеличивают площадь A с учетом коэффициентов запаса, определяют линейные размеры теплопередающей поверхности, число рядов труб или перегородок и т. п.

Проверочный расчет. Излагаемый алгоритм проверочного расчета, так же как и алгоритм проектного расчета, не привязан к конкретной конструкции ТА и поэтому недостаточно детализирован.

Главное отличие проверочного расчета от проектного по структуре заключается в замене прямого расчета, имеющего целью определение площади поверхности теплопередачи A, обратным расчетом, целью которого является определение неизвестных концевых температур уже спроектированной или даже изготовленной конструкции. Поэтому по сравнению с проектным расчетом изменяется и состав исходных данных, в числе которых могут быть включены следующие величины:

- две температуры из набора t_1', t_1'', t_2', t_2'';
- расходы теплоносителей $m_{\tau 1}$, $m_{\tau 2}$ и их давления; один из расходов, например $m_{\tau 2}$, может быть и не задан;
- все линейные и габаритные размеры трубного пучка, труб, каналов, число рядов труб, число перегородок, шаги разбивки трубного пучка S_1 и S_2, число трубных ходов и т. д.;
- плотность и теплопроводность материала труб или других элементов теплопередающей поверхности;
- допускаемые скорости движения теплоносителей, допускаемые потери давления, коэффициенты запаса на неточность задания термического сопротивления загрязняющих отложений, неопределенность влияния обводных течений и неточность уравнений подобия.

Последовательность обратного расчета:

1) расчет геометрических характеристик теплопередающей поверхности, проходных сечений и площади поверхности теплопередачи A;

2) предварительное задание определяющих температур и определение теплофизических свойств теплоносителей по таблицам или с помощью уравнений, аппроксимирующих данные этих таблиц;

3) расчет коэффициентов теплоотдачи α_1, α_2 и теплоотдачи k с учетом коэффициентов запаса;

4) определение числа единиц переноса теплоты, полных теплоемкостей массовых расходов, тепловой эффективности и т. п.;

5) расчет неизвестных концевых температур;

6) уточнение определяющих температур и повторение расчета, начиная с п. 2.

Как и в проектном расчете, обязательными частями проверочного являются гидродинамический расчет и расчет характеристик.

Более подробно методики теплового расчета теплообменных аппаратов приводятся в специальной литературе.

2.13.6. Гидродинамический расчет

Определение затрат мощности на преодоление гидравлического сопротивления является важной задачей проектных и поверочных расчетов ТА, так как от величины этих затрат зависит оценка энергетического совершенства выбранной конструкции.

При движении жидкости всегда возникают силы сопротивления этому движению. Поэтому при проектировании теплообменного аппарата нужно определить не только площадь поверхности теплообмена, но и гидравлические сопротивления, которые будут определять затраты энергии на привод вентилятора или насоса, подающего жидкость в аппарат.

Гидравлические сопротивления, как и коэффициент теплопередачи, зависят от скорости жидкостей в аппарате. С увеличением скорости возрастает коэффициент теплоотдачи, что приводит к уменьшению площади поверхности теплообмена, но одновременно увеличивается гидравлическое сопротивление, что обусловливает возрастание затрат энергии на обеспечение движения жидкостей в теплообменном аппарате. В связи с этим скорости жидкостей в аппаратах следует выбирать в оптимальных пределах, исходя из стоимостей теплообменного аппарата и энергии на привод обслуживающего его насоса или вентилятора.

Полное гидравлическое сопротивление аппарата при неизотермическом движении жидкости через теплообменный аппарат:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} + \Delta p_{\text{у}} \pm \Delta p_{\text{с}}, \qquad (2.58)$$

где $\Delta p_{\text{тр}}$ – сопротивление трения; $\Delta p_{\text{м}}$ – местные сопротивления; $\Delta p_{\text{у}}$ – гидравлические сопротивления, обусловленные ускорением потока вследствие неизотермичности процесса теплообмена; $\Delta p_{\text{с}}$ – потери давления на преодоление самотяги.

Гидравлические сопротивления трения, возникающие при продольном и поперечном омываниях поверхности теплообмена, различны.

При турбулентном неизотермическом течении жидкости в трубах и каналах гидравлические сопротивления, Па:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \xi \frac{l}{d_{\text{э}}} \rho \frac{w^2}{2}, \qquad (2.59)$$

где ξ – безразмерный коэффициент сопротивления трения; l – длина канала, м; $d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр, м; ρ – плотность теплоносителя при определяющей температуре, кг/м^3; w – скорость движения теплоносителя, м/с.

Коэффициент сопротивления трения зависит от режима течения теплоносителя, чистоты поверхности и направления теплового потока. Для турбулентного режима при высоте выступов шероховатости меньше толщины пограничного слоя коэффициент:

$$\xi = \frac{0{,}3164}{\text{Re}_{\text{пот}}^{0{,}25}} \left(\frac{\text{Pr}_{\text{ст}}}{\text{Pr}_{\text{пот}}} \right)^{\frac{1}{3}}. \qquad (2.60)$$

При поперечном обтекании пучков труб гидравлические сопротивления следует рассматривать как сумму сопротивлений трения и местных сопротивлений. При этом основную долю здесь составляют местные сопротивления расширения и сужения потока. Гидравлические сопротивления различных пучков труб при их поперечном обтекании определяют по формулам, приведенным в специальной литературе. *Местные сопротивления* в теплообменном аппарате складываются из сопротивлений, возникающих в связи с изменением площади сечения канала, изменением направления потока, обтеканием препятствий:

$$\Delta p_{\text{м}} = \xi_{\text{м}} \rho \frac{w^2}{2}. \qquad (2.61)$$

Коэффициент местных сопротивлений $\xi_{\text{м}}$ зависит от вида препятствия, деформирующего поток. Значения коэффициентов местных сопротивлений приводятся в специальной и справочной литературе.

Гидравлическое сопротивление, вызываемое изменением скорости жидкости вдоль поверхности теплообмена вследствие изменения температуры жидкости при постоянной площади сечения канала:

$$\Delta p_{\text{у}} = \rho_2 \frac{w_2^2}{2} - \rho_1 \frac{w_1^2}{2}, \qquad (2.62)$$

где w_1 и w_2 – скорости соответственно во входном и выходном сечениях канала; ρ_1 и ρ_2 – плотности жидкостей во входном и выходном сечениях.

Для капельных жидкостей гидравлическое сопротивление $\Delta p_у$ мало по сравнению с общим сопротивлением, и им можно пренебречь.

Гидравлическое сопротивление на преодоление самотяги:

$$\Delta p_с = g(\rho - \rho_в)h, \qquad (2.63)$$

где ρ и $\rho_в$ – средние плотности жидкости и окружающего воздуха; h – высота, на которую поднимается или опускается жидкость в теплообменнике.

При движении жидкости сверху вниз сопротивление увеличивается, и в выражении (2.58) применяют знак плюс. При движении нагреваемой жидкости снизу вверх сопротивление уменьшается, и в выражении (2.58) применяют знак минус. Если теплообменный аппарат не сообщается с окружающим воздухом и работает в замкнутой системе, то $\Delta p_с = 0$.

Определив полное гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата и зная массовый расход жидкости, находят мощность насоса, необходимую для подачи жидкости через аппарат, Вт:

$$P = \frac{m_\tau \Delta p}{\rho \eta}, \qquad (2.64)$$

где m_τ – массовый расход теплоносителя, кг/с; Δp – полное гидравлическое сопротивление аппарата, Па; ρ – плотность теплоносителя, кг/с; η – КПД вентилятора или насоса.

В результате выполненных тепловых и гидромеханических расчетов находят наивыгоднейшее соотношение между затратами на сооружение теплообменного аппарата, которые в основном зависят от площади поверхности теплообмена, и расходами энергии на его обслуживание.

2.13.7. Тепловые трубы и термосифоны

К специальным типам теплообменных аппаратов с промежуточным теплоносителем относятся тепловые трубы и термосифоны.

Тепловыми трубами называются устройства, выполняющие функции теплопроводов типа стержней и ребер, но в отличие от теплопроводов из сплошного твердого металла внутри тепловых

труб осуществляется интенсивный тепломассообмен за счет процессов испарения и конденсации находящейся внутри трубы жидкости (промежуточного теплоносителя). В результате интенсивность теплопередачи (эффективная теплопроводность «стержня») возрастает на много порядков.

История создания этих аппаратов восходит к изобретениям Перкинса (1897) и Гоглера (1942). Впервые идея тепловой трубы была предложена Гоглером в 1942 г. Но только в начале 60-х годов XX в., после того как Гровер независимо от Гоглера вновь изобрел тепловую трубу, ее замечательные свойства были по достоинству оценены и появились серьезные исследования и разработки.

В некоторых отношениях тепловая труба аналогична термосифону, поэтому прежде чем рассматривать работу тепловой трубы, рассмотрим принцип работы *термосифона* (рис. 2.27, *а*).

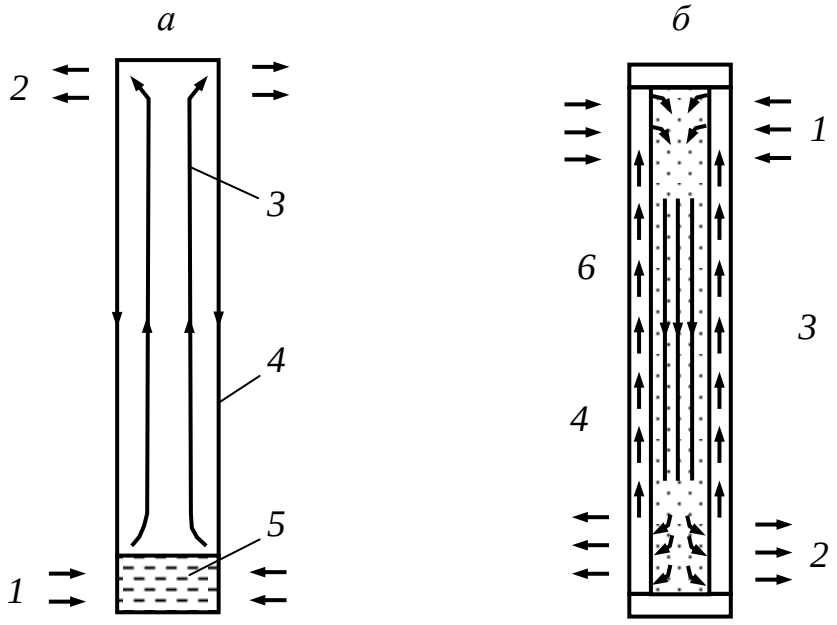


Рис. 2.27. Термосифон (*а*) и тепловая труба (*б*):
1, 2 – соответственно подвод и отвод теплоты; 3 – пар; 4 – конденсат; 5 – жидкость; 6 – фитиль

В трубу помещается небольшое количество воды *5*, затем из трубы откачивается воздух, и она плотно закрывается. Нижний конец трубы нагревается, что вызывает испарение жидкости и движение пара к холодному концу трубы, где он конденсируется. Конденсат *4* под действием гравитационных сил возвращается к горячему концу. Так как скрытая теплота парообразования велика, то даже при очень малой разности температур между концами термосифона он может передавать значительное количество теплоты. Та-

ким образом, подобная конструкция имеет высокоэффективную теплопроводность. Одним из принципиальных недостатков термосифона является возврат конденсата в зону испарения за счет гравитационных сил, вследствие чего зона испарения всегда должна находиться ниже зоны конденсации.

Тепловая труба (рис. 2.27, *б*) по конструкции аналогична термосифону, но в тепловой трубе на внутренней стенке укреплен фитиль *6*, сделанный, например, из нескольких слоев тонкой сетки, и конденсат *4* возвращается в испаритель под действием капиллярных сил. В тепловой трубе на расположение испарителя не накладывается никаких ограничений, и она может работать при любой ориентации. Если испаритель тепловой трубы оказывается в нижней точке, гравитационные силы будут действовать в одном направлении с капиллярными. Термин «тепловая труба» применяется также к высокоэффективным теплопередающим устройствам, в которых возврат конденсата осуществляется другими способами, например, под действием центробежной силы.

Некоторым методам возврата конденсата соответствуют следующие виды теплообменных устройств:

Гравитация	Термосифон
Капиллярные силы	Стандартная тепловая труба
Центробежная сила	Вращающаяся тепловая труба
Электростатические объемные силы	Электрогидродинамическая тепловая труба
Магнитные объемные силы	Магнитогидродинамическая тепловая труба
Осмотические силы	Осмотическая тепловая труба

Тепловая труба (рис. 2.28) имеет участок испарения *7* и участок конденсации *5*. В случае необходимости, обусловленной внешними требованиями, труба может иметь еще одну зону – адиабатный участок *6*, разделяющий испаритель и конденсатор. В поперечном сечении тепловая труба состоит из стенки *2* корпуса, фитиля *1* и парового канала *8*.

Эффективность тепловой трубы часто определяется с помощью понятия «эквивалентная теплопроводимость». Например, цилиндрическая тепловая труба, показанная на рис. 2.28, *б*, в которой в качестве рабочей жидкости используется вода при температуре 150 °С, будет иметь теплопроводимость, в сотни раз большую, чем медь. Теплопередающая способность тепловой трубы может быть очень большой; в тепловых трубах на литии при температуре

1500 °С в осевом направлении может быть передан тепловой поток 10÷20 кВт/см^2. При соответствующем выборе рабочей жидкости и материала корпуса могут быть созданы тепловые трубы для работы в интервале температур 4-2300 К.

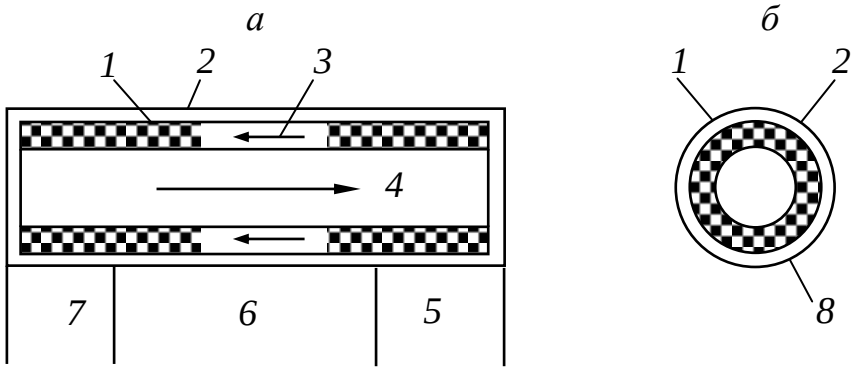


Рис. 2.28. Продольное (*а*) и поперечное (*б*) сечения тепловой трубы:
1 – фитиль; 2 – стенка трубы; 3 – возврат жидкости по фитилю; 4 – пар;
5, 7 – соответственно участки конденсации и испарения;
6 – адиабатный участок; 8 – паровой канал

Цилиндрические тепловые трубы применимы во многих случаях, но для удовлетворения специальных требований могут быть созданы трубы других конфигураций.

Высокая эффективная теплопроводимость тепловых труб – не единственное их свойство. Тепловая труба характеризуется также способностью действовать как трансформатор теплового потока (рис. 2.29) и изотермичностью поверхности при низком термическом сопротивлении. Поверхность конденсации тепловой трубы в этом случае работает практически при постоянной температуре. Если на некотором участке возникает местный тепловой сток, то количество конденсирующегося в этом месте пара увеличивается, за счет чего температура поддерживается на прежнем уровне.

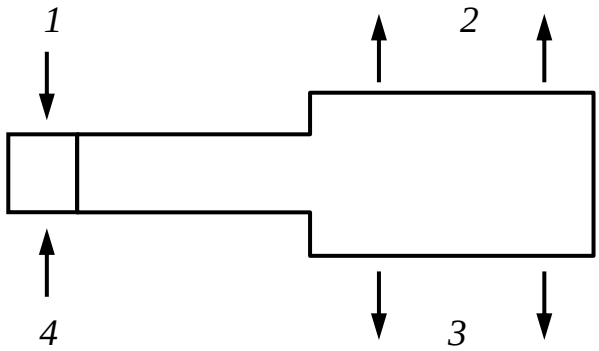


Рис. 2.29. Схема работы тепловой трубы как трансформатора теплового потока:
1, 2 – соответственно подвод и отвод теплоты;
3, 4 – соответственно низкий и высокий тепловые потоки

Области применения тепловых труб очень разнообразны. Тепловые трубы используются, например, для охлаждения криогенных мишеней в ядерных ускорителях, для охлаждения электронного оборудования, в установках для кондиционирования зданий, в печах, при охлаждении и нагреве двигателей. В горной промышленности тепловые трубы используют для регулирования температуры воздуха в горных выработках. В зимний период они аккумулируют холод в горном массиве, а в летний – осуществляют теплообмен между подаваемым в шахту атмосферным воздухом и горным массивом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ 2

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется самопроизвольный процесс переноса теплоты в пространстве?
2. Назовите основные способы передачи теплоты.
3. Что собой представляет теплообмен теплопроводностью?
4. Как осуществляется передача теплоты путем конвективного теплообмена?
5. Чем отличается свободная конвекция от вынужденной?
6. Что такое лучистый теплообмен?
7. Что называется теплопередачей?
8. Что характеризует коэффициент теплопередачи?
9. Что такое термическое сопротивление теплоотдачи?
10. Как осуществляется передача теплоты через многослойную плоскую стенку? Как определяется коэффициент теплоотдачи для нее?
11. Как определить поверхность теплообменного аппарата?
12. Что такое абсолютно черное тело?
13. Как осуществляется лучистый теплообмен?
14. Как определяется отражательная способность тела?
15. Что такое абсолютно прозрачное тело?
16. Назовите основные законы лучистого теплообмена.
17. Что такое абсолютно зеркальное тело?
18. В чем сущность реальных тел, которые называются серыми?

Контрольная задача № 5

Определение коэффициентов теплоотдачи

По горизонтально расположенной стальной трубе λ = 20 Вт/м·К со скоростью W течет вода, имеющая температуру $t_{\text{В}}$. Снаружи труба охлаждается окружающим воздухом, температура которого $t_{\text{воз}}$, давление 0,1 МПа. Определить коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 соответственно от воды к стенке трубы и от стенки трубы к воздуху; коэффициент теплопередачи и тепловой поток q_{l}, отнесенный к 1 м длины трубы, если внутренний диаметр трубы равен d_1, внешний – d_2. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 2.6.

Указание. Для определения α_2 принять в первом приближении температуру наружной поверхности трубы t_2 равной температуре воды.

Таблица 2.6

Исходные данные к контрольной задаче № 5

Номер варианта	W, м/с	$t_{\text{в}}$, °С	$t_{\text{воз}}$, °С	d_1, мм	d_2, мм
1	2,5	120	18	190	210
2	3,6	130	16	180	200
3	2,7	140	14	170	190
4	3,8	150	12	160	180
5	1,9	160	10	150	170
6	2,1	170	8	140	160
7	2,3	180	6	130	150
8	4,2	190	4	120	140
9	4,3	200	2	110	130
10	4,4	210	0	100	120
11	3,6	220	17	170	190
12	2,7	120	15	160	180
13	3,8	130	13	150	170
14	1,9	140	11	140	160
15	4,2	150	9	130	150
16	4,3	160	7	120	140
17	2,5	170	5	110	130
18	3,6	180	3	100	120
19	2,7	190	1	160	180
20	3,8	200	8	150	170
21	1,9	210	6	130	150
22	2,3	220	4	120	140
23	4,2	120	2	110	130
24	4,3	130	0	100	120
25	4,4	140	17	170	190

Контрольная задача № 6

Потери теплоты в паропроводе

По неизолированной трубе с наружным диаметром d движется насыщенный пар с давлением p. Паропровод проложен в помещении с температурой t_0.

Определить потери теплоты на 1 м длины трубы. Определить также потери теплоты на 1 м длины трубы, если эту трубу покрыть слоем изоляции толщиной 80 мм с теплопроводностью $\lambda = 0{,}06$ Вт/м·К. При расчете термическими сопротивлениями вблизи внутренней поверхности трубы и стенки стальной трубы пренебречь (т. е. принять, что температура наружной поверхности трубы равна температуре насыщения пара). Коэффициенты теплоотдачи на наружной поверхности неизолированной и изолированной труб принять соответственно α' и α''. Исходные данные выбрать из табл. 2.7.

Таблица 2.7

Исходные данные к контрольной задаче № 6

Номер варианта	d, мм	t_0, °С	p, МПа	α', Вт/м^2·К	α'', Вт/м^2·К
1	50	15	0,2	14	8
2	60	16	0,25	14	8
3	70	17	0,3	14	8
4	80	18	0,36	15	8
5	90	19	0,4	16	8
6	100	20	0,45	15	9
7	110	22	0,5	16	9
8	120	24	0,6	16	9
9	130	26	0,7	16	9
10	140	28	0,8	17	9
11	50	17	0,25	14	8
12	60	18	0,3	14	8
13	70	19	0,36	14	8
14	80	20	0,4	15	8
15	90	22	0,45	16	8
16	100	24	0,5	15	9
17	110	26	0,6	16	9
18	120	28	0,7	16	9
19	130	17	0,8	16	9
20	140	18	0,3	17	9
21	50	19	0,36	14	8
22	60	20	0,4	14	8
23	70	22	0,45	14	8
24	80	24	0,5	15	8
25	90	26	0,6	16	8

Контрольная задача № 7

Определение параметров сушильной камеры

Металлический корпус сушильной камеры высотою h = 1 м покрыт слоем изоляции с теплопроводностью λ = 0,08 Вт/м·К. Температура воздуха в сушильной камере t_1, а окружающего сушилку воздуха t_2. Определить толщину изоляционного слоя, при котором температура наружной поверхности изоляции составит $t_{2изол}$. Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности корпуса сушильной камеры α_1. Термическим сопротивлением металлического корпуса пренебречь.

При определении коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности корпуса α_2 учесть свободную конвекцию, приняв $Pr_ж$ / $Pr_{ст}$ = 1 и излучение. Коэффициент излучения поверхности изоляции C = 4,5 Вт/м^2·К. Исходные данные принять из табл. 2.8.

Таблица 2.8

Исходные данные к контрольной задаче № 7

Номер варианта	t_1, °С	t_2, °С	$t_{2изол}$, °С	α_1, Вт/м^2·К	Номер варианта	t_1, °С	t_2, °С	$t_{2изол}$, °С	α_1, Вт/м^2·К
1	80	16	21	25	14	95	16	21	25
2	85	17	23	26	15	100	17	23	26
3	90	18	24	27	16	105	18	24	27
4	95	20	27	28	17	110	20	27	28
5	100	21	26	29	18	115	23	29	31
6	105	22	27	30	19	120	24	31	32
7	110	23	29	31	20	125	25	33	33
8	115	24	31	32	21	80	26	31	34
9	120	25	33	33	22	85	18	24	32
10	125	26	31	34	23	90	20	27	33
11	80	18	24	32	24	92	21	26	34
12	85	20	27	33	25	97	22	24	33
13	90	21	26	34	26	104	23	28	24

Контрольная задача № 8

Теплопроводность стенки парового котла

Теплота газообразных продуктов горения топлива передается через стенку котла кипящей воде. Заданы граничные условия третьего рода: температура газов $t_{ж1}$ – ... °С (графа 1), воды $t_{ж2}$ – ... °С (графа 2), коэффициент теплоотдачи от газов к стенке α_1 = … Вт/(м^2·К), от стенки к воде α_2 = … Вт/(м^2·К) (графы 3, 4). Условия двадцати пяти задач приведены в табл. 2.9.

Требуется определить термические сопротивления R = 1 /α (м^2·К/Вт), коэффициенты теплопередачи K (Вт/(м^2·К) и количество теплоты q (Дж), пе-

редаваемое от газов к воде через 1 м^2 поверхности стенки в секунду для следующих случаев:

а) стенка стальная, совершенно чистая, толщина δ_2 = ... мм (графа 6) [λ=50 Вт/(м·К)];

б) стенка стальная, со стороны воды покрыта слоем накипи толщиной δ_3 = ... мм (графа 7) [λ = 2,0 Вт/(м·К)];

в) случай «б», дополнительное условие: на поверхности накипи имеется слой масла толщиной δ_4 = 1 мм [λ=0,1 Вт/(м·К)];

г) случай «в», дополнительное условие: со стороны газов стенка покрыта слоем сажи толщиной δ_1 = ... мм (графа 5) [λ=0,2 Вт/(м·К)].

Определить температуры всех слоев стенки для случая «г».

Таблица 2.9

Исходные данные к контрольной задаче № 8

№ задачи	$t_{ж1}$, °С	$t_{ж2}$, °С	α_1, Вт/(м^2·К)	α_2, Вт/(м^2·К)	δ_1, мм	δ_2, мм	δ_3, мм
	1	2	3	4	5	6	7
1	1100	200	150	3000	2	14	5
2	1000	180	140	2500	1	12	4
3	900	160	130	2000	2	10	3
4	800	140	120	1500	1	8	2
5	850	150	60	1000	2	12	10
6	950	160	70	2000	1	14	9
7	1050	170	80	3000	2	16	8
8	1150	180	90	4000	1	18	7
9	1250	190	100	5000	2	20	6
10	900	225	50	1000	1	14	7
11	800	200	40	980	2	13	6
12	700	175	30	960	1	12	5
13	600	150	20	940	2	11	4
14	500	125	10	920	1	10	3
15	575	110	55	2200	2	22	8
16	675	120	50	2100	1	24	7
17	775	130	45	2000	2	26	6
18	875	140	40	1900	1	23	5
19	975	150	35	1800	2	30	4
20	1000	100	40	3000	1	10	2
21	900	125	50	4000	2	12	3
22	1050	135	60	3500	1	14	5
23	950	150	45	4500	2	16	6
24	800	200	55	2000	0,5	18	7
25	850	210	65	2100	1	20	5

Примеры решения задач

Пример 1

По горизонтально расположенной стальной трубе λ = 20 Вт/м·К со скоростью W = 3,8 м/с течет вода, имеющая температуру $t_В$ = 423 К. Снаружи труба охлаждается окружающим воздухом, температура которого $t_{воз}$ = 273 К, давление P = 0,1 МПа.

Требуется определить коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 соответственно от воды к стенке трубы и от стенки трубы к воздуху и тепловой поток q_l, отнесенный к 1 м длины трубы, если внутренний диаметр трубы d_1 = 0,1 м, внешний – d_2 = 0,12 м.

Решение

Принимаем следующие свойства воды для заданных условий (табл. II приложений):

теплопроводность $\lambda_в$ = 0,684 Вт/(м·К);

кинематическая вязкость $\nu_в = 0{,}203\cdot10^{-6}$ м^2/с;

число Прандтля $Pr_в$ = 1,17.

Определяем число Рейнольдса (с. 97):

$$Re_в = \frac{W \cdot d_1}{\nu_в};$$

$$Re_в = \frac{3{,}8 \cdot 0{,}1}{0{,}203 \cdot 10^{-6}} = 1{,}87 \cdot 10^6.$$

Поскольку $Re_в > 10^4$, то режим движения турбулентный. Для этого случая используем следующее критериальное уравнение:

$$Nu_в = 0{,}021 \cdot Re_в^{0,8} \cdot Pr_в^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_в}{Pr_c}\right)^{0,25}.$$

Принимая значение числа Прандтля для стенки Pr_c = 1,17 (при $T \cong 423$ К), получим:

$$Nu_в = 0{,}021 \cdot \left(1{,}87 \cdot 10^6\right)^{0,8} \cdot 1{,}17^{0,43} \cdot \left(\frac{1{,}17}{1{,}17}\right)^{0,25} = 2{,}09 \cdot 10^6.$$

Тогда коэффициент теплоотдачи от воды к трубе:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_в \cdot \lambda_в}{d_1} = \frac{2{,}09 \cdot 10^6 \cdot 0{,}684}{0{,}1} = 1{,}43 \cdot 10^7 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Для определения коэффициента теплоотдачи от трубы к воздуху принимаем следующие теплофизические свойства воздуха (табл. III приложений):

теплопроводность $\lambda_{воз} = 2{,}44\cdot10^{-2}$ Вт/(м·К);

кинематическая вязкость $\nu_{воз} = 13{,}28\cdot10^{-6}$ м^2/с;

число Прандтля $Pr_{воз}$ = 0,707, а при $t_в$ = 423 К число Прандтля $Pr_{воз1}$ = 0,683;

коэффициент температурного расширения $\beta_{воз} = \frac{1}{T_{воз}} = \frac{1}{273} = 3{,}66 \cdot 10^{-3}$ 1/К.

Определяем число Грасгофа:

$$\mathrm{Gr}_{\text{воз}} = \frac{g\beta_{\text{воз}}(T_{\text{в}} - T_{\text{воз}})d_2^3}{\nu_{\text{воз}}^2};$$

$$Gr_{\text{воз}} = \frac{9{,}81 \cdot 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot (423 - 273) \cdot 0{,}12^3}{\left(13{,}28 \cdot 10^{-6}\right)^2} = 5{,}28 \cdot 10^7.$$

Для полученного числа Грасгофа критериальное уравнение будет иметь вид:

$$\mathrm{Nu}_{\text{воз}} = 0{,}5\left(\mathrm{Gr}_{\text{воз}}\,\mathrm{Pr}_{\text{воз}}\right)^{0{,}25}\left(\frac{\mathrm{Pr}_{\text{воз}}}{\mathrm{Pr}_{\text{воз1}}}\right)^{0{,}25}.$$

Отсюда значение критерия Нуссельта:

$$\mathrm{Nu}_{\text{воз}} = 0{,}5 \cdot \left(5{,}28 \cdot 10^7 \cdot 0{,}707\right)^{0{,}25} \cdot \left(\frac{0{,}707}{0{,}683}\right)^{0{,}25} = 39{,}4.$$

Тогда значение коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_2 = \frac{\mathrm{Nu}_{\text{воз}} \cdot \lambda_{\text{воз}}}{d_2} = \frac{39{,}4 \cdot 2{,}44 \cdot 10^{-2}}{0{,}12} = 8{,}02 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Тепловой поток через цилиндрическую стенку трубы:

$$q_{\text{l}} = \frac{T_{\text{в}} - T_{\text{воз}}}{\frac{1}{\alpha_1 \pi d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_2}};$$

$$q_{\text{l}} = \frac{423 - 273}{\frac{1}{1{,}43 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot 0{,}1} + \frac{1}{2\pi \cdot 20}\ln\frac{0{,}12}{0{,}1} + \frac{1}{8{,}02\pi \cdot 0{,}12}} = 451{,}5 \text{ Вт/м}.$$

Зная значение теплового потока, уточним значения температур поверхностей трубы.

Температура внутренней поверхности трубы:

$$T_{\text{тр1}} = T_{\text{в}} - qR_{\alpha_1},$$

где R_{α_1} – сопротивление теплоотдачи:

$$R_{\alpha_1} = \frac{1}{\alpha_1 \pi d_1} = \frac{1}{1{,}43 \cdot 10^7 \pi \cdot 0{,}1} = 2{,}22 \cdot 10^{-7};$$

$$T_{\text{тр1}} = 423 - 451{,}5 \cdot 2{,}22 \cdot 10^{-7} \cong 423{,}00 \text{ К}.$$

Температура наружной поверхности трубы:

$$T_{\text{тр2}} = T_{\text{воз}} + qR_{\alpha_2},$$

где $R_{\alpha_2} = \frac{1}{\alpha_2 \pi d_2} = \frac{1}{8{,}02\pi \cdot 0{,}12} = 0{,}33;$

$$T_{\text{тр2}} = 273 + 451{,}5 \cdot 0{,}33 = 422{,}00 \text{ К}.$$

Так как температура поверхности трубы незначительно отличается от принятой в расчетах (около 1 К), то вычисленное значение теплового потока считаем достоверным.

Ответ: коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 соответственно от воды к стенке трубы и от стенки трубы к воздуху составляют $1{,}43\cdot10^7$ и 8,02 Вт/(м^2·К), тепловой поток q_l, отнесенный к 1 м длины трубы, составляет 451,5 Вт/м.

Пример 2

По неизолированной трубе с наружным диаметром d = 50 мм движется насыщенный пар с давлением p = 0,2 МПа. Паропровод проложен в помещении с температурой t_0 = 15 °С.

Требуется определить потери теплоты на 1 м длины трубы (l = 1 м). Определить также потери теплоты на 1 м длины трубы, если эта труба покрыта слоем изоляции толщиной $\delta_{изол}$ = 80 мм с теплопроводностью λ = 0,06 Вт/м·К. При расчете термическими сопротивлениями вблизи внутренней поверхности трубы стенки стальной трубы пренебречь (т. е. принять, что температура наружной поверхности трубы равна температуре насыщения пара). Коэффициенты теплоотдачи на наружной поверхности неизолированной и изолированной труб принять соответственно α' = 14 Вт/м^2·К и α'' = 8 Вт/м^2·К.

Решение

Потери теплоты на 1 м неизолированной трубы определяются по уравнению Ньютона-Рихмана (стр. 89):

$$Q_l = \alpha' F(t_1 - t_0),$$

где: F – площадь поверхности теплообмена ($F = \pi dl$); t_1 – температура стенки трубы, равная температуре насыщения пара, определяется по таблице IV приложений, при p = 0,2 МПа, t_1 = 120 °С.

Принимая температуру в Кельвинах:

$$t_1 = 273 + 120 = 393 \text{ К};$$
$$t_0 = 273 + 15 = 288 \text{ К},$$

имеем

$$Q_l = 14\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot (393 - 288) = 230{,}91 \text{ Вт/м}.$$

Потери теплоты на 1 м изолированной трубы рассчитываются по уравнению теплопередачи (2.28):

$$Q_l' = \frac{t_1 - t_0}{R_\lambda + R_\alpha};$$

где $R_\lambda = \frac{1}{2\pi\lambda}\ln\left(\frac{d + \delta_{изол}}{d}\right)$ – сопротивление теплопроводности; $R_\alpha = \frac{1}{\alpha''\pi d}$ – сопротивление теплоотдачи от слоя изоляции.

$$Q_l' = \frac{120-15}{\frac{1}{2\pi\cdot 0{,}06}\ln\left(\frac{0{,}05+0{,}08}{0{,}05}\right)+\frac{1}{8\pi\cdot 0{,}05}} = \frac{105}{2{,}544+0{,}796} = 31{,}44 \text{ Вт/м}$$

Ответ: потери теплоты на 1 м неизолированной трубы 230,91 Вт/м, а потери теплоты на 1 м изолированной трубы составляют 31,44 Вт/м.

Пример 3

Металлический корпус сушильной камеры высотою h = 1 м покрыт слоем изоляции с теплопроводностью λ = 0,08 Вт/(м·К). Температура воздуха в сушильной камере t_1 = 95 °С, а окружающего сушилку воздуха t_2 = 20 °С.

Требуется определить толщину изоляционного слоя $\delta_{изол}$, при котором температура наружной поверхности изоляции составит $t_{2изол}$ = 27 °С. Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности корпуса сушильной камеры α_1 = 34 Вт/(м^2·К), термическим сопротивлением металлического корпуса пренебречь.

При определении коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности корпуса α_2 учесть свободную конвекцию, приняв $\frac{Pr_ж}{Pr_{ст}} = 1$ и излучение. Коэффициент излучения поверхности изоляции C = 4,5 Вт/(м^2·К^4).

Решение

Для решения задачи воспользуемся схемой, изображенной на рис. 2.30.

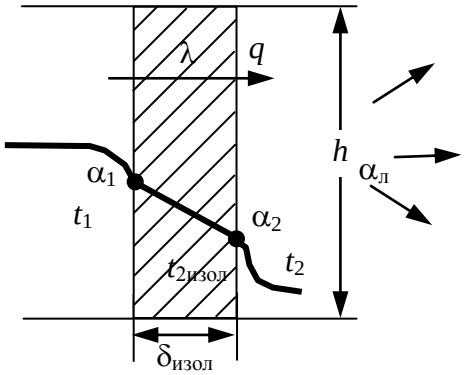


Рис. 2.30. Условная схема теплового потока от корпуса сушильной камеры

Определим коэффициент теплоотдачи со стороны изоляции α_2, для этого воспользуемся критериальным уравнением для свободной конвекции:

$$Nu_ж = 0{,}76\cdot\left(Gr_ж\cdot Pr_ж\right)^{0{,}25}\cdot\left(\frac{Pr_ж}{Pr_{ст}}\right)^{0{,}25},$$

где $Pr_ж$ = 0,703 (для 20 °С, табл. III приложений).

$$Gr_ж = \frac{g\cdot\beta_ж\cdot h^3\cdot\Delta t}{V_ж^2},$$

где $\beta_ж$ – коэффициент температурного расширения:

$$\beta_{ж} = \frac{1}{T_{ж}} = \frac{1}{273+20} = 3{,}41 \cdot 10^{-3} \frac{1}{К};$$

$$\Delta t = t_{2изол} - t_2 = 27 - 20 = 7 \ °C;$$

$V_{ж}$ – кинематическая вязкость, $V_{ж} = 15{,}06 \cdot 10^{-6}$ м^2/с (табл. III приложений).

$$Gr_{ж} = \frac{9{,}81 \cdot 3{,}41 \cdot 10^{-3} \cdot 1^3 \cdot 7}{\left(15{,}06 \cdot 10^{-6}\right)^2} = 1{,}032 \cdot 10^9.$$

Число Нуссельта:

$$Nu_{ж} = 0{,}76 \cdot \left(1{,}032 \cdot 10^9 \cdot 0{,}703\right)^{0{,}25} \cdot 1^{0{,}25} = 124{,}34.$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda_{ж}}{h} = \frac{124{,}34 \cdot 2{,}59 \cdot 10^{-2}}{1} = 3{,}22 \frac{Вт}{м^2 \cdot К},$$

где $\lambda_{ж} = 2{,}59 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) (при 20 °С, табл. III приложений).

Определим коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{л}$, для этого рассчитаем тепловой поток излучением $Q_{л}$:

$$Q_{л} = C \cdot h \cdot \left(\left(\frac{T_{2изол}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right),$$

где $T_{2изол} = t_{2изол} + 273 = 300$ К; $T_2 = t_2 + 273 = 293$ К.

$$Q_{л} = 4{,}5 \cdot 1 \cdot \left(\left(\frac{300}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) = 32{,}85 \ Вт/м^2.$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{л} = \frac{Q_{л}}{t_{2изол} - t_2} = \frac{32{,}85}{27 - 20} = 4{,}7 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи со стороны изоляционного слоя составит:

$$\alpha = \alpha_2 + \alpha_{л},$$

$$\alpha = 3{,}22 + 4{,}7 = 7{,}92 \ Вт / (м^2 \cdot К).$$

Термическое сопротивление теплоотдачи:

$$R_{\alpha} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{7{,}92} = 0{,}126 \ (м^2 \cdot К) / Вт.$$

Тепловой поток через стенку будет равен:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha_1} + \frac{\delta_{изол}}{\lambda} + R_{\alpha}}, \qquad (2.65)$$

где $R_{\alpha_1} = \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{34} = 0{,}029$ (м^2·К)/Вт – термическое сопротивление теплоотдачи с внутренней стороны корпуса.

Температура на поверхности изоляции определяется:

$$t_{2\text{изол}} = t_2 + R_\alpha \cdot q.$$

Выразим q из этого выражения:

$$q = \frac{t_{2\text{изол}} - t_2}{R_\alpha}$$

и подставим в выражение теплового потока (2.65):

$$\frac{t_{2\text{изол}} - t_2}{R_\alpha} = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{изол}}}{\lambda} + R_\alpha},$$

откуда $\delta_{\text{изол}}$:

$$\delta_{\text{изол}} = \left(\frac{R_\alpha \cdot (t_1 - t_2)}{t_{2\text{изол}} - t_2} - R_{\alpha_1} - R_\alpha \right) \cdot \lambda$$

$$\delta_{\text{изол}} = \left(\frac{0{,}126 \cdot (95 - 20)}{27 - 20} - 0{,}029 - 0{,}126 \right) \cdot 0{,}08 = 0{,}1 \text{ м}.$$

Ответ: толщина изоляционного слоя $\delta_{\text{изол}} = 0{,}1$ м.

Пример 4

Тепловой поток проходит через плоскую стенку топки парового котла (рис. 2.31). При этом известны: температура топочных газов $t_{ж1}$ = 1200 °С; температура воды в котле $t_{ж2}$ = 220 °С; коэффициент теплоотдачи от газов к стенке α_1 = 160 Вт/(м^2·К), от стенки к воде α_2 = 3500 Вт/(м^2·К); толщина чистой стальной стеки δ_2 = 16 мм; со стороны газов стенка покрыта слоем сажи δ_1 = 1 мм; со стороны воды – слоем накипи δ_3 = 10 мм; на поверхности накипи имеется слой масла толщиной δ_4 = 1 мм. При этом коэффициенты теплопроводности имеют следующие значения: стали λ_2 = 50 Вт/(м·К); сажи λ_1 = = 0,2 Вт/(м·К); накипи λ_3 = 2,0 Вт/(м·К); масла λ_4 = 0,1 Вт/(м·К).

Требуется определить термические сопротивления, коэффициенты теплопередачи и количество теплоты, передаваемое от топочных газов к воде через 1 м^2 поверхности стенки в секунду, а также температуры всех слоев стенки.

Решение

Определяем термические сопротивления:

от газов к стенке:

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{160} = 0{,}00625 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

от стенки к кипящей воде:

$$R_2 = \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{3500} = 0{,}000285 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

стальной стенки котла:

$$R_3 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}016}{50} = 0{,}00032 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

слоя накипи:

$$R_4 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}01}{2} = 0{,}005 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

слоя масла:

$$R_5 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0{,}001}{0{,}1} = 0{,}01 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

слоя сажи:

$$R_6 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}001}{0{,}2} = 0{,}005 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

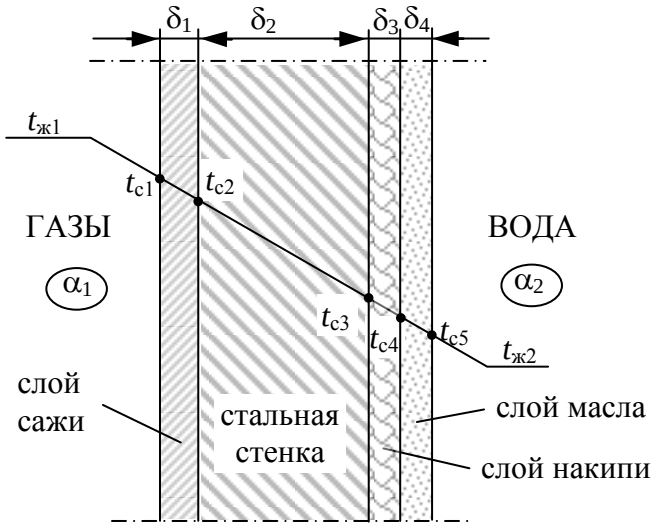


Рис. 2.31. Условная схема к примеру 4

Определяем коэффициенты теплопередачи:
чистой стальной стенки:

$$K_3 = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1}{0{,}00625 + 0{,}000286 + 0{,}00032} = 146 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

при наличии слоя накипи:

$$K_4 = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{1}{0{,}00625 + 0{,}000286 + 0{,}00032 + 0{,}005} = 84{,}3 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

при наличии слоя масла:

$$K_5 = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} =$$

$$= \frac{1}{0{,}00625 + 0{,}000286 + 0{,}00032 + 0{,}005 + 0{,}01} = 45{,}8 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

при наличии слоя сажи:

$$K_6 = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} =$$

$$= \frac{1}{0{,}00625 + 0{,}000286 + 0{,}00032 + 0{,}005 + 0{,}01 + 0{,}005} = 37{,}2 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Определяем количество теплоты, передаваемое от газов к воде через 1 м^2 поверхности стенки в секунду для следующих случаев:

чистая стальная стенка:

$$q_3 = K_3 (t_{ж1} - t_{ж2}) = 146 \cdot (1200 - 220) = 143080 \text{ Вт/м}^2;$$

при наличии слоя накипи:

$$q_4 = K_4 (t_{ж1} - t_{ж2}) = 84{,}3 \cdot (1200 - 220) = 82614 \text{ Вт/м}^2;$$

при наличии слоя масла:

$$q_5 = K_5 (t_{ж1} - t_{ж2}) = 45{,}8 \cdot (1200 - 220) = 44884 \text{ Вт/м}^2;$$

при наличии слоя сажи:

$$q_6 = K_6 (t_{ж1} - t_{ж2}) = 37{,}2 \cdot (1200 - 220) = 36456 \text{ Вт/м}^2.$$

Определяем температуры всех слоев стенки:

на поверхности слоя сажи:

$$t_{с1} = t_{ж1} - q_6 R_1 = 1200 - 36456 \cdot 0{,}00625 = 972{,}2 \text{ °C};$$

на поверхности стальной стенки (со стороны газов):

$$t_{с2} = t_{ж1} - q_6 (R_1 + R_6) = 1200 - 36456 \cdot (0{,}00625 + 0{,}005) = 789{,}9 \text{ °C};$$

на поверхности стальной стенки (со стороны воды):

$$t_{с3} = t_{ж1} - q_6 (R_1 + R_6 + R_3) =$$

$$= 1200 - 36456 \cdot (0{,}00625 + 0{,}005 + 0{,}00032) = 778{,}2 \text{ °C};$$

на поверхности слоя накипи:

$$t_{с4} = t_{ж1} - q_6 (R_1 + R_6 + R_3 + R_4) =$$

$$= 1200 - 36456 \cdot (0{,}00625 + 0{,}005 + 0{,}00032 + 0{,}005) = 595{,}9 \text{ °C};$$

на поверхности слоя масла:

$$t_{с5} = t_{ж1} - q_6 (R_1 + R_6 + R_3 + R_4 + R_5) =$$

$$= 1200 - 36456 \cdot (0{,}00625 + 0{,}005 + 0{,}00032 + 0{,}005 + 0{,}01) = 230{,}4 \text{ °C}.$$

ГЛАВА 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

3.1. Основные сведения о теплоэнергетических установках

В теплотехнике изучаются следующие теплоэнергетические установки:

- котельные установки;
- паровые и газовые турбины;
- двигатели внутреннего сгорания;
- компрессорные установки.

Кроме этого к промышленной теплоэнергетике относятся тепловые электрические станции, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

3.2. Назначение и классификация компрессорных машин

Компрессором называется машина-орудие для сжатия и перемещения под давлением выше атмосферного различных парогазообразных тел. В современной технике компрессоры имеют исключительное значение. Сжатый воздух используется как рабочее тело в пневматических двигателях, получивших широкое распространение в самых разнообразных механизмах строительной и горнорудной техники, в машиностроительной и других отраслях промышленности. Газотурбинные установки снабжены компрессором как обязательным элементом. Многие двигатели внутреннего сгорания могут работать только в сжатом воздухе. Подавляющее большинство холодильных установок включают в себя компрессоры. Сжатие в компрессорах различных парогазообразных тел является важнейшим составным процессом многих химических производств.

По роду сжимаемых веществ различают компрессоры воздушные (пневматические), углекислотные, аммиачные, гелиевые и т. п. По устройству и принципу работы компрессоры делят на поршневые, шестеренчатые, винтовые, ротационные, мембранные, турбокомпрессоры и др. Несмотря на то, что все типы компрессоров по принципу своей работы различны, а турбокомпрессоры существенно отличаются от всех остальных, термодинамическая сторона процессов, протекающих в них, может быть принята совершенно идентичной. Поэтому термодинамическое исследование рабочих процессов всех без исключения компрессоров можно основывать на подробном

рассмотрении процесса одного из них. Удобнее всего для этих целей воспользоваться поршневым компрессором, рабочий процесс которого наиболее изучен и наиболее наглядный.

3.3. Теоретические и действительные процессы в поршневых компрессорах

При изучении законов сжатия воздуха в компрессорных машинах различают теоретические и фактические рабочие процессы.

При рассмотрении теоретических рабочих процессов сжатия воздуха в компрессоре пренебрегают наличием вредного пространства, изменением давления и температуры воздуха во время всасывания и нагнетания, потерями энергии в клапанах и на трение поршня, утечкой воздуха.

На рис. 3.1 представлена схема и индикаторные диаграммы теоретических рабочих процессов компрессора:

Pv = const – кривая при изотермическом сжатии;

Pv^k = const – кривая при адиабатном сжатии;

Pv^n = const – кривая при политропном сжатии.

Работа полного цикла компрессора:

$$L_к = L_{вс} + L_{сж} + L_{наг}, \qquad (3.1)$$

где $L_{вс}$ – работа всасывания; $L_{сж}$ – работа сжатия; $L_{наг}$ – работа нагнетания.

Названные работы определяются по формулам термодинамики и графически по диаграмме P-V в зависимости от закона сжатия воздуха в компрессоре.

Изотермическое сжатие протекает при T = const по уравнению Pv = const. Работа полного цикла компрессора определяется уравнением:

$$l_{из.1кг} = 2{,}303 \cdot P_1 v_1 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \ \text{(Дж/кг)} \qquad (3.2)$$

или

$$l_{из.1м^3} = 2{,}303 \cdot P_1 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \ \text{(Дж/м}^3\text{)}. \qquad (3.3)$$

На диаграмме P-V (см. рис. 3.1) эта работа изображается площадью *1–2–3–4–1*.

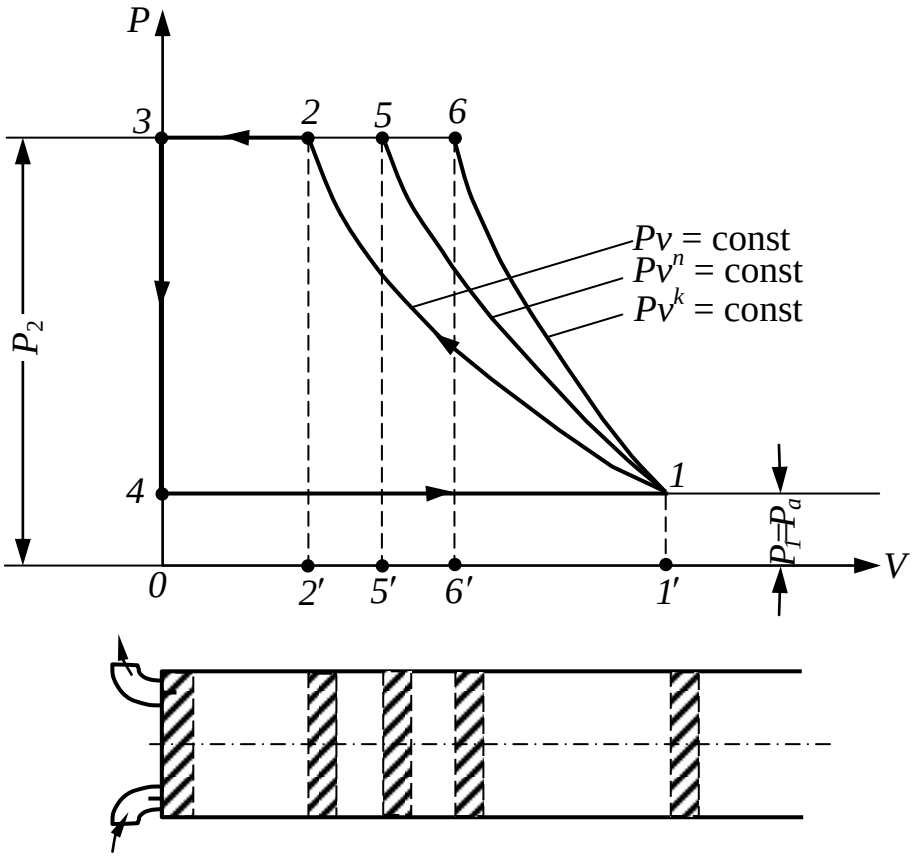


Рис. 3.1. Схема поршневого одноступенчатого компрессора
и его диаграммы теоретических рабочих процессов

Адиабатное сжатие происходит без теплообмена с окружающей средой, по уравнению $Pv^k = \text{const}$.

Работа полного цикла выражается уравнениями:

$$l_{\text{ад.1кг}} = \frac{k}{k-1} P_1 v_1 \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \text{ (Дж/кг);} \qquad (3.4)$$

$$l_{\text{ад.1м}^3} = \frac{k}{k-1} P_1 \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \text{ (Дж/м}^3\text{).} \qquad (3.5)$$

На диаграмме *P–V* работа цикла изображается площадью *1–6–3–4–1* (см. рис. 3.1).

Политропное сжатие протекает с одновременным изменением всех параметров при наличии теплообмена с окружающей средой. Уравнение политропы имеет вид $Pv^n = \text{const}$.

Работа цикла:

$$l_{\text{пол.1кг}} = \frac{n}{n-1} P_1 v_1 \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \text{ (Дж/кг);} \qquad (3.6)$$

$$l_{\text{пол.1м}^3} = \frac{n}{n-1} P_1 \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \text{ (Дж/м}^3\text{).} \qquad (3.7)$$

На рис. 3.1 эта работа определится площадью *1–5–3–4–1*.

В приведенных формулах (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) обозначены: P_1 – абсолютное давление воздуха при всасывании, Н/м^2; P_2 – абсолютное давление при нагнетании, Н/м^2; v_1 – удельный объем засасываемого воздуха, м^3/кг; $k = \frac{c_p}{c_v} = 1{,}4$ – показатель адиабаты; n = (1,28–1,32) – показатель политропы для рудничных компрессоров.

По формулам (3.4), (3.5), (3.6) и (3.7) определяют работу одноступенчатых компрессоров, а также двухступенчатых, когда степени сжатия воздуха по ступеням одинаковы.

При эксплуатации двухступенчатых компрессоров степени сжатия по ступеням, как правило, неодинаковы и работа полного цикла политропного сжатия 1 м^3 воздуха, Дж:

$$l_{\text{пол.1м}^3} = \frac{n}{n-1} P_1 \left(\varepsilon_1^{\frac{n-1}{n}} + \varepsilon_2^{\frac{n-1}{n}} - 2 \right), \qquad (3.8)$$

где $\varepsilon_1 = P_{\text{х}} / P_1$ – степень сжатия в первой ступени; представляет собой отношение абсолютного давления в промежуточном холодильнике ($P_{\text{х}}$) к абсолютному давлению при всасывании (P_1); $\varepsilon_2 = P_2' / P_{\text{х}}$ – степень сжатия во второй ступени – отношение конечного давления (P_2') к давлению в промежуточном холодильнике ($P_{\text{х}}$).

Фактические процессы, протекающие в поршневых компрессорах, отличаются от теоретических:

наличием вредного пространства;

наличием сопротивлений в клапанах, фильтрах и всасывающем воздухопроводе;

повышением температуры в конце всасывания;

наличием влаги в воздухе;

наличием неплотностей в клапанах, поршневых кольцах и сальниковых уплотнениях.

Указанные факторы снижают производительность компрессора и увеличивают удельный расход электроэнергии на сжатие воздуха. Действительная индикаторная диаграмма вследствие названных причин резко отличается от теоретической (рис. 3.2).

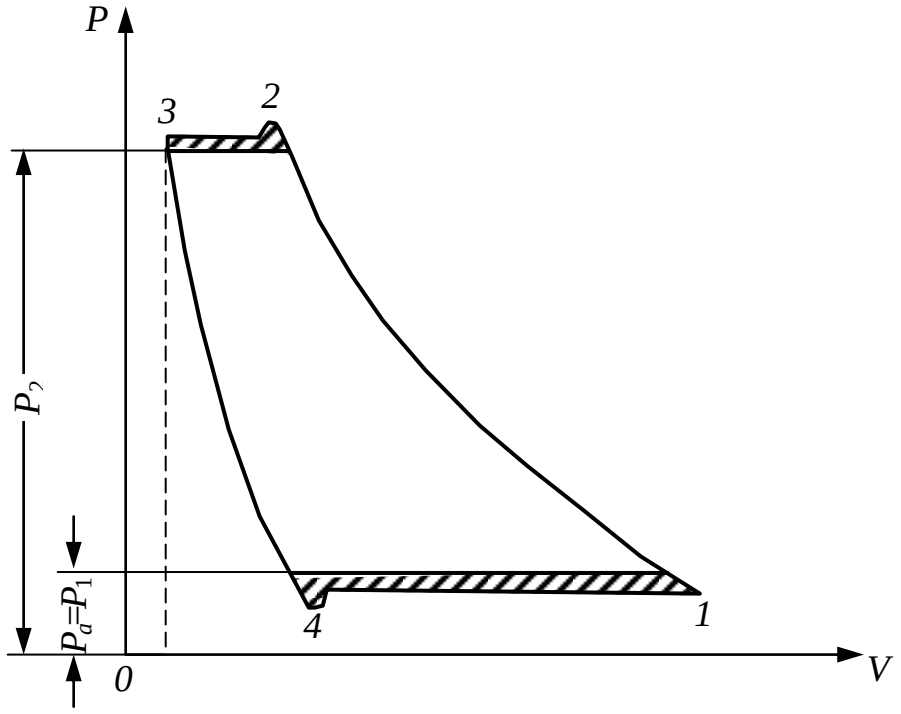


Рис. 3.2. Индикаторная диаграмма действительного рабочего процесса одноступенчатого поршневого компрессора

Снижение производительности компрессоров учитывается коэффициентом подачи λ, представляющим отношение действительно подаваемого объема воздуха за один ход к объему, описанному поршнем за один ход:

$$\lambda = \frac{V_{\text{д}}}{V_{\text{п}}}, \qquad (3.9)$$

где $V_{\text{д}}$ – действительно подаваемый объем воздуха за один ход поршня, м^3; $V_{\text{п}}$ – объем, описываемый поршнем компрессора за один ход, м^3.

Для хорошо выполненных компрессоров λ = 0,76–0,9.

3.4. Двухступенчатый и многоступенчатый поршневой компрессор

На рис. 3.3 приведена схема устройства идеального двухступенчатого компрессора (не имеющего объема мертвого пространства). Каждая его ступень работает как одноступенчатый идеальный компрессор. Между ступенями установлен промежуточный холодильник п. х., в котором охлаждается газ после первой ступени. При расчетах двухступенчатых компрессоров считают, что в промежуточном холодильнике газ охлаждается до температуры, равной температуре газа, всасываемого в первой ступени. Обычно у реальных компрессоров, правильно рассчитанных и изготовленных и работающих в нормальных условиях, промежуточный холодильник обеспечивает охлаждение газа, называемое *полным.* Принимается также, что в промежуточном холодильнике не происходит падения давления газа, что обеспечивает равенство давлений на линии нагнетания первой ступени и линии всасывания второй ступени.

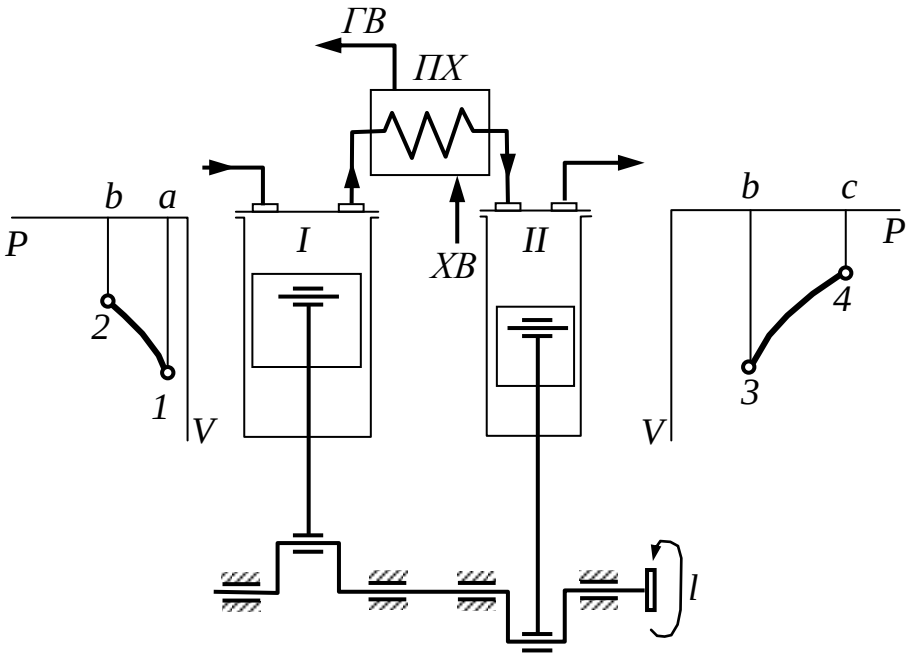


Рис. 3.3. Схема устройства и индикаторные диаграммы идеального двухступенчатого поршневого компрессора

Таким образом, совместное изображение рабочих процессов обеих ступеней, составляющих рабочий процесс двухступенчатого компрессора, представится следующим образом (рис. 3.4): *a1* – линия всасывания в первую ступень; *2b* – нагнетание из первой ступени в промежуточный холодильник; *b3* – всасывание во вторую сту-

пень из промежуточного холодильника; *4c* – нагнетание сжатого газа в газосборник; линии *1–2* и *3–4* – процессы сжатия, в общем случае политропного. Точки *1* и *3* лежат на одной и той же изотерме.

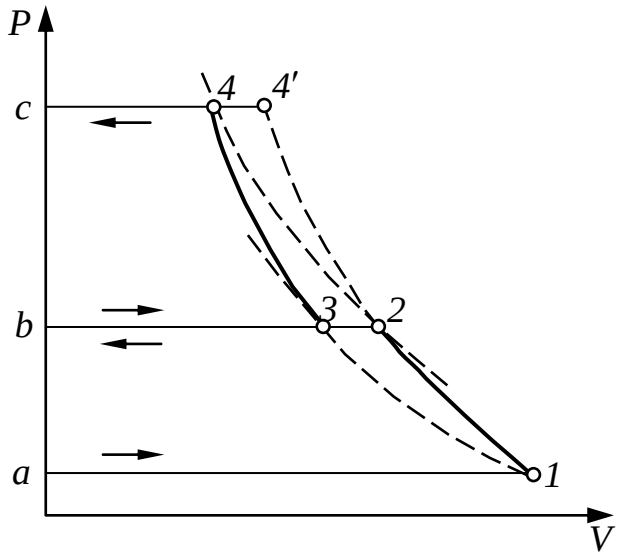


Рис. 3.4. Рабочий цикл идеального двухступенчатого поршневого компрессора

Важнейшей задачей проектирования двухступенчатых компрессоров является определение диапазона давлений p_1–p_4 по ступеням или определение давления конца сжатия в первой ступени. Расчеты показывают, что выгодно добиваться равенства работ в обеих ступенях компрессора, т. е. $l_I = l_{II}$, этими условиями и определяется искомое давление. Работу каждой ступени находят как работу одноступенчатого компрессора по формуле (3.6). Тогда:

$$\frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right) = \frac{n}{n-1} p_3 v_3 \left(1 - \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right).$$

Считая, что показатели политроп сжатия в обеих ступенях одинаковы, и учитывая, что $p_1 v_1 = p_3 v_3$, так как $t_1 = t_3$, получим:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3};$$

$$p_2 p_3 = p_1 p_4,$$

но $p_2 = p_3$, поэтому $p_2^2 = p_1 p_4 = \frac{p_1^2 p_4}{p_1}$; $p_2 = p_1 \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$.

Величина $\sqrt{\frac{p_4}{p_1}} = \varepsilon$ характеризует степень сжатия в каждой ступени компрессора. Окончательно промежуточное давление может быть выражено следующим образом:

$$p_2 = p_1\varepsilon. \qquad (3.10)$$

В диаграмме *T–s* процессы сжатия в двухступенчатом компрессоре представляются двумя политропами *1–2* и *3–4* (рис. 3.5). Процесс охлаждения газа в промежуточном холодильнике изобразится линией *2–3*. Равенство затраченной работы на каждую ступень, а также равенство показателей политроп и температур t_1 и t_3 приводит к равенству температур в конце сжатия в обеих ступенях (точки *2* и *4*).

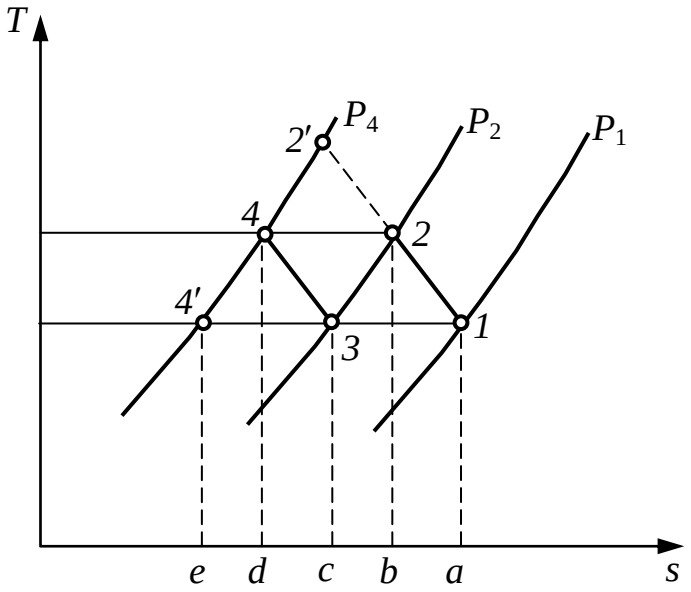


Рис. 3.5. Изображение рабочего процесса двухступенчатого компрессора в координатах *T-s*

Площади *12ba* и *34dc* представляют теплоту, отводимую от газа при политропическом процессе сжатия в первой и второй ступенях компрессора. Площадь *23cb* равна теплоте, отводимой от газа в промежуточном холодильнике.

На рис. 3.6 приведен рабочий цикл двухступенчатого компрессора, отличающегося от идеального только наличием объема «мертвого» пространства. Объемные коэффициенты ступеней сжатия этого компрессора $\varphi_I = \frac{V_{\text{вс}I}}{V_I}$; $\varphi_{II} = \frac{V_{\text{вс}II}}{V_{II}}$.

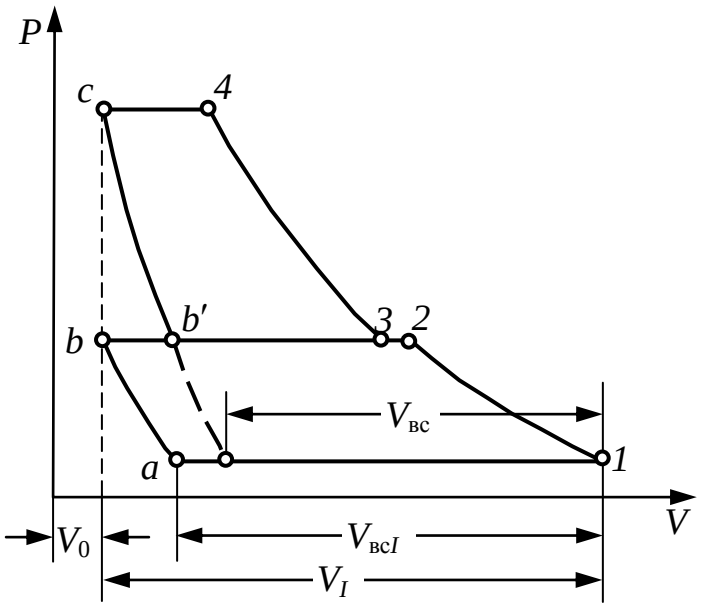


Рис. 3.6. Рабочий цикл идеального двухступенчатого поршневого компрессора с учетом «мертвого» пространства

Нетрудно видеть, что при таком же объеме «мертвого» пространства одноступенчатого компрессора, при той же степени сжатия $\varepsilon = \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$ объемный коэффициент $\varphi = \frac{V_{вс}}{V_I}$ был бы значительно меньше φ_I и φ_{II}. Это свидетельствует о том, что при двухступенчатом сжатии увеличивается производительность компрессора.

Если сравнить рабочие циклы двухступенчатого компрессора *a12b34c* (см. рис. 3.4) и одноступенчатого, сжимающего газ в том же диапазоне давлений *a14'c*, то легко установить, что при использовании промежуточного охлаждения затраченная работа в двухступенчатом компрессоре меньше работы, затраченной в одноступенчатом, на величину, соответствующую площади *24'432*. Отсюда следует, что двухступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением с термодинамической точки зрения более выгодно.

Однако из этого нельзя сделать вывод, что промежуточное охлаждение при двухступенчатом сжатии экономичнее одноступенчатого на величину, определяемую выигрышем в работе. Следует иметь в виду, что промежуточное охлаждение требует дополнительных устройств, усложняющих и удорожающих компрессор, и расхода охлаждающей воды, что в некоторых условиях может превратиться в весьма сложную проблему. Поэтому, если бы двухступенчатое сжатие в сочетании с промежуточным охлаждением

имело своим результатом только выигрыш в работе, расходуемой на получение сжатого газа, то вряд ли оно получило бы такое большое распространение. Решающими соображениями в пользу двухступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением следует признать увеличение объемного коэффициента и снижение максимальной температуры сжимаемого газа. Последнее имеет особенно важное значение для компрессоров большой производительности и высоких давлений. Этим объясняется тот факт, что известно довольно большое число компрессоров малой производительности, в которых применено двухступенчатое сжатие с частичным промежуточным охлаждением (воздушным) или вообще без него.

Для получения высоких давлений (порядка 100 атм и выше) применяют многоступенчатое сжатие (до пяти и выше ступеней). Устройство таких компрессоров и принцип их работы подобны разобранным для двухступенчатого. На рис. 3.7 приведена схема трехступенчатого компрессора с двумя промежуточными холодильниками, а на рис. 3.8 – диаграмма его рабочего процесса в координатах *p*–*v* и *T*–*s*.

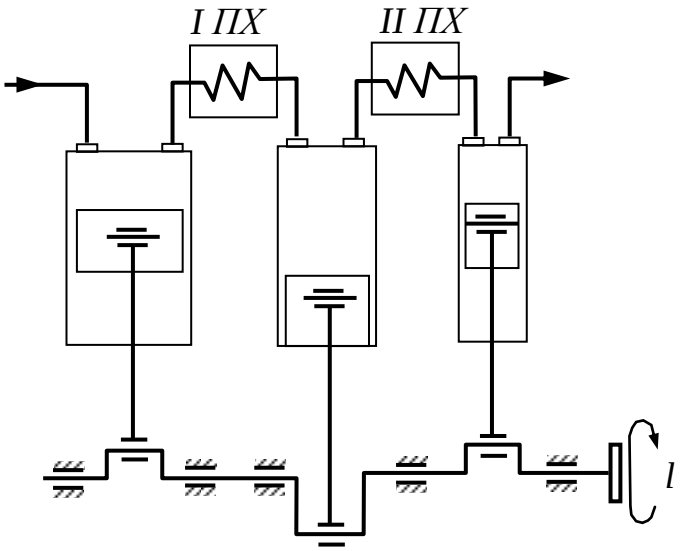


Рис. 3.7. Схема устройства трехступенчатого поршневого компрессора

На рис. 3.9 приведен рабочий процесс многоступенчатого компрессора с промежуточным охлаждением. Очевидно, что сжатие в таком компрессоре в значительной мере приближается к изотермическому. Можно представить, что в пределе, при числе ступеней, равном бесконечности, сжатие протекало бы по изотерме *1A,* т. е. потребовало бы минимальной затраты работы.

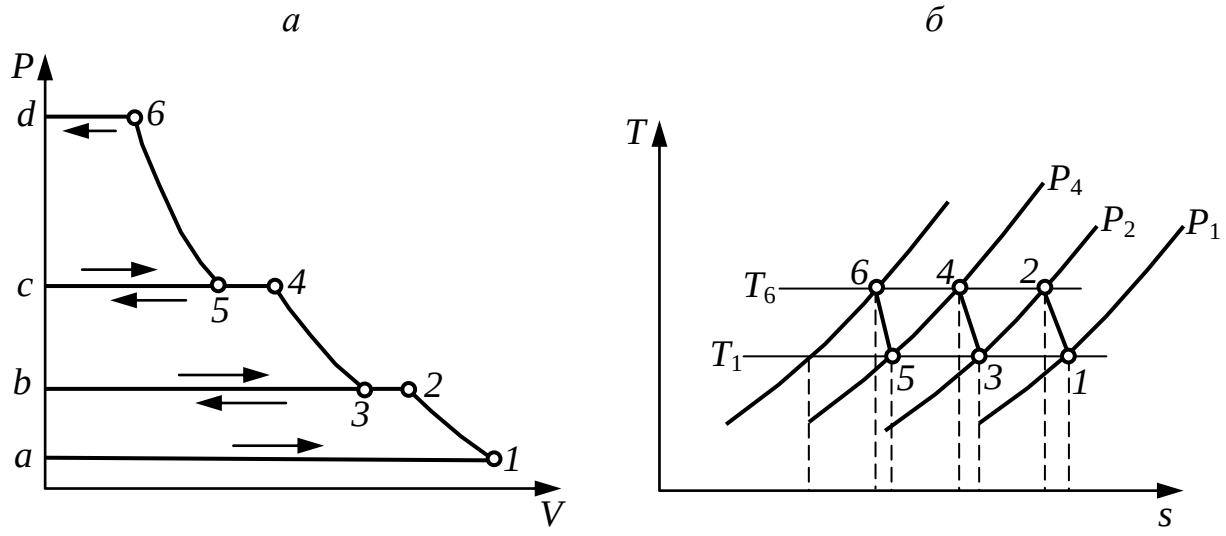


Рис. 3.8. Рабочий цикл трехступенчатого поршневого компрессора в координатах *p*-*v* (*а*) и *T*-*s* (*б*).

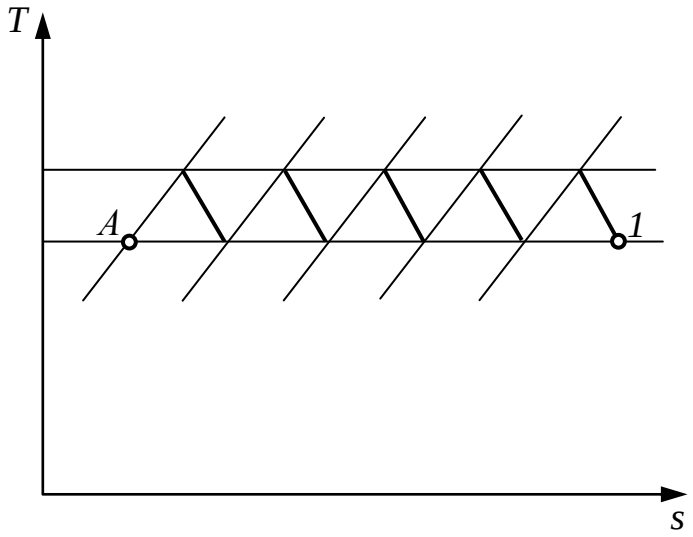


Рис. 3.9. Рабочий процесс многоступенчатого компрессора с промежуточным охлаждением

Однако вышеприведенная оценка общей экономичности двухступенчатого компрессора с учетом затрат на промежуточное охлаждение остается справедливой и в этом случае.

3.5. Двигатели внутреннего сгорания

Двигателем внутреннего сгорания называется поршневой двигатель, рабочим телом в котором являются продукты сгорания топлива (жидкого или газообразного), сгорающего непосредственно в объеме цилиндра.

На рис. 3.10 показаны схема устройства двигателя и его индикаторная диаграмма, т. е. графическое изображение зависимости давления в цилиндре p, н/м^2 от хода поршня $h_м$ или от объема цилиндра V, м^3. Различают теоретическую и действительную индикаторные диаграммы. Индикаторной диаграммой весьма наглядно представляется *рабочий* цикл двигателя, т. е. некоторое вполне закономерное чередование различных процессов, протекающих в рабочем объеме его цилиндра за один или два оборота вала. При этом следует иметь в виду, что в число процессов, составляющих рабочий цикл реального двигателя, входят процессы, в течение которых количество рабочего тела меняется (впуск и выпуск), а также процессы изменения химического состава вещества (горение). Поэтому рабочий цикл двигателя не следует смешивать с термодинамическим, характеризуемым постоянным количеством вещества неизменяющегося химического состава.

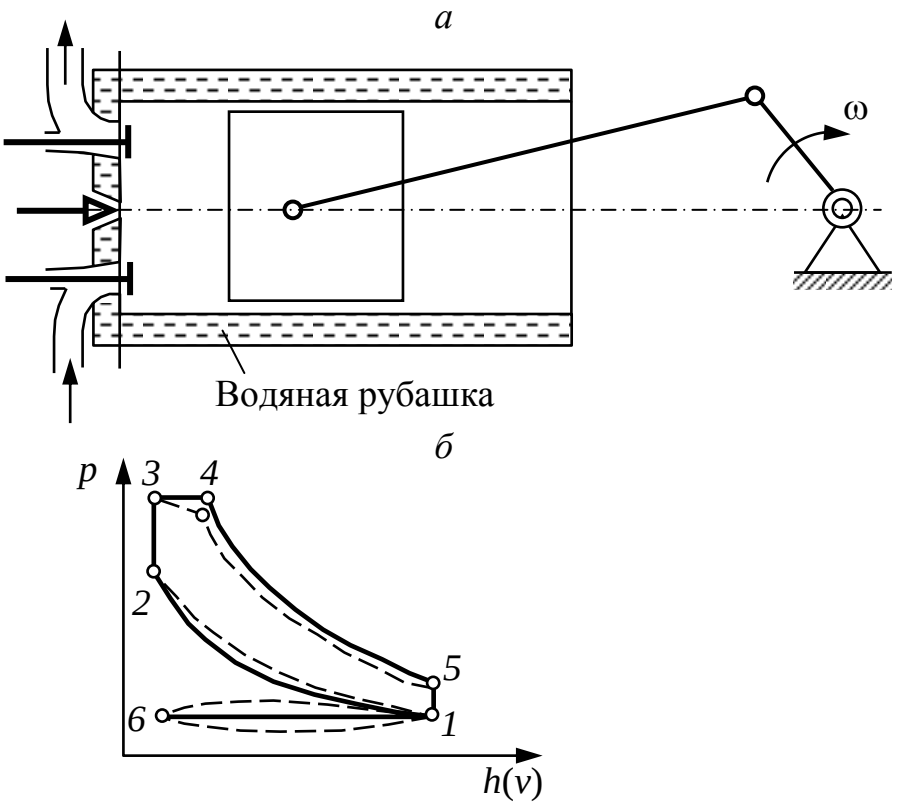


Рис. 3.10. Схема устройства четырехтактного двигателя внутреннего сгорания (*а*) и его индикаторная диаграмма (*б*)

Рассмотрение отдельных процессов, характеризующих работу двигателя внутреннего сгорания, обычно начинают, предполагая идеальные условия работы всех его органов. Эти условия подразумевают отсутствие гидравлических сопротивлений впускного и вы-

пускного клапанов, полное сгорание топлива при любом желаемом характере изменения давления рабочего тела в цилиндре в процессе сгорания и адиабатное протекание процессов сжатия и расширения. При таких идеальных (теоретических) условиях рабочий цикл двигателя будет характеризоваться теоретической индикаторной диаграммой (сплошная линия на рис. 3.10).

В течение хода поршня от верхней точки (точки *6*) к нижней (точке *1*) через открытый впускной клапан поступает воздух из атмосферы или специального ресивера. Во время всасывания давление в цилиндре равно давлению той среды, откуда происходит впуск рабочего тела. Последнее объясняется отсутствием гидравлических сопротивлений клапана. В конце впуска закрывается впускной клапан, и при ходе поршня от нижней мертвой точки к верхней сжимается свежая порция воздуха. При идеальных условиях сжатие протекает адиабатно. К концу сжатия температура повышается так, что подаваемое в цилиндр через топливный клапан (форсунку) топливо сгорает. Топливо вводится в цилиндр двумя порциями: первая подается так, чтобы она сгорела мгновенно; при этом повышается давление в цилиндре от p_2 до p_1 теоретически при постоянном его объеме; подача второй порции регулируется так, чтобы при его постепенном горении давление в цилиндре оставалось постоянным, несмотря на движение поршня и увеличение объема от V_3 до V_4. Следует оговориться, что наличие в одном цикле процессов сгорания топлива при V = const и при p = const необязательно: известны циклы, в которых топливо сгорает только при p = const или при V = const.

После полного сгорания всего топлива образовавшиеся продукты сгорания адиабатно расширяются. При подходе поршня к нижней мертвой точке открывается выпускной клапан (вып.) и происходит выпуск по линии *5–1* и выталкивание по линии *1–6*. В результате выпуска давление в цилиндре падает практически мгновенно (при V = const), и в течение выталкивания давление остается постоянным и равным давлению той среды, куда производится выпуск отработавших газов.

Реальные условия работы двигателей резко отличаются от идеальных. Впускной и выпускной клапаны всегда оказывают гидравлические сопротивления проходящему через них газу. Процессы сжатия и расширения в реальных условиях не могут протекать адиабатно. Сгорание также не может происходить точно при V = const и

при p = const и быть полным. Отдельные порции топлива сгорают на линии расширения и даже в процессе выпуска (выпуска и выталкивания). Нужно также иметь в виду, что в течение всего рабочего цикла некоторая часть рабочего тела утекает из рабочего объема через неплотности в поршневых кольцах. Это также влияет на характер действительного рабочего цикла.

В результате этого реальный рабочий процесс, представляемый действительной индикаторной диаграммой (пунктирная линия на рис. 3.10), существенно отличается от идеального.

Двигатели, схема которых показана на рис. 3.10, называют *двигателями с воспламенением от сжатия, или дизелями.* Другого типа двигателями являются *двигатели с принудительным зажиганием.* В цилиндры такого двигателя подают уже готовую смесь топлива с воздухом, приготовленную вне цилиндра в специальных устройствах (карбюраторах). Подобные двигатели не нуждаются в топливных клапанах, но имеют особое устройство для зажигания горючей смеси в конце сжатия (электрозажигание). Если рабочий цикл двигателя совершается за четыре хода поршня (два оборота вала), то двигатель называют *четырехтактным,* если за два хода поршня (один оборот вала) – *двухтактным.*

На рис. 3.11 показаны схема двухтактного двигателя и его теоретическая индикаторная диаграмма. В нижней части цилиндр имеет окна, которые отзываются непосредственно поршнем при приближении его к нижней мертвой точке. В одной половине окружности цилиндра расположены выпускные окна, в другой – продувочные. Первые имеют большую высоту и поэтому открываются раньше вторых. К тому моменту, когда поршень открывает продувочные окна, значительная часть газов уже удалена из цилиндра через выпускные окна в выпускной коллектор и из последнего в атмосферу. После открытия продувочных окон воздух из продувочного ресивера под давлением вдувается в цилиндр; при этом из цилиндра удаляется большая часть оставшихся после выпуска продуктов сгорания. При движении поршня от нижней мертвой точки он в положении, соответствующем точке *1*, закрывает выпускные окна. Продувочные окна закрываются несколько раньше. От точки *1* начинается сжатие, и дальше рабочий процесс протекает так, как он протекал у четырехтактного двигателя.

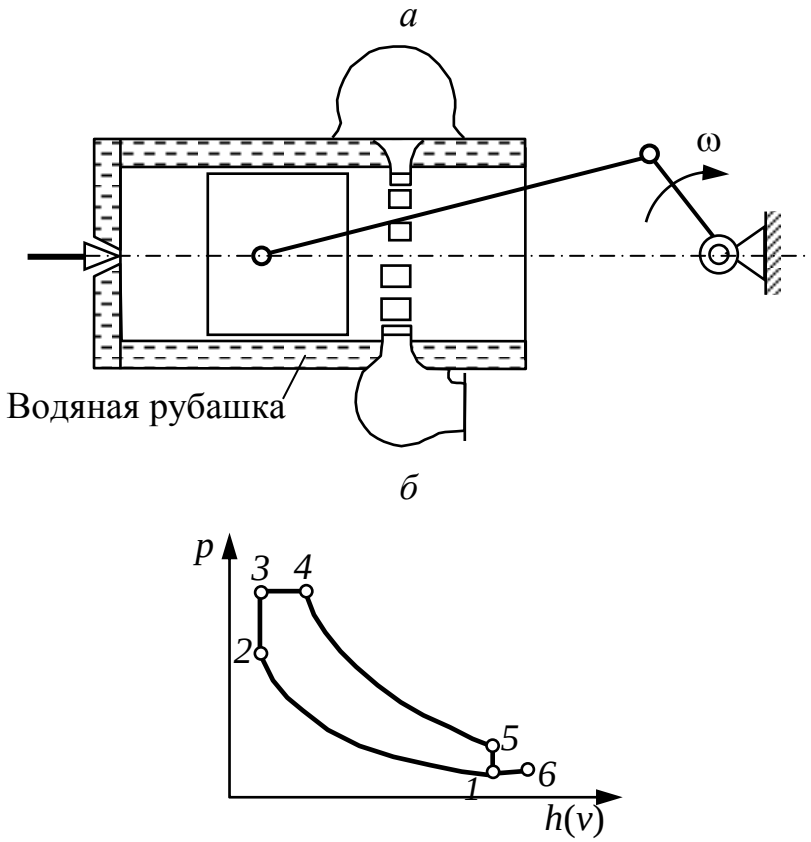


Рис. 3.11. Схема устройства двухтактного двигателя внутреннего сгорания (*а*) и его индикаторная диаграмма (*б*)

Так как рабочие циклы двигателей четырех- и двухтактных включают в себя процессы, в течение которых меняется количество рабочего тела и его химический состав, то непосредственный термодинамический анализ этих процессов невозможен.

Поэтому в термодинамике рабочие циклы реальных двигателей заменяют соответствующими идеальными термодинамическими циклами двигателя, предполагая, что при осуществлении цикла химический состав рабочего тела не меняется. В таком цикле процессы сгорания топлива и выпуска продуктов сгорания заменяют соответственно процессами подвода и отвода теплоты. Само собой разумеется, что идеальный термодинамический цикл не может быть осуществлен в реальном двигателе, даже если представить теоретические условия его работы. Идеальный термодинамический цикл можно осуществить в двигателе, если из крышки цилиндра удалить клапаны, между крышкой и поршнем поместить 1 кг рабочего тела, а процессы сгорания топлива и выпуска заменить соответственно процессами подвода и отвода теплоты (рис. 3.12). Идеальный термодинамический цикл должен в точности соответствовать теорети-

ческому рабочему циклу, т. е. оба цикла должны представляться в координатах *p–v* совпадающими фигурами, а подводимая в идеальном цикле теплота должна равняться теплоте, выделяемой при полном сгорании топлива.

3.6. Характеристики термодинамических циклов

Важнейшими характеристиками всякого цикла двигателя являются следующие безразмерные величины:

Степень сжатия – отношение удельного объема рабочего тела, соответствующего началу сжатия (точка *1* на рис. 3.12), к удельному объему в конце сжатия (точка *2*):

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}. \qquad (3.11)$$

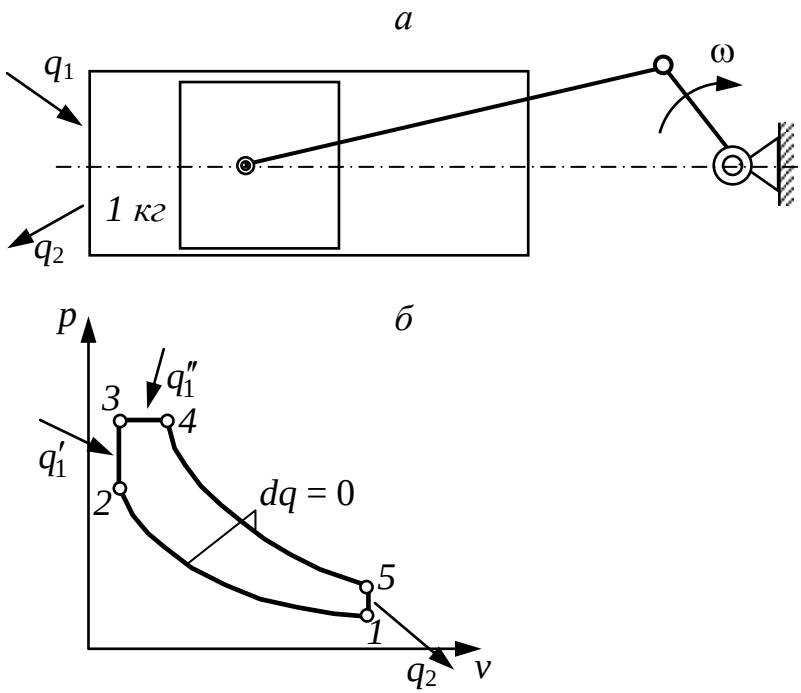


Рис. 3.12. Термодинамический поршневой двигатель (*а*) и идеальный обобщенный цикл двигателей внутреннего сгорания (смешанный цикл) – *б*

Степень дополнительного повышения давления – отношение давления в конце подвода теплоты при *v* = const к давлению в конце сжатия:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}. \qquad (3.12)$$

Степень предварительного расширения – отношение удельного объема в конце процесса подвода теплоты при p = const к удельному объему в начале этого процесса:

$$\rho = \frac{v_4}{v_3}. \qquad (3.13)$$

Степень последующего расширения – отношение удельных объемов в конце и в начале процесса адиабатного расширения. Последняя величина равна объему в конце процессов подвода теплоты:

$$\delta = \frac{v_5}{v_4}. \qquad (3.14)$$

Значения основных характеристик цикла оказывают решающее влияние на величину его работы и экономичность.

В зависимости от значений основных характеристик различают следующие циклы:

1) смешанный цикл; ни одна из основных характеристик не равна единице (см. рис. 3.12);

2) цикл с подводом теплоты при p = const (рис. 3.13); степень повышения давления равна единице ($\lambda = 1$);

3) цикл с подводом теплоты при v = const (рис. 3.14); степень предварительного расширения равна единице ($\rho = 1$); степень последующего расширения равна степени сжатия ($\rho = \varepsilon$).

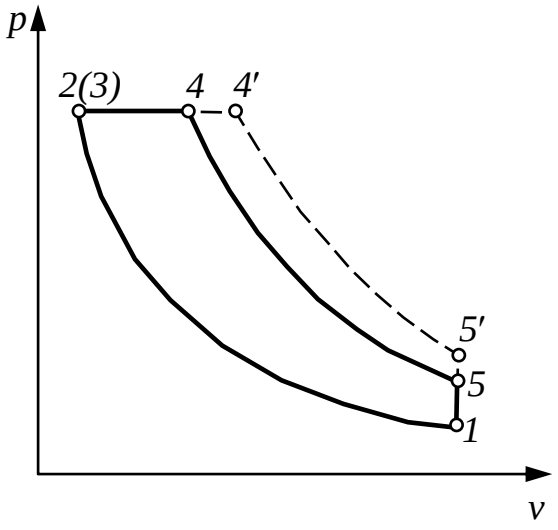


Рис. 3.13. Идеальный цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при p = const

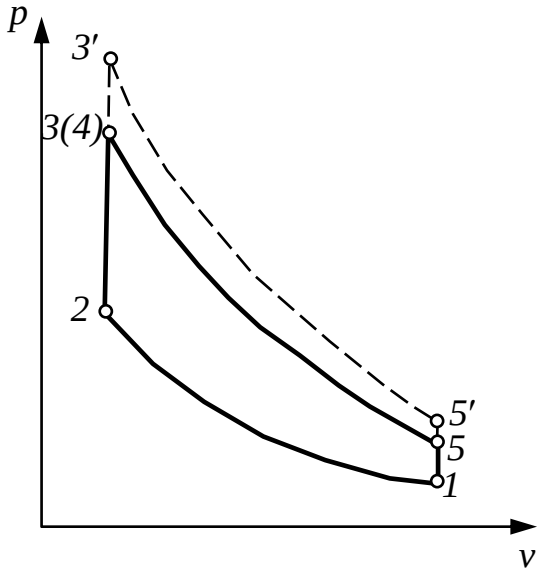


Рис. 3.14. Идеальный цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при v = const

Каждый из этих циклов служит в качестве идеального для определенной группы двигателей: смешанный – для так называемых бескомпрессорных дизелей (топливо впрыскивается и распыляется специальным насосом); цикл с подводом теплоты при p = const – для компрессорных дизелей (топливо впрыскивается и распыляется сжатым воздухом). Для двигателей с принудительным зажиганием (карбюраторных и газовых) идеальным циклом является цикл с подводом теплоты при v = const.

3.7. Экономичность идеальных циклов

Для всякого идеального цикла показателем экономичности является его термический КПД.

Определим КПД смешанного цикла (см. рис. 3.12):

$$\eta_t = \frac{(q_1' + q_1'') - q_2}{q_1' + q_1''}. \qquad (3.15)$$

Теплота, подводимая к рабочему телу в процессе v = const:

$$q_1' = c_v(T_3 - T_2).$$

Теплота, подводимая в процессе p = const:

$$q_1'' = c_p(T_4 - T_3).$$

Теплота, отводимая от рабочего тела:

$$q_2 = c_v(T_5 - T_1).$$

Тогда

$$\eta_t = \frac{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3) - c_v(T_5 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)}.$$

Разделив правую часть последнего уравнения на c_v, получим:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + k(T_4 - T_3)}. \qquad (3.16)$$

Для адиабаты сжатия *1–2* имеем:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1},$$

отсюда

$$T_2 = T_1\varepsilon^{k-1}. \qquad (3.17)$$

Для изохоры *2–3*:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda, \qquad (3.18)$$

отсюда

$$T_3 = T_2\lambda = T_1\varepsilon^{k-1}\lambda.$$

Для изобары *3–4*:

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \rho,$$

отсюда

$$T_4 = T_3\rho = T_1\varepsilon^{k-1}\lambda\rho. \qquad (3.19)$$

Для адиабаты расширения *4–5*:

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{k-1} = \frac{\left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{k-1}}{\left(\frac{v_5}{v_3}\right)^{k-1}} = \frac{\rho^{k-1}}{\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}} = \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}},$$

отсюда

$$T_5 = T_4\frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1\varepsilon^{k-1}\lambda\rho\frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}}. \qquad (3.20)$$

Подставляя в уравнение значения температур из уравнений (3.17)-(3.20) и произведя сокращения, получим:

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1}\lambda - \varepsilon^{k-1} + k(\varepsilon^{k-1}\lambda\rho - \varepsilon^{k-1}\lambda)}. \qquad (3.21)$$

Окончательно выражение для КПД смешанного цикла удобно представить в виде:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda\rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)}. \qquad (3.22)$$

Из этого уравнения получим как частные случаи выражения для КПД цикла с подводом теплоты при p = const и цикла с подводом теплоты при v = const.

Для цикла с подводом теплоты при p = const, $\lambda = 1$:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}. \qquad (3.23)$$

Для цикла с подводом теплоты при v = const, $\rho = 1$:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \qquad (3.24)$$

При одинаковых степенях сжатия термический КПД цикла с изохорным подводом теплоты выше, чем с изобарным.

3.8. Изображение идеальных циклов в координатах *T-s*

Для исследования идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания часто более удобно изображение их в координатах *T*–*s*.

На рис. 3.15 показан смешанный цикл в координатах *T*–*s*, на рис. 3.16 – цикл с подводом теплоты при p = const и на рис. 3.17 – цикл с подводом теплоты при v = const. Коэффициенты полезного действия циклов определяют как отношения соответствующих площадок:

для смешанного цикла (рис. 3.15): $\eta_t = \dfrac{\text{пл.}123451}{\text{пл.}a234b}$;

для цикла с подводом теплоты при p = const (рис. 3.16):

$$\eta_t = \frac{\text{пл.}12(3)451}{\text{пл.}a2(3)4b};$$

для цикла с подводом теплоты при v = const (рис. 3.17):

$$\eta_t = \frac{\text{пл.}123(4)51}{\text{пл.}a23(4)b}.$$

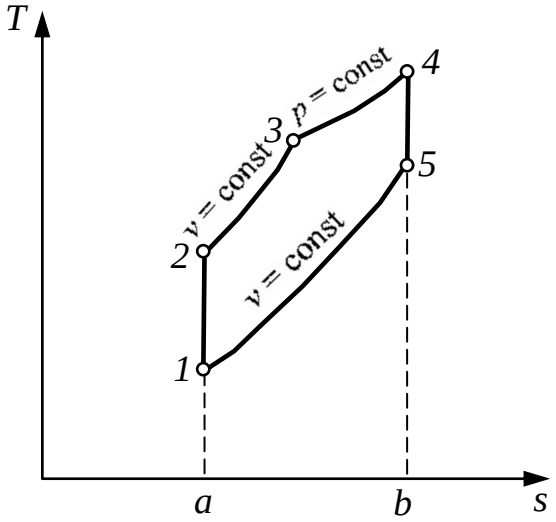


Рис. 3.15. Смешанный цикл в координатах *T*–*s*

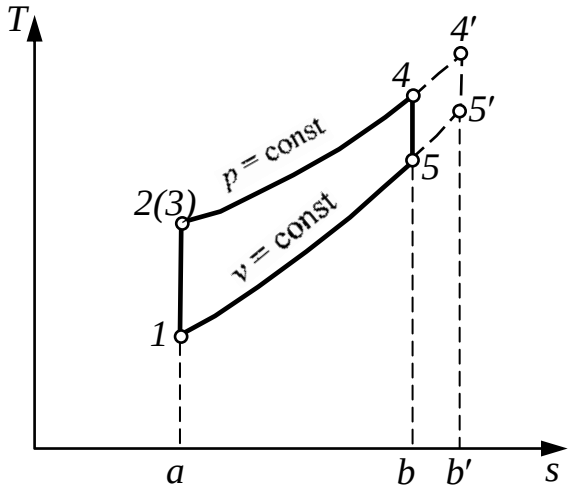


Рис. 3.16. Цикл с подводом теплоты при *p* = const в координатах *T*-*s*

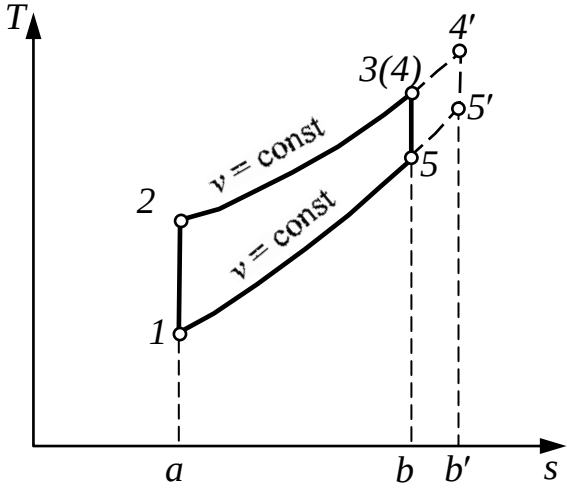


Рис. 3.17. Цикл с подводом теплоты при *v* = const в координатах *T*–*s*

Чем больше площадь замкнутого контура в координатах *T*–*s* – тем выше экономичность цикла тепловой машины.

3.9. Котельные установки

Котельная установка, часто называемая парогенераторной, состоит из котла и вспомогательного оборудования, связанных единой технологической схемой. К вспомогательному оборудованию относятся устройства топливоподачи, питательные насосы, вентиляторы, дымососы, золоуловители, паропроводы, водопроводы и др.

Схема собственно котельного агрегата показана на рис. 3.18.

Котельный агрегат П-образной компоновки состоит из подъемного *2* и опускного *8* газоходов. Подъемный газоход *2* представляет

собой топку для сжигания топлива, на стенах которой установлены испарительные поверхности нагрева *3* в виде плоских трубчатых панелей, называемых экранами. В опускном газоходе расположены водяной экономайзер *9* для подогрева питательной воды и воздухоподогреватель *10* для подогрева воздуха, идущего на горение топлива в топке. В соединительном газоходе расположены фестон *6*, представляющий собой разреженный пучок труб – продолжение заднего экрана, и пароперегреватель *7*, обеспечивающий требуемую потребителем температуру пара.

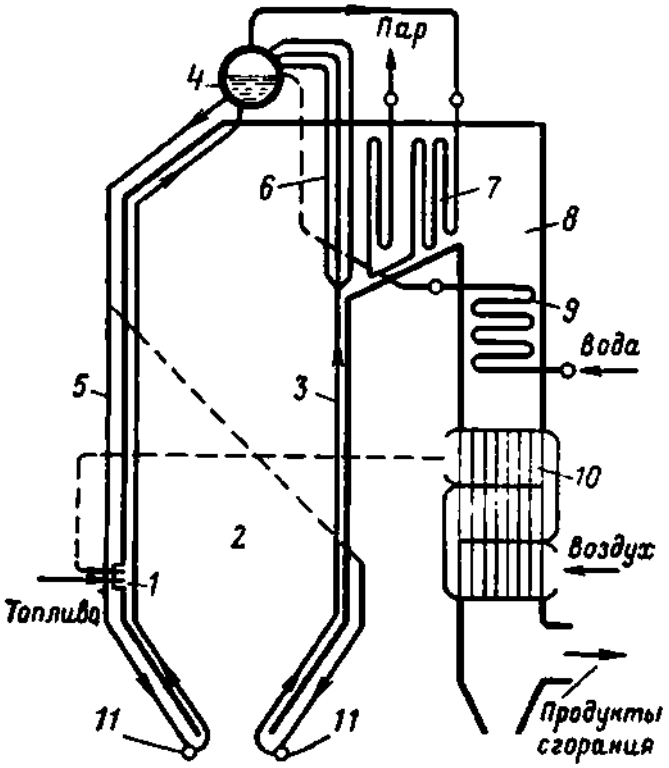


Рис. 3.18. Схема котельного агрегата

Испарительные поверхности *3* сообщаются с барабаном котла *4* и вместе с опускными трубами *5*, соединяющими барабан с нижними коллекторами экранов, составляют циркуляционные контуры. Пароводяная смесь в барабане разделяется на насыщенный пар и воду, пар направляется в пароперегреватель, вода снова в циркуляционные контуры. Циркуляция воды и пароводяной смеси в контурах происходит за счет разности плотностей столба воды в опускных трубах и пароводяной смеси в подъемных трубах-экранах (естественная циркуляция).

Топливо вместе с горячим воздухом через горелки *1* подается в топочную камеру *2*, где сжигается в виде факела. Продукты сгорания из топочной камеры направляются в пароперегреватель, эконо-

майзер и воздухоподогреватель и через газоочистку удаляются в атмосферу.

Существуют различные конструктивные оформления котельных агрегатов, схемы которых отличаются от рассмотренной. Так, сжигание топлива может осуществляться в слое, циркуляция воды и пароводяной смеси в испарительной системе котла может быть принудительной с помощью специальных насосов, водяной экономайзер и воздухоподогреватель могут располагаться в несколько ступеней и т. д.

Современный котельный агрегат полностью автоматизирован, надежен и безопасен в работе, обеспечивает требуемые паропроизводительность и параметры пара при рациональном использовании топлива.

3.10. Турбинные установки

Турбинные установки являются основной частью тепловой электрической или воздуходувной станций и предназначены для преобразования энергии рабочего тела (пара, газа), имеющего обычно высокое давление и температуру, в механическую энергию вращения ротора турбины. Турбины используют в качестве двигателей для электрогенераторов, турбокомпрессоров, воздуходувок, насосов и т. д.

В зависимости от используемого рабочего тела различают турбины паровые и газовые. В первых в качестве рабочего тела используют водяной пар, получаемый в паровом котле, во вторых – продукты сгорания топлива, сжигаемого в специальной камере сгорания.

Принцип работы паровых и газовых турбин одинаков, поэтому можно ограничиться рассмотрением рабочих процессов только в паровых турбинах.

Рабочий процесс в паровой турбине принципиально осуществляется следующим образом (рис. 3.19). Водяной пар с высоким давлением и температурой поступает в сопло *4,* при истечении из которого его давление снижается, а кинетическая энергия увеличивается. Струя пара направляется на закрепленные в диске *2* ротора турбины рабочие лопатки *3* и передает им часть своей кинетической энергии, которая через лопатки передается вращающемуся ротору. Обычно турбина имеет несколько сопел, составляющих сопловые решетки или сопловые аппараты, располагаемые по всей окружности в данном сечении турбины или занимающие только

часть ее, т. е. с парциальным подводом пара к рабочим лопаткам. Рабочие лопатки расположены по всей окружности диска и образуют рабочую решетку. Сопловая и рабочая решетки составляют ступень турбины, а каналы для прохода пара – проточную часть турбины. Диск *2* установлен на валу *1*.

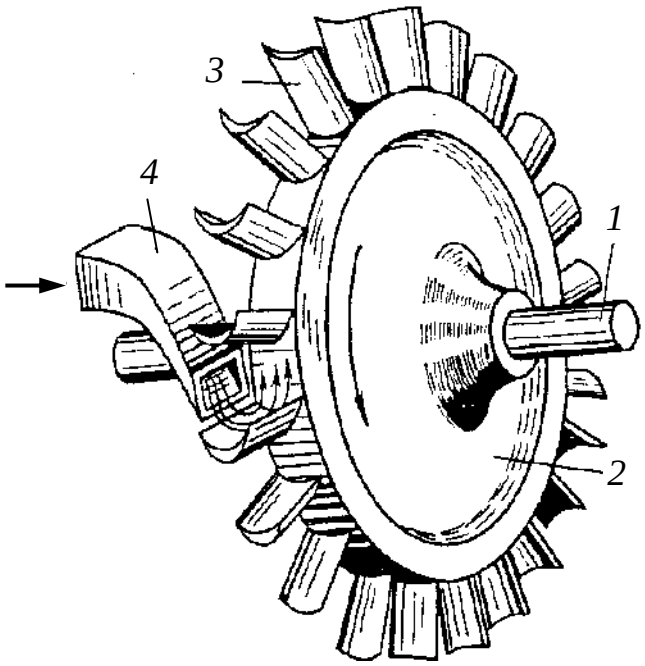


Рис. 3.19. Принцип действия турбины

На рис. 3.20 и 3.21 показаны одноступенчатые и многоступенчатые паровые турбины, а также графики изменения давления *p* и скорости пара *C* в проточных частях турбины. В многоступенчатой турбине сопловой аппарат каждой ступени, кроме первой, расположен в диафрагмах, закрепленных в корпусе турбины и отделяющих одну ступень турбины от другой.

Турбины бывают активного и реактивного типов. В активных турбинах процесс расширения пара происходит только в соплах, а в реактивных – и в соплах, и в каналах рабочих лопаток. Чисто реактивные или активные турбины почти не встречаются, в основном производят турбины промежуточного, комбинированного типа, но называют их активными, хотя в них имеется некоторая степень реактивности (до 50 %).

Паровые турбины можно классифицировать по их назначению. Обозначение типа турбины состоит из буквенной и цифровой частей. Так, *К* – турбина конденсационная; *Р* – противодавленческая; *П* – конденсационная с регулируемым производственным отбором

пара; *Т* – конденсационная с регулируемым отопительным (теплофикационным) отбором пара.

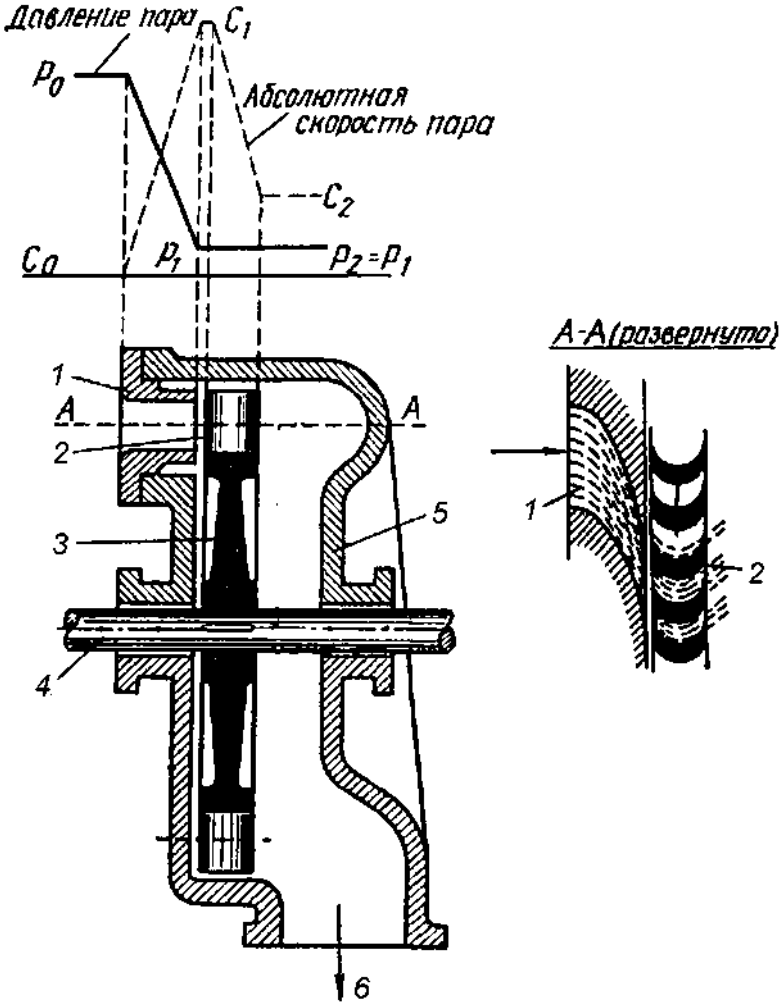


Рис. 3.20. Схема одноступенчатой турбины:
1 – сопло; 2 – рабочие лопатки; 3 – рабочее колесо; 4 – вал; 5 – корпус турбины; 6 – выпускной патрубок

В цифровой части обозначения сначала указывают мощность, затем давление свежего пара перед турбиной; в противодавленческих турбинах и в турбинах с регулируемым производственным отбором пара указывают величину противодавления, т. е. давления пара за турбиной и давления в отборе. Например, турбина ПТ-25-90/10 представляет собой турбину с производственным и теплофикационным отборами, электрической мощностью 25 МВт, давлениями свежего пара 9 МПа, производственного отбора 1 МПа.

Конденсационную турбину используют в качестве привода к электрогенераторам, турбовоздуходувкам и другим машинам. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор, где он превращается в воду (конденсат) с температурой 30 °С при давлении в

конденсаторе 3-5 кПа. В результате использования конденсаторов обеспечиваются минимальные температура и давление пара за турбиной, что обусловливает их высокий КПД.

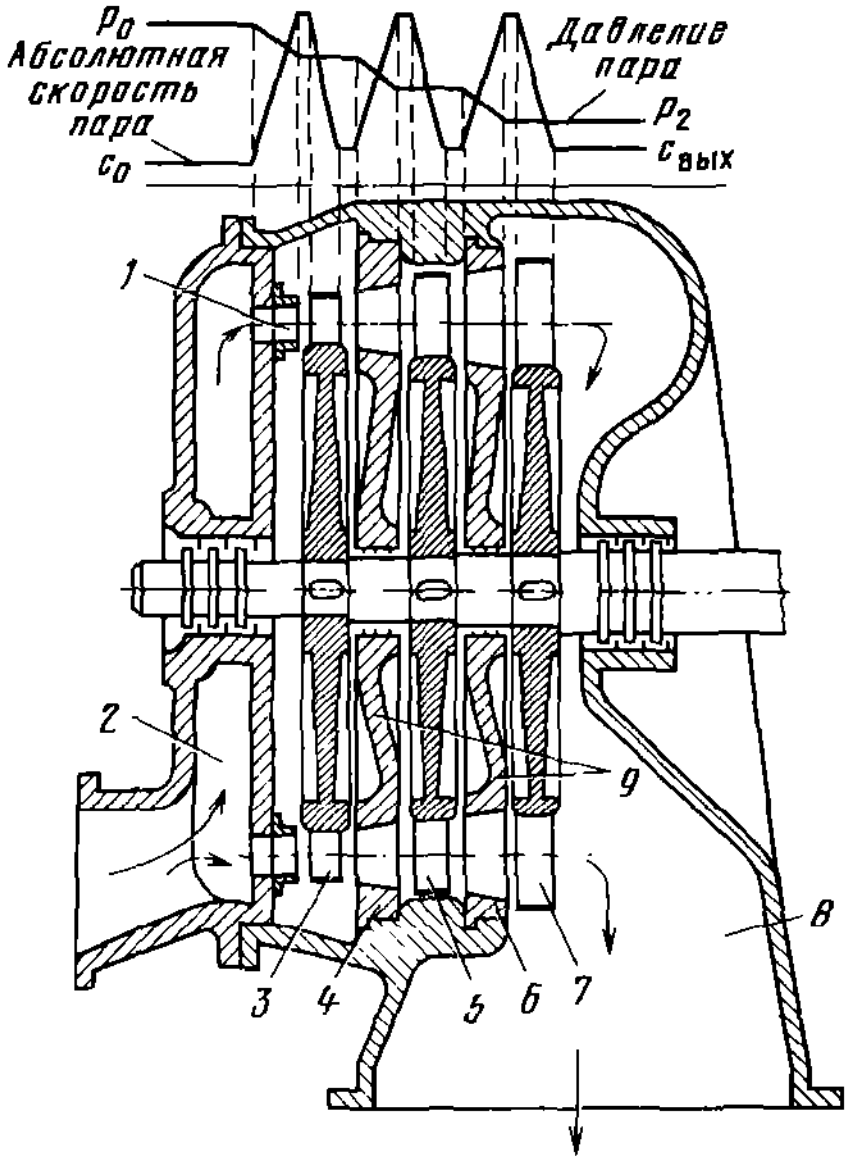


Рис. 3.21. Схема активной турбины с тремя ступенями давления:
1, 4, 6 – сопла; 2 – входной патрубок; 3,5,7 – рабочие лопатки соответственно I, II и III ступеней; 8 – выходной патрубок; 9 – диафрагмы

Теплофикационная турбина отдает часть или весь отработавший в ней пар потребителю тепла. При этом температура и давление этого пара должны быть значительно выше, чем в конденсаторе, так как потребитель чаще всего использует пар с давлением выше атмосферного и температурой 130-180 °С.

Теплофикационная турбина, отдающая весь пар потребителю тепла, называется чисто теплофикационной. При отдаче потребите-

лю части пара, недоработавшего в турбине до давления в конденсаторе, т. е. при отборе пара из промежуточных ступеней турбины, последнюю называют теплофикационной с отборами пара. При этом остальная часть пара проходит через все ступени турбины в конденсатор.

Простейшая схема газотурбинной установки (ГТУ) и цикл, по которому изменяется состояние рабочего тела (газа), показаны на рис. 3.22. Воздушный компрессор *I* сжимает атмосферный воздух, повышая его давление (процесс *1–2*), и подает его в камеру сгорания *II*. Туда же вводится топливо, в результате сгорания которого происходит повышение температуры газов, т. е. осуществляется подвод тепла к рабочему телу при постоянном давлении (процесс *2–3*).

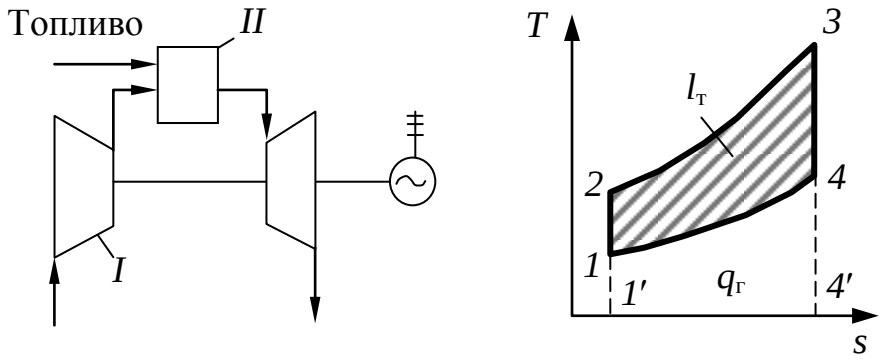


Рис. 3.22. Схема (а) и цикл (б) газотурбинной установки

В газовой турбине продукты сгорания адиабатно расширяются (процесс *3–4*), в результате чего температура их снижается, а давление уменьшается до атмосферного. Отработавший в турбине газ выбрасывается в атмосферу, отдавая ей тепло $q_г$ (площадь *4–1–1'–4'–4*, процесс *4–1*).

Таким образом, турбина производит работу $l_т$ (площадь *1–2–3–4–1*), часть которой расходуется на привод компрессора $l_к$. Оставшаяся работа ($l_т - l_к$) идет на выработку электроэнергии и на другие цели.

Повышение КПД ГТУ производят за счет использования тепла отработавших в турбине газов как для нагрева воздуха перед камерой сгорания, так и для выработки пара в котлах с последующим использованием его в паровых турбинах и нагрева воды для целей теплоснабжения.

3.11. Тепловые электрические станции и теплоснабжение

Тепловые электрические станции (ТЭС) используют тепловую энергию, выделяемую при сжигании органического топлива (твердого, жидкого, газообразного). По виду отпускаемой энергии ТЭС подразделяются на конденсационные электрические станции (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). КЭС производят только электроэнергию, а ТЭЦ отпускают внешним потребителям электрическую и теловую энергию в виде пара и горячей воды. Основным элементом ТЭС являются комплексы котел-турбина-электрогенератор, образующие отдельный энергоблок.

Как уже отмечалось, тепловые электрические станции типа ТЭЦ оборудуют как теплофикационными, так и конденсационными турбинами. К основному оборудованию таких станций относятся паровые котлы, паровые турбины, электрические генераторы, турбовоздуходувки и другое оборудование, которое располагается в главном корпусе тепловой станции.

Вспомогательное оборудование частично размещают внутри главного корпуса тепловой станции, частично вне его. К вспомогательному оборудованию относятся: механизированные склады твердого топлива; пылеприготовительная система; мазутное и газовое хозяйство; оборудование золоулавливания и золошлакоудаления; устройства для подготовки питательной воды, очистки конденсата, систем технического водоснабжения; маслохозяйство; тягодутьевые установки; система подогревателей, насосов и редукционно-охладительных установок для теплоснабжения, питательная установка и др.

Твердое топливо поступает на станцию в железнодорожных вагонах, из которых оно выгружается на склад, и через грохот и дробилку направляется в систему пылеприготовлення котельного отделения. Газообразное топливо всех видов подводится к котельной тепловой электростанции по трубопроводам раздельными потоками. Внутри котельной газообразное топливо трубопроводами разводится по котлам для сжигания в топках.

При использовании твердого топлива на станции образуется значительное количество золы и шлака. Для улавливания летящей с дымовыми газами золы после котельных агрегатов устанавливают золоуловители скрубберного, мультициклонного типа или электро-

фильтры. Шлак и зола, уловленная в золоуловителях, направляются на золоотвалы с помощью гидравлических, пневматических или пневмогидравлических систем шлакозолоудаления.

Тепловая электростанция использует большое количество воды для конденсации отработавшего пара, выработки пара в котлах, транспортирования золы и шлака, очистки дымовых газов, охлаждения масла, воздуха и подшипников, хозяйственно-бытовых нужд и др. Источниками водоснабжения могут быть реки, озера, моря и искусственные водохранилища. Однако природная вода без специальной обработки не может быть использована для водоснабжения современного теплоэнергетического оборудования, так как в ней растворено большое количество солей и газов. Соли, попавшие с водой в котел, образуют отложения в виде накипи на внутренних поверхностях труб котлов и в проточной части турбины, а газы способствуют сильной коррозии металла. Для удаления из воды вредных примесей используют специальные методы водоподготовки.

Метод осветления воды, являющийся первой стадией водоподготовки, используют для очистки воды от механических примесей, которые взвешены в воде в грубодисперсной, тонкодисперсной и коллоидной формах. Процесс осветления начинается с отстаивания воды, при котором происходит выпадение грубодисперсных частиц в осадок, затем добавляют коагулянты, которые адсорбируют на своей поверхности тонкодисперсныс и коллоидные вещества и выделяют их в виде осадка. Далее происходит отстаивание и фильтрование воды.

Метод осаждения обеспечивает умягчение воды за счет связывания катионов кальция и магния ионами, образующими труднорастворимые соединения, которые выпадают в осадок и удаляются из воды.

Магнитный метод также применяют для умягчения воды. Однако он не связан с протеканием химических реакций и основан на обработке воды в магнитном поле, в результате чего при нагреве воды выше 100 °С соли жесткости выпадают в осадок и могут быть удалены из котла.

Метод ионного обмена отличается от методов осаждения тем, что удаляемые из воды примеси не образуют осадка. При этом воду пропускают через фильтры, в которые загружены нерастворимые в

воде вещества, называемые ионитами. Иониты адсорбируют из воды одни ионы и десорбируют в нее другие, переводя тем самым соли жесткости в вещества, не дающие накипь.

На теплоэлектроцентралях с большим невозвратом конденсата от потребителей тепла пополнение его осуществляют за счет испарения природной воды в испарителях и паропреобразователях с последующей конденсацией пара и использованием дистиллята в качестве добавочной воды. Такой способ получения воды для котлов называется термическим обессоливанием.

Для удаления растворенных в воде коррозионно-агрессивных газов (O_2, CO_2, NH_3) используют термическую деаэрацию воды в специальных устройствах-деаэраторах, в которых вода нагревается до температуры кипения, в результате чего из нее удаляются растворенные в ней газы.

Тепловые электрические станции наряду с индивидуальными котельными являются источниками снабжения производственных и бытовых потребителей паром и горячей водой, т. е. являются источниками теплоснабжения. Потребители тепла определяют вид теплоносителя, его параметры, режимы теплопотребления, устройство теплосети и источники теплоснабжения.

К потребителям горячей воды относятся устройства отопления и вентиляции помещений, горячего водоснабжения и кондиционирования воздуха и пр.

К агрегатам, использующим тепло в виде пара, следует отнести подогреватели газообразных, жидких и твердых веществ, выпарные и сушильные аппараты, паровые молоты и прессы, ковочные машины и т. д. Обычно эти потребители тепла используют насыщенный или перегретый пар давлением 0,3–1,0 МПа и температурой 200–250 °С, однако могут применять пар и с более высокими параметрами.

Различают сезонную и круглогодовую тепловые нагрузки. К сезонной тепловой нагрузке относятся отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Эта нагрузка характеризуется слабо переменным суточным графиком и резкопеременным годовым. К круглогодовой тепловой нагрузке относятся технологическая нагрузка и горячее водоснабжение. Эти нагрузки зависят от рода предприятий, от режима их работы, от работы коммунальных предприятий и других причин и имеют резкопеременный суточный график нагрузки и слабопеременный годовой.

На ТЭС в качестве агрегатов, нагревающих воду для систем водяного теплоснабжения, используют сетевые подогреватели (бойлеры). Сетевые подогреватели являются пароводяными теплообменными установками чаще всего поверхностного типа, в которых по трубам проходит нагреваемая вода, между трубами – греющий пар. Системы парового теплоснабжения получают пар из отборов турбин либо из редукционно-охладительных установок (РОУ). РОУ позволяют снижать давление и температуру пара до требуемых потребителями величин. Давление пара снижается в результате его дросселирования в специальном устройстве, тормозящем прохождение пара, а температура – за счет впрыскивания в пар воды в дополнительном устройстве.

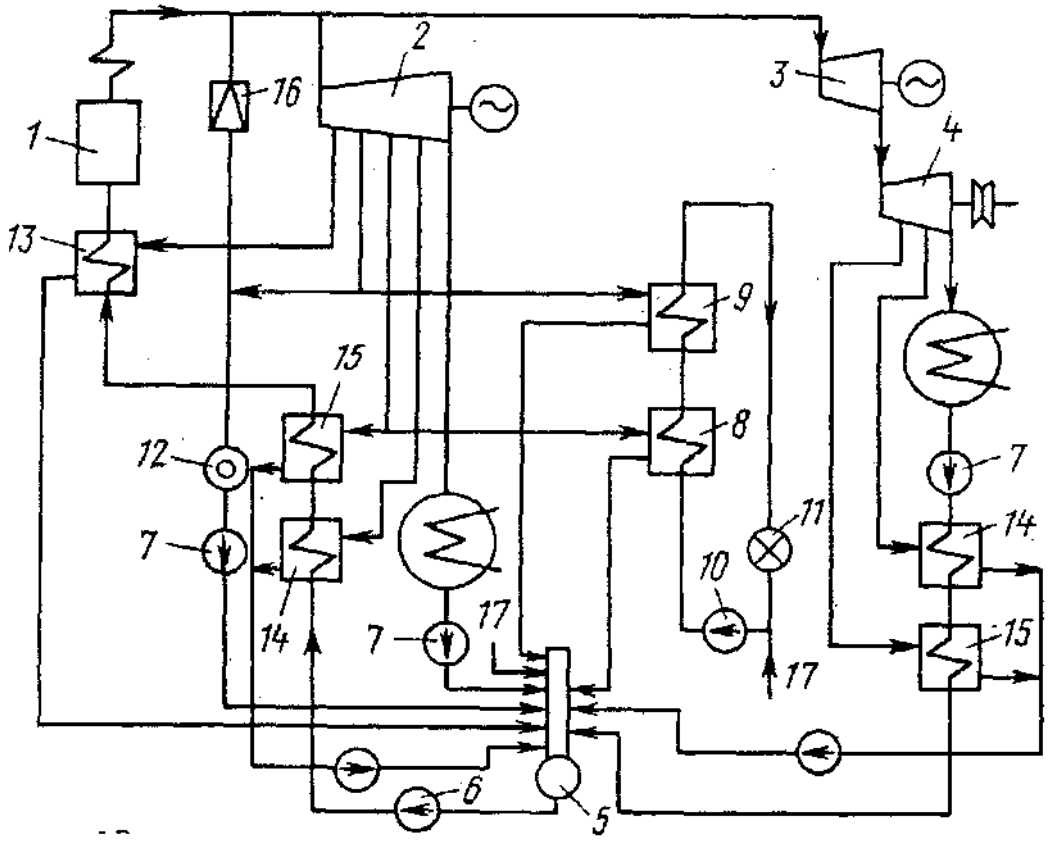


Рис. 3.23. Принципиальная тепловая схема ТЭЦ металлургического завода

Тепловые схемы современных тепловых электрических станций достаточно сложны. Ограничимся рассмотрением принципиальной тепловой схемы ТЭЦ металлургического завода (рис. 3.23), на которой изображено только по одному технологическому агрегату. В действительности на ТЭЦ устанавливают несколько котлов, турбин, электрогенераторов, турбовоздуходувок и т. д.

На схеме показаны серийный котел *1* типа ТГМ, турбина *2* с производственным и теплофикационным отборами типа ПТ, турбина *3* с противодавлением типа Р, турбина *4* типа К для вращения турбовоздуходувок.

Турбина ПТ паром из отборов обеспечивает производственных потребителей пара *12* и потребителей горячей воды *11* через основные *8* и пиковый *9* сетевые подогреватели, потребители пара *12* могут использовать пар от РОУ *16.* Кроме того, турбина имеет отборы пара для регенеративного подогрева питательной воды в подогревателях низкого *14,* среднего *15* и высокого *13* давлений. Турбина воздуходувки имеет нерегулируемые отборы пара для регенеративного подогрева питательной воды.

Конденсат со всех агрегатов и потребителей тепла конденсатными насосами 7 передается в деаэратор *5,* откуда питательными насосами *6* через подогреватели подается в котел *1.* Циркуляция воды в системе теплофикационного теплоснабжения осуществляется сетевым насосом *10.* Потери пара и конденсата восполняются химически очищенной водой *17,* поступающей в деаэратор и систему теплофикационного теплоснабжения.

3.12. Утилизация энергии ветра

Принципиальная схема установки по утилизации энергии ветра представлена на рис. 3.24. Энергетическим узлом установки является ветроэнергетическая установка мощностью N = 10 кВт. Установка работает в теплофикационном и холодильном режимах. Для организации таких режимов используется вихревая труба.

Для нормальной работы вихревой трубы необходимо давление воздуха, превышающее 0,5-0,6 МПа. Необходимое давление создается компрессором установки. Если ветроэнергетический агрегат имеет мощность около 10 кВт, то компрессорная установка такой мощности позволяет получить около 170 кг/ч воздуха, сжатого до давления 0,7 МПа.

Вихревая труба при коэффициенте разделения масс, равном 0,5, производит воздушные потоки с температурой +60÷70 и -30÷40 °С соответственно. Если тепло можно достаточно просто получить разными способами, то для получения холода требуется специализированное дорогостоящее оборудование, поэтому и применяется вихревая труба.

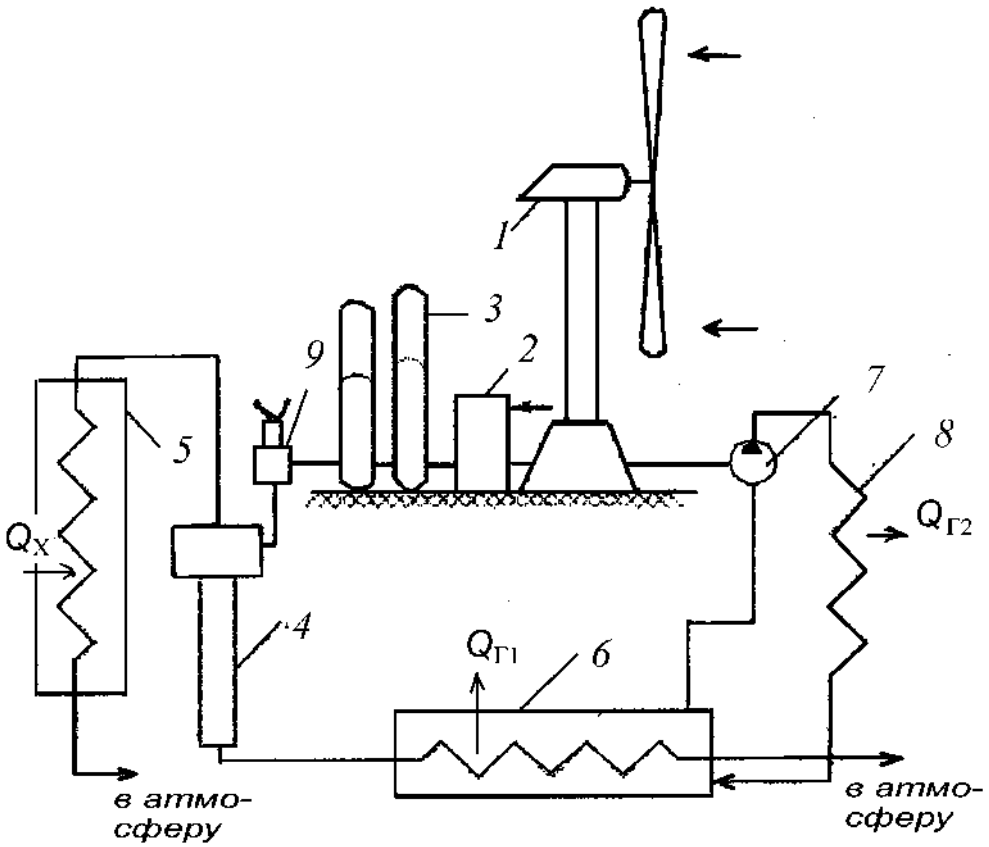


Рис. 3.24. Совместная работа ветроэнергетической установки и вихревой трубы:

1 – ветроэнергетическая установка; 2 – компрессор; 3 – воздухосборник; 4 – вихревая труба; 5 – холодильник; 6 – нагреватель; 7 – насос; 8 – теплообменный аппарат; 9 – регулятор

Таким образом, 170 кг/ч воздуха дадут 85 кг/ч воздуха с температурой ~ 65 °С и 85 кг/ч воздуха с температурой ~ –35 °С.

Тепловой поток при прохождении через теплообменник-нагреватель *6* нагревает теплоноситель до близкой температуры – ~ 60 °С, охлаждаясь на выходе до температуры ~ 20 °С. Таким образом теплопередача в нагревателе *6* составляет: $Q_{Г1}$ ~ 4250 кДж/ч.

Такое количество тепла вполне достаточно для нужд теплофикации отдельного жилого помещения.

Более привлекательно использование вихревой трубы для получения холода. 85 кг/ч холодного воздуха, проходящего через холодильник 5, произведут холода $Q_х$ = 2000÷2500 кДж/ч, что уступает фреоновым холодильникам, но значительно превышает показатели абсорбционных холодильных машин.

3.13. Энергоагрегат с низкотемпературным двигателем Стирлинга

Преобразование низкотемпературной тепловой энергии в промышленное тепло возможно с использованием теплового насоса или двигателя, работающего по циклу Стирлинга. Рассмотрим использование вихревой трубы, позволяющее за счет эффекта Ранка-Хилша получить тепло достаточной для обогрева температуры и холод для холодильных установок.

Общая схема установки показана на рис. 3.25. В качестве теплоисточника может использоваться теплота сточных вод, теплота водоемов, теплота земли (скважин). Передача тепла в нагретую часть двигателя Стирлинга осуществляется тепловой трубой. Охладителем является низкотемпературная среда: зимой – атмосферный воздух, летом – запасенная ледяная масса.

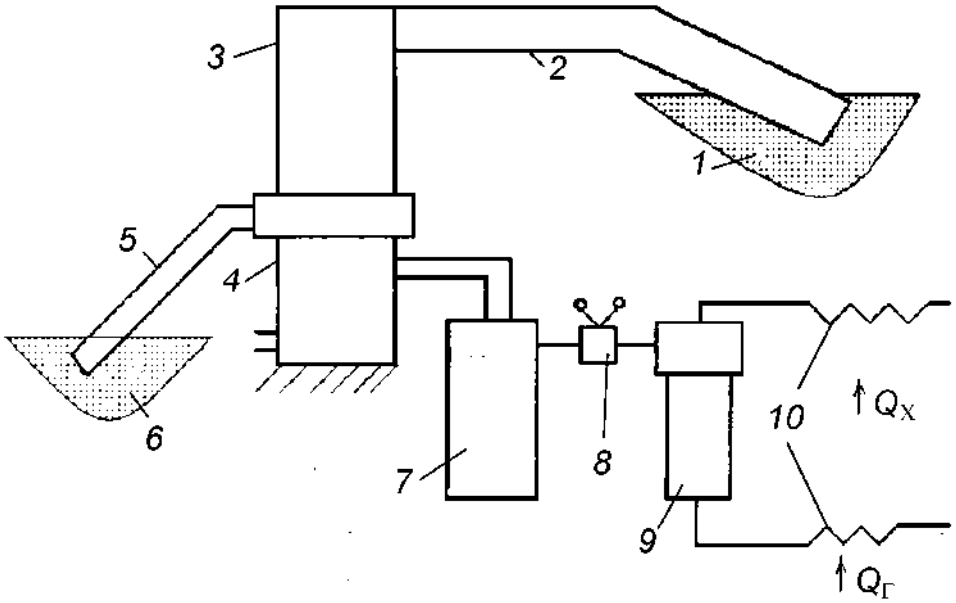


Рис. 3.25. Схема энергоагрегата с низкотемпературным двигателем Стирлинга:
1 – источник низкотемпературной тепловой энергии; 2, 5 – тепловые трубы; 3 – двигатель Била; 4 – компрессор; 6 – охладитель; 7 – воздухосборник; 8 –регулятор; 9 – тепловая труба; 10 – теплообменные аппараты

В качестве двигателя с циклом Стирлинга могут быть использованы свободнопоршневая машина Била или двигатель с приводной мембраной. Характеристики таких двигателей отличаются от двигателей с кривошипно-шатунным механизмом: они полностью герметичны, что позволяет использовать практически любые рабочие тела.

Двигатель (рис. 3.26) состоит из трех основных элементов: тя-

желый рабочий поршень, легкий вытеснитель и цилиндр с уплотнениями. Рабочая полость находится над поршнем и разделяется на полость сжатия между рабочим поршнем и вытеснителем и полость расширения – над вытеснителем. Полость расширения взаимодействует с нагревателем, полость сжатия с холодильником.

Двигатель используется как компрессор, т. е. колеблющийся рабочий поршень выполняет также роль поршня-компрессора.

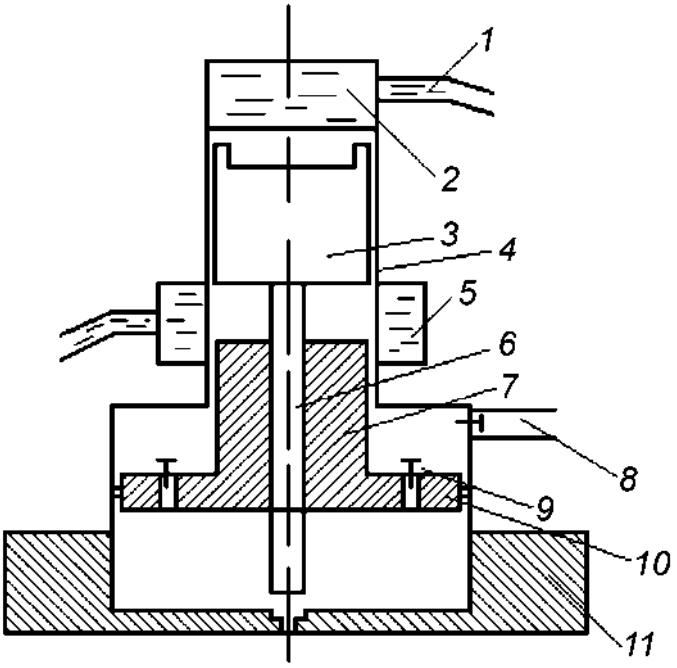


Рис. 3.26. Схема двигателя Стирлинга свободнопоршневого типа:
1 – тепловая труба нагревателя; 2 – нагреватель; 3 – вытеснитель; 4 – корпус; 5 – охладитель; 6 – шток вытеснителя; 7 – поршень; 8 – выход сжатого воздуха; 9 – вход воздуха; 10 – тяжелый поршень

Еще более перспективным для данной схемы является двигатель-компрессор мембранного типа с абсолютной герметизацией двигательной полости.

Анализ термодинамической эффективности цикла низкотемпературного двигателя Стирлинга в сравнении с обычными условиями выявляет низкие рабочие параметры: так при температуре нагревателя 300 К и температуре охладителя 250 К, термический КПД цикла составляет 17 %, но с учетом того, что перерабатывается бросовое низкотемпературное возобновляемое тепло, система становится вполне конкурентоспособной.

Особый интерес представляет использование в двигателе двухфазного рабочего тела. Теория двигателя Стирлинга показывает, что для повышения удельной мощности двигателя необходимо по-

вышение среднего давления рабочего процесса. Отношение рабочих объемов у таких двигателей редко превышает 2-2,5 и изменения давления всецело определяются этими цифрами. При нижнем давлении, равном или близком к атмосферному, верхнее давление не превышает 0,3-0,5 МПа. Однако двухфазные рабочие тела, например (бутадиен-1,3, температура кипения которого – 4,4 °С; аммиак – 33 °С; цис- и транс-бутен-2 соответственно +3 и 0 °С), позволяют получить более высокое среднее давление цикла.

Для любого рабочего тела удельный объем жидкости значительно меньше объема насыщенного пара. С повышением среднего давления увеличивается выходная мощность и улучшается теплопередача при прохождении процессов испарения и конденсации.

Таким образом, при использовании двухфазного рабочего тела возможно повышение рабочей мощности в 2-3 раза при тех же температурных пределах.

Преимущества двигателя Стирлинга: бесшумность работы, отсутствие вредных эмиссий, герметичность, отсутствие вибраций – являются особо ценными в данной схеме и позволяют размещать энергоблок в непосредственной близости к жилым строениям.

Работа схемы установки соответствует описанной в п. 3.12 схеме с использованием в качестве энергоисточника ветроустановки. Как уже было отмечено, вихревая труба является сегодня наиболее простым и изученным инструментом для одновременного получения тепла и холода. Соотношение между горячими и холодными потоками газа достаточно просто регулируется: зимой большая часть энергии тратится на обогрев, а летом – на охлаждение.

3.14. Топливные элементы

Топливные элементы (ТЭ) относятся к химическим источникам тока. Они осуществляют прямое превращение энергии топлива в электричество, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями процессы горения. Это электрохимическое устройство в результате высокоэффективного «холодного» горения топлива непосредственно вырабатывает электроэнергию.

Биохимики установили, что биологический водородно-кислородный топливный элемент «вмонтирован» в каждую живую клетку.

Источником водорода в организме служит пища – жиры, белки

и углеводы. В желудке, кишечнике, клетках она в конечном счете раскладывается до мономеров, которые, в свою очередь, после ряда химических превращений дают водород, присоединенный к молекуле-носителю.

Кислород из воздуха попадает в кровь через легкие, соединяется с гемоглобином и разносится по всем тканям. Процесс соединения водорода с кислородом составляет основу биоэнергетики организма. Здесь, в мягких условиях (комнатная температура, нормальное давление, водная среда), химическая энергия с высоким КПД преобразуется в тепловую, механическую (движение мышц), электричество (электрический скат), свет (насекомые, излучающие свет).

Открытие в 1838 году водородно-кислородного топливного элемента принадлежит английскому ученому У. Грову. Исследуя разложение воды на водород и кислород, он обнаружил побочный эффект: электролизер вырабатывал электрический ток.

Ископаемое топливо (уголь, газ и нефть) состоит в основном из углерода. При сжигании атомы топлива теряют электроны, а атомы кислорода воздуха приобретают их. Так, в процессе окисления атомы углерода и кислорода соединяются в продукты горения – молекулы углекислого газа. Этот процесс идет энергично: атомы и молекулы веществ, участвующих в горении, приобретают большие скорости, а это приводит к повышению их температуры. Они начинают испускать свет – появляется пламя.

Химическая реакция сжигания углерода имеет вид:

$$C + O_2 = CO_2 + \text{тепло}.$$

В процессе горения химическая энергия переходит в тепловую энергию благодаря обмену электронами между атомами топлива и окислителя. Этот обмен происходит хаотически.

Горение – обмен электронов между атомами, а электрический ток – направленное движение электронов. Если в процессе химической реакции заставить электроны совершать работу, то температура процесса горения будет понижаться. В ТЭ электроны отбираются у реагирующих веществ на одном электроде, отдают свою энергию в виде электрического тока и присоединяются к реагирующим веществам на другом.

В ТЭ вместе сведены три фазы физико-химической системы: газ (топливо, окислитель); электролит (проводник ионов); металлический электрод (проводник электронов).

В ТЭ происходит преобразование энергии окислительно-восстановительной реакции в электрическую, причем процессы окисления и восстановления пространственно разделены электролитом. Электроды и электролит в реакции не участвуют, но в реальных конструкциях со временем загрязняются примесями топлива. Электрохимическое горение может идти при невысоких температурах и практически без потерь.

Усложняет использование ТЭ то, что для них топливо необходимо «готовить». Для ТЭ получают водород путем конверсии органического топлива или газификации угля. Поэтому структурная схема электростанции на ТЭ кроме батарей ТЭ, преобразователя постоянного тока в переменный и вспомогательного оборудования включает блок получения водорода.

Существуют две сферы применения ТЭ: автономная и большая энергетика.

Впервые идея использования ТЭ в большой энергетике была сформулирована немецким ученым В. Освальдом в 1894 году. Позднее получила развитие идея создания эффективных источников автономной энергии на основе топливного элемента.

После этого неоднократно предпринимались попытки использовать уголь в качестве активного вещества в ТЭ. В 30-е годы немецкий исследователь Э. Бауэр создал лабораторный прототип ТЭ с твердым электролитом для прямого анодного окисления угля. В это же время исследовались кислородно-водородные ТЭ.

В 1958 году в Англии Ф. Бэкон создал первую кислородно-водородную установку мощностью 5 кВт. Но она была громоздкой из-за использования высокого давления газов (2...4 МПа).

С 1955 года в США К. Кордеш разрабатывал низкотемпературные кислородно-водородные ТЭ. В них использовались угольные электроды с платиновыми катализаторами. В Германии Э. Юст работал над созданием неплатиновых катализаторов.

Первое практическое применение ТЭ нашли на космических кораблях «Аполлон». Они были основными энергоустановками для питания бортовой аппаратуры и обеспечивали космонавтов водой и теплом.

Наибольшего технологического совершенства достигли среднетемпературные ТЭ первого поколения, работающие при температуре 200...230 °С на жидком топливе, природном газе либо на тех-

ническом водороде. Электролитом в них служит фосфорная кислота, которая заполняет пористую углеродную матрицу. Электроды выполнены из углерода, а катализатором является платина.

Одна из таких электростанций введена в строй в штате Калифорния 1991 году. Она состоит из восемнадцати батарей массой по 18 т каждая и размещается в корпусе диаметром чуть более 2 м и высотой около 5 м. Продумана процедура замены батарей с помощью рамной конструкции, движущейся по рельсам.

Две электростанции на ТЭ США поставили в Японию. Первая из них была пущена еще в начале 1983 года. Эксплуатационные показатели станции соответствовали расчетным. Она работала с нагрузкой от 25 до 80 % от номинальной. КПД достигал 30...37 % – это близко к современным крупным ТЭС. Время ее пуска из холодного состояния – от 4 ч до 10 мин., а продолжительность изменения мощности от нулевой до полной составляет всего 15 с.

Сейчас в разных районах США испытываются небольшие теплофикационные установки мощностью по 40 кВт с коэффициентом использования топлива около 80 %. Они могут нагревать воду до 130 °С и размещаются в прачечных, спортивных комплексах, на пунктах связи и т. д. Около сотни установок уже проработали в общей сложности сотни тысяч часов. Экологическая чистота электростанций на ТЭ позволяет размещать их непосредственно в городах.

Первая топливная электростанция в Нью-Йорке, мощностью 4,5 МВт, заняла территорию в 1,3 га. Теперь для новых станций с мощностью, в два с половиной раза большей, нужна площадка размером 30×60 м.

Лучшими характеристиками обладают уже проектирующиеся модульные установки мощностью 5 МВт со среднетемпературными топливными элементами второго поколения. Они работают при температурах 650...700 °С. Их аноды делают из спеченных частиц никеля и хрома, катоды – из спеченного и окисленного алюминия, а электролитом служит расплав смеси карбонатов лития и калия. Повышенная температура помогает решить две крупные электрохимические проблемы:

- снизить «отравляемость» катализатора окисью углерода;
- повысить эффективность процесса восстановления окислителя на катоде.

Еще эффективнее будут высокотемпературные топливные эле-

менты третьего поколения с электролитом из твердых оксидов (в основном двуокиси циркония). Их рабочая температура – до 1000 °С. КПД энергоустановок с такими ТЭ близок к 50 %. Здесь в качестве топлива пригодны и продукты газификации твердого угля со значительным содержанием окиси углерода. Не менее важно, что сбросовое тепло высокотемпературных установок можно использовать для производства пара, приводящего в движение турбины электрогенераторов.

3.15. Холодильные машины

Холодильная машина – устройство, служащее для отвода теплоты от охлаждаемого тела при температуре более низкой, чем температура окружающей среды. Холодильные машины используются для получения температур от 10 °С до –150 °С. Область более низких температур относится к криогенной технике. Холодильные машины работают по принципу теплового насоса – отнимают теплоту от охлаждаемого тела и с затратой энергии (механической, тепловой и т. д.) передают ее охлаждающей среде (обычно воде или окружающему воздуху), имеющей более высокую температуру, чем охлаждаемое тело. Работа холодильных машин характеризуется их холодопроизводительностью, которая для современных машин лежит в пределах от нескольких сотен ватт до нескольких мегаватт.

В холодильной технике находят применение несколько систем холодильных машин: парокомпрессионные, абсорбционные, пароэжекторные и воздушно-расширительные, работа которых основана на том, что рабочее тело (холодильный агент) за счет затраты внешней работы совершает обратный круговой термодинамический процесс (холодильный цикл). В парокомпрессионных, абсорбционных и пароэжекторных машинах для получения эффекта охлаждения используют кипение низкокипящих жидкостей. В воздушно-расширительных машинах охлаждение достигается за счет расширения сжатого воздуха в детандере.

Первые холодильные машины появились в середине XIX в. Одна из старейших машин – абсорбционная. Ее изобретение и конструктивное оформление связано с именами Дж. Лесли (Великобритания, 1810), Ф. Карре (Франция, 1850) и Ф. Виндхаузена (Германия, 1878). Первая парокомпрессионная машина, работавшая на эфире, построена Дж. Перкинсом (Великобритания, 1834). Позднее

были созданы аналогичные машины с использованием в качестве хладагента метилового эфира и сернистого ангидрида. В 1874 К. Линде (Германия) построил аммиачную парокомпрессионную холодильную машину, которая положила начало холодильному машиностроению.

Парокомпрессионные холодильные машины – наиболее распространенные и универсальные. Основными элементами машин данного типа являются (рис. 3.27) испаритель, холодильный компрессор, конденсатор и терморегулирующий (дроссельный) вентиль (ТРВ), которые соединены трубопроводом, снабженным запорной, регулирующей и предохранительной арматурой. В зависимости от вида холодильного компрессора парокомпрессионные машины подразделяются на поршневые, турбокомпрессорные, ротационные и винтовые.

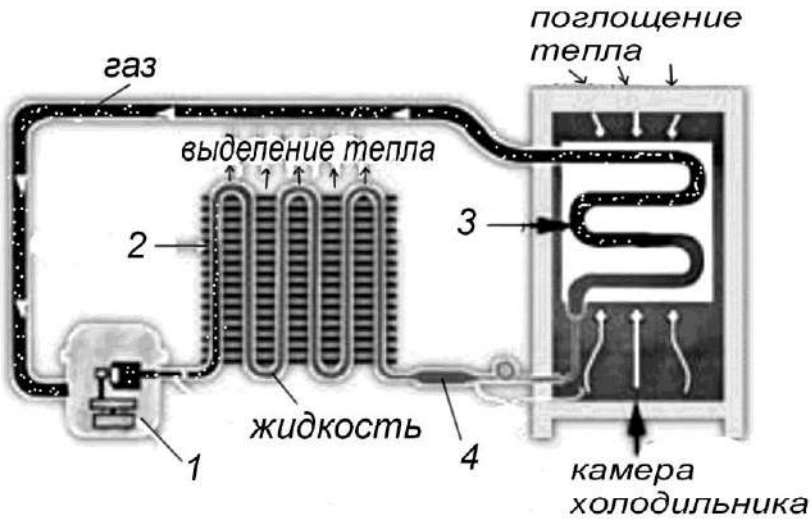


Рис. 3.27. Парокомпрессионная холодильная машина:
1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – испаритель; 4 – дроссель

В парокомпрессионной холодильной машине осуществляется замкнутый цикл циркуляции хладагента. В испарителе хладагент кипит (испаряется) при пониженном давлении и низкой температуре. Необходимая для кипения теплота отнимается от охлаждаемого тела, вследствие чего его температура понижается (вплоть до температуры кипения хладагента). Образовавшийся пар отсасывается компрессором, сжимается в нем до давления конденсации и подается в конденсатор, где охлаждается водой или воздухом. Вследствие отвода теплоты от пара он конденсируется. Полученный жидкий хладагент через ТРВ, в котором происходит снижение его

температуры и давления, возвращается в испаритель для повторного испарения, замыкая, таким образом, цикл работы машины.

Для повышения экономической эффективности холодильных машин (снижения затрат энергии на единицу отнятого от охлаждаемого тела количества теплоты) иногда перегревают пар, всасываемый компрессором, и переохлаждают жидкость перед дросселированием. По этой же причине для получения температур ниже –30 °С используют многоступенчатые или каскадные холодильные машины. В многоступенчатых машинах сжатие пара производится последовательно в несколько ступеней с охлаждением его между отдельными ступенями. При этом в двухступенчатых машинах получают температуру кипения хладагента до –80 °С. В каскадных машинах, представляющих собой несколько последовательно включенных холодильных машин, которые работают на различных, наиболее подходящих по своим термодинамическим свойствам для заданных температурных условий хладагентах, получают температуру кипения до –150 °С.

Абсорбционная холодильная машина (рис. 3.28) состоит из кипятильника, конденсатора, испарителя, абсорбера, насоса и ТРВ. Рабочим веществом в таких машинах служат растворы двух компонентов (бинарные растворы) с различными температурами кипения при одинаковом давлении. Компонент, кипящий при более низкой температуре, выполняет функцию хладагента; второй служит абсорбентом (поглотителем). В области температур от 0 до –45 °С применяются машины, где рабочим веществом служит водный раствор аммиака (хладагент – аммиак). При температурах охлаждения выше 0 °С преимущественно используют абсорбционные машины, работающие на водном растворе бромида лития (хладагент – вода). В испарителе абсорбционной машины происходит испарение хладагента за счет теплоты, отнимаемой от охлаждаемого тела. Образующиеся при этом пары поглощаются в абсорбере. Полученный концентрированный раствор перекачивается насосом в кипятильник, где за счет подвода тепловой энергии от внешнего источника из него выпаривается хладагент, а оставшийся раствор вновь возвращается в абсорбер. Что касается газообразного хладагента, то он из кипятильника направляется в конденсатор, конденсируется там и затем поступает через ТРВ в испаритель на повторное испарение. Применение абсорбционных машин весьма выгодно на предприя-

тиях, где имеются вторичные энергоресурсы (отработанный пар, горячая вода, отходящие газы промышленных печей и т.д.).

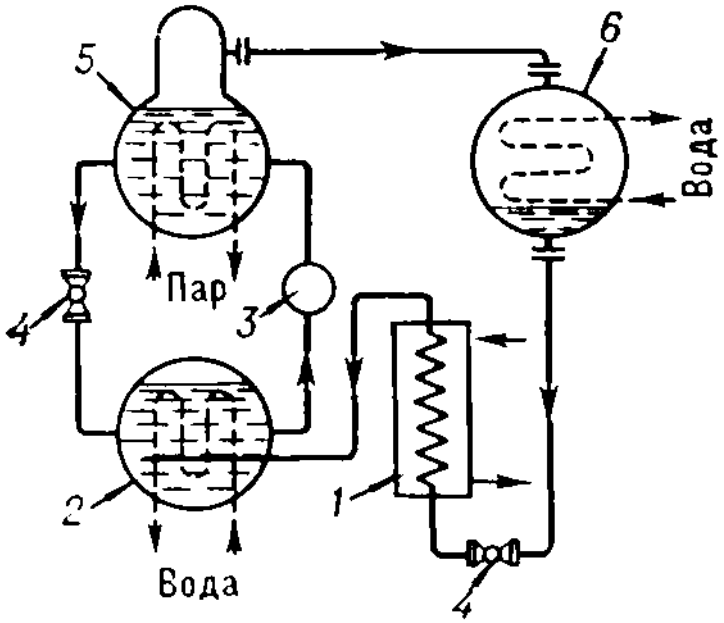


Рис. 3.28. Абсорбционная холодильная машина:
1 – испаритель; 2 – абсорбер; 3 – насос; 4 – ТРВ; 5 – кипятильник; 6 – конденсатор

Пароэжекторная холодильная машина (рис. 3.29) состоит из эжектора *1*, испарителя 6, конденсатора 3, бака конденсатора *2*, насоса *4* и ТРВ *5*.

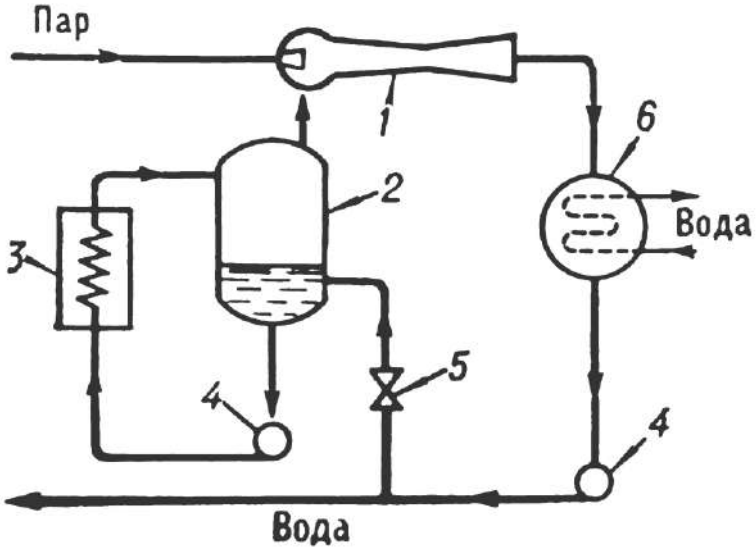


Рис. 3.29. Пароэжекторная холодильная машина:
1 – испаритель; 2 – абсорбер; 3 – насос; 4 – ТРВ; 5 – кипятильник; 6 – конденсатор

Хладагентом служит вода, в качестве источника энергии используется пар давлением 0,3-1 Мн/м^2 (3-10 кгс/см^2), который поступает в сопло эжектора, где расширяется. В результате в эжекторе *1* и как

следствие в испарителе *6* машины создается пониженное давление, которому соответствует температура кипения воды несколько выше 0 °С (обычно порядка 5 °С). В испарителе за счет частичного испарения происходит охлаждение подаваемой потребителю холода воды. Отсосанный из испарителя пар, а также рабочий пар эжектора поступает в конденсатор, где переходит в жидкое состояние, отдавая теплоту охлаждающей среде. Часть воды из конденсатора подается в испаритель для пополнения убыли охлаждаемой воды.

Воздушно-расширительные холодильные машины относятся к классу холодильно-газовых машин. Хладагентом служит воздух. В области температур примерно до –80 °С экономическая эффективность воздушных машин ниже, чем парокомпрессионных. Более экономичными являются регенеративные воздушные холодильные машины, в которых воздух перед расширением охлаждается либо в противоточном теплообменнике, либо в теплообменнике-регенераторе.

3.16. Свойства хладагентов

Холодильный агент – хладагент, рабочее вещество холодильной машины, которое при кипении или в процессе расширения отнимает теплоту от охлаждаемого объекта и затем после сжатия передает ее охлаждающей среде (воде, воздуху и т. п.).

В зависимости от температуры кипения при атмосферном давлении хладагенты подразделяют на 3 группы – высокотемпературные (выше –10 °С), умеренные (ниже –10 °С) и низкотемпературные (ниже –50 °С). Основными хладагентами являются аммиак, фреоны (хладоны) и некоторые углеводороды.

Аммиак относится к группе умеренных хладагентов. Достоинствами аммиака являются его низкая стоимость и высокие теплофизические показатели. К недостаткам относятся токсичность, взрывоопасность. Аммиак также разрушительно воздействует на медь и ее сплавы.

Фреоны, хладоны, фторсодержащие насыщенные углеводороды (главным образом производные метана и этана) – вещества, используемые как хладагенты в холодильных машинах. Кроме атомов фтора, в молекулах фреонов содержатся обычно атомы хлора, реже – брома. Известно более 40 различных фреонов; большинство из них выпускается промышленностью.

Фреоны – бесцветные без запаха газы или жидкости, хорошо растворимые в органических растворителях, в воде – очень плохо. Наиболее распространены дифтордихлорметан CF_2CI_2, фтортрихлорметан $CFCI_3$ и дифторхлорметан CHF_2CI, их $t_{кип}$ –29,8 °С, –23,8 °С и –40,8 °С соответственно. Они не горят и взрывобезопасны даже при контакте с открытым пламенем, химически стойки к действию кислот и окислителей, не разлагаются в устройствах из обычных конструкционных материалов.

В технике для обозначения фреонов приняты специальные названия, состоящие из буквы Ф и трехзначного числа, последняя цифра которого равна числу атомов F, средняя – числу атомов H плюс 1, первая – числу атомов C минус 1, например, CF_2CI_2 обозначают как Ф-012 или Ф-12 (нуль обычно опускают), $C_2F_3CI_3$ – Ф-113.

Наиболее распространены фреон-12, фреон-22 (относятся к умеренным хладагентам) и фреон-13 (низкотемпературный хладагент).

Углеводороды (этан, пропан, этилен) имеют низкую температуру замерзания, но взрывоопасны; применяются в крупных и средних холодильных установках в нефтехимической и газовой промышленности.

В пароэжекторных и работающих на водном растворе бромистого лития (бромистолитиевых) абсорбционных холодильных машинах холодильным агентом служит вода.

В холодильно-газовых машинах в качестве хладагента используются такие газы, как гелий, водород, азот, воздух.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ 3

Контрольные вопросы

1. В чем заключается назначение компрессоров?
2. Назовите классификацию компрессоров по принципу действия.
3. При каком процессе сжатия будет наименьшая работа и почему?
4. Что такое степень сжатия компрессора?
5. Для чего применяют двух- и многоступенчатое сжатие в поршневом компрессоре?
6. Чем отличается фактический процесс, протекающий в поршневом компрессоре, от теоретического?
7. Назовите безразмерные величины, являющиеся важнейшими характе-

ристиками двигателя внутреннего сгорания.

8. Что является показателем экономичности идеального цикла двигателя внутреннего сгорания?

9. Что является рабочим телом паровой турбины?

10. Что является рабочим телом газовой турбины?

11. Для чего предназначен водяной экономайзер?

12. Для чего предназначен воздухоподогреватель котельной установки?

13. В чем отличие турбин активного и реактивного типов?

14. Что общего у конденсационных электростанций и теплоэлектроцентралей и в чем их различие?

15. Что является приводом генератора тепловых электрических станций?

Контрольная задача № 9

Определение параметров конвективной сушилки

Конвективная сушилка работает без теплообмена с внешней средой. Поступающий в сушильную камеру воздух предварительно нагревается в калорифере. Определить влагосодержание и энтальпию воздуха, поступающего в калорифер и выходящего из сушильной камеры, а также температуру воздуха, поступающего в сушильную камеру.

Воздух, поступающий в калорифер, имеет температуру t_0 и относительную влажность φ_0, а выходящий из сушилки, соответственно, t_2 и φ_2.

Определить также удельные расходы воздуха g [кг возд./кг вл.] и теплоты $q_{кг}$ [кДж/кг вл.], требуемые для испарения 1 кг влаги.

Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 3.1 в соответствии с номером варианта.

Таблица 3.1

Исходные данные к контрольной задаче № 9

Номер варианта	t_0, °C	φ_0, %	t_2, °C	φ_2, %	Номер варианта	t_0, °C	φ_0, %	t_2, °C	φ_2, %
1	33	55	40	90	14	33	100	45	60
2	15	90	45	65	15	15	80	50	60
3	25	100	50	40	16	25	70	40	70
4	28	80	40	60	17	28	95	45	45
5	30	70	45	60	18	30	75	50	40
6	17	95	50	70	19	17	80	45	45
7	25	75	45	45	20	25	65	55	55
8	20	80	55	40	21	20	85	50	58
9	35	65	50	45	22	35	77	42	59
10	18	85	42	55	23	18	65	41	60
11	19	77	41	58	24	19	66	42	65
12	20	65	42	59	25	20	67	43	70
13	21	78	43	70	26	15	75	39	75

Контрольная задача № 10

Расчет теплообменного аппарата

В противоточном водяном маслоохладителе двигателя внутреннего сгорания масло охлаждается водой. Температура охлаждаемого масла на входе в охладитель $t'_м$ = … °C (графа 1), на выходе $t''_м$ = … °C (графа 2). Температура охлаждающей воды на входе $t'_в$ = … °C (графа 3), на выходе $t''_в$ = … °C (графа 4).

Расход масла $m_м$ = … кг/с (графа 5). Условия двадцати пяти задач приведены в табл. 3.2.

Требуется определить: необходимую поверхность теплообмена и расход охлаждающей воды, если коэффициент теплопередачи К = 280 Вт/(м^2·К), а теплоемкость масла $c_р$ = 2,45 кДж/(кг·К).

Таблица 3.2

Исходные данные к контрольной задаче № 10

Номер варианта	Температура, °С				$m_м$, кг/с
	$t'_м$	$t''_м$	$t'_в$	$t''_в$	
1	75	65	18	27	1,55
2	74	64	17	26	1,50
3	74	63	16	26	1,40
4	72	62	15	25	1,45
5	71	61	15	24	1,35
6	70	60	15,5	23	1,30
7	69	59	13,5	22	1,25
8	68	58	13	22	0,65
9	69	57	14	23	0,70
10	66	56	15	24	0,75
11	65	55	16	25	0,80
12	64	54	17	26	0,85
13	63	53	18	27	0,90
14	62	52	19	28	0,95
15	61	51	20	29	1,00
16	60	50	14,5	24	1,05
17	59	49	15,5	24	1,10
18	58	48	16,5	25	1,15
19	57	47	17,5	25	1,20
20	56	46	13,5	22	1,25
21	55	45	12,5	21	1,30
22	77	67	19	27	1,60
23	80	67	20	28	1,70
24	81	68	20	27	1,80
25	82	69	20	30	1,90

Контрольная задача № 11

Расчет и выбор системы кондиционирования помещений

Требуется создать комфортные условия в помещении, для которого задана площадь S (графа 1); высота H (графа 2); количество находящихся в нем людей $n_л$ (графа 3); количество $n_{об}$ (графа 4) и мощность $N_{об}$ (графа 5) оргтехники и другого оборудования, выделяющего тепло, а также количество $n_{ос}$ (графа 6) и мощность $N_{ос}$ (графа 7) осветительных устройств. Условия для задачи приведены в табл. 3.3.

С учетом вышеприведенных данных требуется рассчитать суммарные теплопоступления от солнечной радиации, оборудования, освещения и людей, на основании которых выбрать конкретный тип кондиционера и необходимое их количество.

Таблица 3.3

Исходные данные к контрольной задаче № 11

Номер варианта	S, м^2	H, м	$n_л$, чел	Оборудование		Освещение	
				$n_{об}$, шт.	$N_{об}$, Вт	$n_{ос}$, шт.	$N_{ос}$, Вт
1	50	2,8	7	3	250	8	40
2	55	3,0	8	4	400	9	60
3	60	3,0	9	5	290	10	60
4	65	3,0	10	6	290	11	60
5	70	3,1	11	7	280	12	18
6	72	3,0	12	8	280	13	18
7	75	3,0	13	9	300	12	20
8	80	3,0	15	10	300	10	20
9	82	3,0	14	8	320	11	30
10	57	3,0	15	9	300	10	30
11	87	3,0	15	3	300	7	100
12	54	2,5	8	4	250	8	60
13	57	2,7	9	5	400	9	60
14	62	2,9	10	6	500	10	20
15	67	2,9	12	12	340	12	20
16	90	3,5	14	10	350	12	30
17	77	3,4	15	10	300	10	30
18	85	2,8	16	11	300	12	40
19	92	3,3	17	15	300	10	20
20	95	3,0	18	14	300	12	20
21	97	3,0	14	14	300	15	60
22	91	3,0	13	13	300	15	60
23	86	3,0	5	5	320	13	40
24	47	2,6	7	7	300	12	50
25	67	3,0	8	8	300	7	50

Контрольная задача № 12

Расчет тепловых машин

Холодильная машина работает по обратному циклу Карно, холодильный коэффициент которого равен x %. Рассчитайте термический КПД тепловой машины, работающей по такому же прямому циклу Карно. Исходные данные приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Исходные данные к контрольной задаче № 12

Номер варианта	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Холодильный коэффициент *x*, %	180	190	230	215	320	255	275	195	340	410	390	388	265
Номер варианта	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**
Холодильный коэффициент *x*, %	276	244	217	305	300	288	248	200	315	303	370	360	150

Примеры решения задач

Пример 1

Конвективная сушилка работает без теплообмена с внешней средой. Поступающий в сушильную камеру воздух предварительно нагревается в калорифере.

Воздух, поступающий в калорифер, имеет температуру t_0 = 28 °С и относительную влажность φ_0 = 80 %, а выходящий из сушилки – t_2 = 42 °С и φ_2 = 55 %.

Требуется определить влагосодержание d и энтальпию воздуха i, поступающего в калорифер и выходящего из сушильной камеры, а также температуру воздуха, поступающего в сушильную камеру. Также требуется определить удельные расходы воздуха g [кг возд./кг вл.] и теплоты $q_{кг}$ [кДж/кг вл.], требуемые для испарения 1 кг влаги.

Решение

1. Обозначим параметры воздуха, поступающего в калорифер с индексом «1», выходящего из калорифера – с индексом «2», а выходящего из сушильной камеры – с индексом «3» (рис. 3.30).

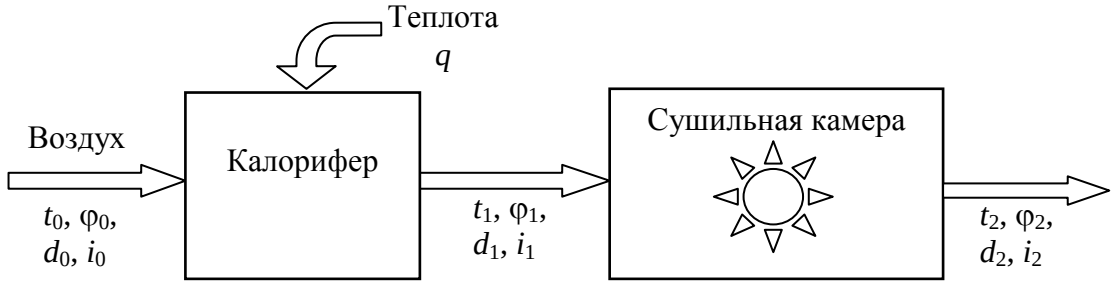


Рис. 3.30. Конвективная сушилка

2. Влагосодержание воздуха определяется по формуле:

$$d = 0{,}622\frac{\varphi p_s}{p - \varphi p_s},$$

где p – давление воздуха, поступающего в калорифер, принимаем значение для нормальных условий: p = 101,3 кПа; p_s – максимально возможное парци-

альное давление водяного пара при заданной температуре (принимаем по табл. IV приложений):

при t_0 = 28 °С, $p_s = 0{,}0386 \cdot 10^5$ Па;

при t_2 = 42 °С, $p_s = 0{,}0836 \cdot 10^5$ Па.

Подставляя заданные значения, имеем:

влагосодержание воздуха на входе в калорифер:

$$d_0 = 0{,}622 \frac{0{,}8 \cdot 0{,}0386 \cdot 10^5}{101{,}3 \cdot 10^3 - 0{,}8 \cdot 0{,}0386 \cdot 10^5} = 0{,}0196 \text{ кг/кг};$$

влагосодержание воздуха на выходе из сушильной камеры:

$$d_2 = 0{,}622 \frac{0{,}55 \cdot 0{,}0836 \cdot 10^5}{101{,}3 \cdot 10^3 - 0{,}55 \cdot 0{,}0836 \cdot 10^5} = 0{,}0296 \text{ кг/кг}.$$

3. Энтальпия 1 кг воздуха определяется из упрощенного выражения:

$$i = t + (2500 + 2t)d \text{ , кДж/кг},$$

энтальпия воздуха на входе в калорифер:

$$i_0 = 28 + (2500 + 2 \cdot 28) \cdot 0{,}0196 = 78{,}10 \text{ кДж/кг};$$

энтальпия воздуха на выходе из сушильной камеры:

$$i_2 = 42 + (2500 + 2 \cdot 42) \cdot 0{,}0296 = 118{,}49 \text{ кДж/кг}.$$

4. Так как в сушильной камере подвода или отвода теплоты нет, то изменение энтальпии на входе в калорифер и выходе из сушильной камеры показывает количество подведенной теплоты в калорифере (теплообменном аппарате):

$$q = i_2 - i_1, \text{ кДж/кг};$$

$$q = 118{,}49 - 78{,}10 = 40{,}39 \text{ кДж/кг}.$$

5. Температуру воздуха, выходящего из калорифера, определяем по выражению:

$$t_1 = t_0 + \frac{q}{c_p},$$

где c_p – изобарная теплоемкость влажного воздуха:

$$c_p = c_{p\text{в}} + d_1 \cdot c_{p\text{п}},$$

где $c_{p\text{в}} = 1$ кДж/(кг·К) – изобарная теплоемкость сухого воздуха;

$c_{p\text{п}} \cong 2$ кДж/(кг·К) – изобарная теплоемкость водяного пара.

С учетом, что в калорифере изменение влагосодержания не происходит $d_1 = d_0$, имеем:

$$t_1 = 28 + \frac{40{,}39}{1 + 0{,}0196 \cdot 2} = 66{,}87 \text{ °С}.$$

6. Расход воздуха на испарение 1 кг влаги определяем исходя из изменения влагосодержания воздуха: $g = \frac{1}{d_2 - d_0}$,

имеем:

$$g = \frac{1}{0{,}0296 - 0{,}0196} = 100 \text{ кг возд./кг вл.}$$

7. Расход тепла на испарение 1 кг влаги:

$$q_{кг} = g \cdot q, \text{ кДж.}$$

имеем: $q_{кг} = 100 \cdot 40{,}39 = 4039$ кДж или 4,039 МДж.

Ответ: $d_0 = 0{,}0196$ кг/кг; $d_2 = 0{,}0296$ кг/кг; $i_0 = 78{,}10$ кДж/кг; $i_2 = 118{,}49$ кДж/кг; $t_1 = 66{,}87$ °С; $g = 100$ кг возд./кг вл.; $q_{кг} = 4{,}039$ МДж.

Пример 2

В противоточном водяном маслоохладителе двигателя внутреннего сгорания (рис. 3.31) масло охлаждается от 65 до 55 °С. Температура охлаждающей воды на входе и выходе соответственно 16 и 25 °С. Расход масла 0,8 кг/с.

Требуется определить необходимую поверхность теплообмена и расход охлаждающей воды, если коэффициент теплопередачи 280 Вт/(м^2·К), а теплоемкость масла 2,45 кДж/(кг·К), воды 4,19 кДж/(кг·К).

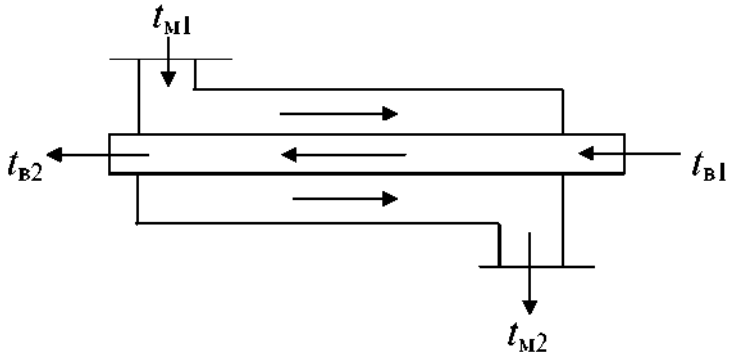


Рис. 3.31. Схема противоточного водяного маслоохладителя

Решение

Теплота, отданная маслом за 1 с:

$$Q = m_м \, c_{рм} \, (t'_м - t''_м) = 0{,}8 \cdot 2{,}45 \cdot (65 - 55) = 19{,}6 \text{ кВт.}$$

Температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{2{,}3 \lg \dfrac{\Delta t_б}{\Delta t_м}} = \frac{(65 - 25) - (55 - 16)}{2{,}3 \lg \dfrac{40}{39}} = 39{,}5 \text{ град;}$$

где $\Delta t_б = t'_м - t''_в = 65 - 25 = 40$ °С;

$$\Delta t_м = t''_м - t'_в = 55 - 16 = 39 \text{ °С.}$$

Необходимая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{19600}{280 \cdot 39.5} = 1{,}77 \text{ м}^2.$$

Расход охлаждающей воды:

$$m_в = \frac{Q}{c_{рв}\left(t''_в - t'_в\right)} = \frac{19{,}6}{4{,}19 \cdot (25 - 16)} = 0{,}52 \text{ кг/с.}$$

Ответ: $F = 1{,}77$ м^2; $m_в = 0{,}52$ кг/с.

Пример 3

Необходимо рассчитать и выбрать систему кондиционирования для офисного помещения площадью 54 м^2, высотой 3 м, в котором работает 9 человек, установлено 3 компьютера и 3 принтера мощностью 300 Вт каждый, имеется освещение дневного света 5 ламп по 40 Вт каждая.

Решение.

1. Теплопоступление от солнечной радиации, Вт:

$$Q_с = V_п \cdot q_{уд},$$

где V – объем помещения, м^3, $V = SH$; $q_{уд}$ – удельная величина теплопоступлений от солнечной радиации, Вт/м^3, которое принимается: $q_{уд} = 30$, если нет солнца в помещении (северная сторона); $q_{уд} = 35$ - среднее значение (восток, запад); $q_{уд} = 40$ – солнечная сторона (юг).

Тогда $Q_с = 54 \cdot 3 \cdot 35 = 5670$ Вт.

2. Теплопоступление от оборудования, Вт:

$$Q_{об} = к\, n_{об}\, N_{об},$$

где $к$ – коэффициент, учитывающий тип оборудования, для компьютеров и принтеров можно принять $к = 1$.

Тогда $Q_{об} = 3 \cdot 300 + 3 \cdot 300 = 1800$ Вт.

3. Избыточное тепло от людей, находящихся в помещении, Вт:

$$Q_л = n_л \cdot N_{чел},$$

где $N_{чел}$ – избыточное тепло от 1 человека, принимается 100 Вт для офисных помещений; 150-300 Вт для помещений, где люди занимаются физическим трудом.

Тогда $Q_л = 9 \cdot 100 = 900$ Вт.

4. Теплопоступление от осветительных приборов, Вт:

$$Q_{ос} = к\, n_{ос}\, N_{ос},$$

где $к$ – коэффициент, который принимается $к = 1$ – для ламп накаливания и $к$=0,5 – для ламп дневного света.

Тогда $Q_{ос} = 0{,}5 \cdot 5 \cdot 40 = 100$ Вт.

5. Общие теплопоступления:

$$\Sigma Q = Q_с + Q_{об} + Q_л + Q_{ос} = 5670 + 1800 + 900 + 100 = 8470 \text{ Вт}.$$

Ответ: На основании общих теплопоступлений выбираем такие модели кондиционеров, которые имеют мощность охлаждения ближайшую большую к рассчитанному значению. Исходя из данных табл. V выбираем к установке два кондиционера сплит-системы настенного типа фирмы General Electric (США): 1. BC12BW холодопроизводительность 3500 Вт; 2. BC17BW холодопроизводительность 5000 Вт. В сумме по холодопроизводительности эти два кондиционера имеют 8500 Вт > 8470 Вт, что удовлетворяет условиям создания комфортных условий в данном офисном помещении.

Пример 4

Холодильная машина работает по обратному циклу Карно, холодильный коэффициент которого равен 250 %. Определите термический КПД тепловой машины, работающей по прямому циклу Карно.

Решение.

Свяжем КПД прямого и обратного циклов Карно.

Термический КПД любой тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1},$$

где A – работа, полученная в цикле; Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от теплоотдатчика; Q_2 – количество теплоты, отданное теплоприемнику.

В обратном цикле при работе холодильной машины осуществляется передача теплоты от холодного тела горячему за счет совершения работы внешними силами.

Холодильный коэффициент:

$$\eta_x = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}.$$

Преобразуем это выражение:

$$\eta_x = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2} = \frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} - 1}.$$

Выразим $\frac{Q_1}{Q_2}$ из первой формулы:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{1 - \eta}.$$

Запишем выражение, связывающее η и η_x:

$$\eta_x = \frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{1-\eta} - 1} = \frac{1-\eta}{\eta}.$$

Теперь вычислим η, воспользовавшись полученным выражением:

$$\eta = \frac{1}{1 + \eta_x} = \frac{1}{1 + 2{,}5} = \frac{1}{3{,}5} = 0{,}286.$$

Ответ: $\eta = 0{,}286$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Баскаков А. П. Теплотехника / А. П. Баскаков и др.- М.: Энергоатомиздат, 1991.- 224 с.

Бэр Г. Д. Техническая термодинамика / Г. Д. Бэр.- М.: Мир, 1977.- 518 с.

Кузовлев В. А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / В. А. Кузовлев.- М.: Высшая школа, 1975.- 303 с.

Миняев Ю. Н. Теплотехника / Ю. Н. Миняев, С. Г. Фролов.- Екатеринбург: УГГГА, 2005.- 109 с.

Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача / В. В. Нащокин.- М.: Высшая школа, 1980.- 469 с.

Рабинович О. М. Сборник задач по технической термодинамике / О. М. Рабинович.- М.: Машиностроение, 1969.- 376 с.

Фролов С. Г. Теоретические основы теплотехники / С. Г. Фролов, В. А. Бобров.- Екатеринбург: УГИ, 1993.- 119 с.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Таблица I

Истинная молярная теплоемкость некоторых идеальных газов при постоянном давлении, кДж/(кмоль·К)

Температура, °С	O_2	N_2	H_2	CO	CO_2	SO_2	H_2O	Воздух
0	29,2783	29,0228	28,6208	29,1275	35.8650	38,6590	75,816	29,0773
100	29,8812	29,1066	29,1317	29,2657	40,2116	42,4183	37,836	29,2699
200	30,8192	29,3787	29,2448	29,6509	43,6955	45.5589	35,568	29,6802
300	31,8368	29,8161	29,3034	30,2581	46,5220	48,2388	36,252	30,2707
400	32,7622	30,4717	29,3397	30,9783	48,8669	50,2488	37,296	30,9532
500	33,5536	31,1375	29,5630	31,7111	50,8224	51,7143	38,43	31,6441
600	34,2068	31,7991	29,7975	32,4062	52,4597	52,8868	39,708	32,3057
700	34,7512	32,4146	30,1032	33,0302	53,8332	53,7662	41,004	32,9045
800	35,2076	32,9674	30,4758	33,5787	54,9847	54,4362	42,138	33,4363
900	35,5887	33,4515	30,8737	34,0603	55,9604	55,0224	—	33,9095
1000	35,9195	33,8970	31,2882	34,4748	56,7811	55,4411	—	34,3199
1100	36,2210	34,2780	31,7279	34,8307	57,4804	55,7761	—	34,6842
1200	36,4931	34,6130	32,1592	35,1448	58,0792	56,0692	—	35,0066
1300	36,7569	34,9061	32,5947	35,4170	58,5942	—	—	35,2955
1400	37,0040	35,1615	33,0050	35,6515	59,0381	—	—	35,5510
1500	37,2469	35,3877	33,3987	35,8608	59,4992	—	—	35,7771
1600	37,4856	35,5845	33,7671	36,0451	59,7459	—	—	35,9823

Таблица II

Физические свойства воды на линии насыщения

Температура, °С	Плотность, кг/м^3	Удельная энтальпия, Дж/кг	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Теплопроводность, мВт/(м·К)	Температуропроводность, мм^2/с	Кинематическая вязкость, мм^2/с	Число Прандтля Pr
0	999,9	0	4,212	351	0,131	1,789	13,67
10	999,7	42,04	4,191	574	0,137	1,306	9,52
20	998,2	83,91	4,183	599	0,143	1,006	7,02
30	995,7	125,7	4,174	618	0,149	0,805	5,42
40	992,2	167,5	4,174	635	0,153	0,659	4,31
50	988,1	209,3	4,174	648	0,157	0,556	3,54
60	983,1	251,1	4,179	659	0,160	0,478	2,98
70	977,8	293,0	4,187	668	0,163	0,415	2,55
80	971,8	335,0	4,195	674	0,166	0,365	2,21
90	965,3	377,0	4,208	680	0,168	0,326	1,95
100	958,4	419,1	4,220	683	0,169	0,295	1,75
110	951,0	461,4	4,233	685	0,170	0,272	1,60
120	943,1	503,7	4,250	686	0,171	0,252	1,74
130	934,8	546,4	4,266	686	0,172	0,233	1,36
140	926,1	589,1	4,287	685	0,172	0,217	1,26
150	917,0	632,2	4,313	684	0,173	0,203	1,17
160	907,4	675,4	4,346	683	0,173	0,191	1,10
170	897,3	719,3	4,380	679	0,173	0,181	1,05
180	886,9	763,3	4,417	674	0,172	0,173	1,00
190	876,0	807,8	4,459	670	0,171	0,165	0,96
200	863,0	852,5	4,505	663	0,170	0,158	0,93
210	852,8	897,7	4,555	655	0,169	0,153	0,91
220	840,3	943,7	4,614	645	0,166	0,148	0,89
230	827,3	990,2	4,681	637	0,164	0,145	0,88

Таблица III

Физические свойства сухого воздуха

Температура, °С	Плотность, кг/м^3	Теплопроводность, мВт/(м·К)	Температуропроводность, мм^2/с	Кинематическая вязкость, мм^2/с	Число Прандтля Pr
0	1,293	24,4	18.8	13,28	0,707
10	1,247	25,1	20,0	14,16	0,705
20	1,205	25,9	21,4	15,06	0,703
30	1,165	26,7	22,9	16,00	0,701
40	1,128	27,6	24,3	16,96	0,699
50	1,093	28,3	25,7	17,95	0,698
60	1,060	29,0	27,2	18,97	0,696
70	1,029	29.6	28,6	20,02	0,694
80	1,000	30,5	30,2	21,09	0,692
90	0,972	31,3	31,9	22,10	0,690
100	0,946	32,1	33,6	23,13	0,688
120	0,898	33,4	36,8	25,45	0,686
140	0,854	34,9	40,3	27,80	0,684
160	0,815	36,4	43,9	30,09	0,682
180	0,779	37,8	47,5	32,49	0.681
200	0,746	39,3	51,4	34,85	0,680
250	0,674	42,7	61,0	40,61	0,677
300	0,615	46,0	71,6	48,33	0,674
350	0,566	49,1	81,9	55,46	0,676
400	0,524	52,1	93,1	63,09	0,678

Таблица IV

Насыщенный водяной пар

Температура, °С	Абсолютное давление водяного пара p_s		Плотность водяного пара $\rho_н$, кг/м^3	Температура, °С	Абсолютное давление водяного пара p_s		Плотность водяного пара $\rho_н$, кг/м^3
	мм.рт.ст.	Па			мм.рт.ст.	Па	
–16	1,32	179	0,00129	23	21,1	2870	0,0206
–14	1,55	211	0,00153	24	22,4	3050	0,0218
–12	1,33	248	0,00183	25	23,5	3240	0,0230
–10	2,14	291	0,00217	26	25,2	3430	0,0244
–8	2,51	341	0,00256	27	26,7	3530	0,0258
–6	2,93	397	0,00301	28	28,3	3860	0,0272
–4	3,40	462	0,00354	29	30,0	4080	0,0287
–2	3,95	536	0,00415	30	31,8	4320	0,0304
0	4,58	622	0,00484	31	33,7	4580	0,0320
2	5,29	718	0,00557	32	35,7	4860	0,0338
4	6,10	828	0,00637	33	37,7	5130	0,0357
6	7,01	950	0,00726	34	39,9	5430	0,0376
8	8,05	1090	0,00828	35	42,2	5730	0,0396
10	9,21	1250	0,00941	36	44,6	6060	0,0418
11	9,84	1340	0,01003	37	47,1	6410	0,0440
12	10,52	1430	0,01067	38	49,7	6760	0,0463
13	11,23	1530	0,01138	39	52,5	7150	0,0488
14	11,99	1630	0,01205	40	55,3	7520	0,0512
15	12,79	1740	0,01283	41	58,4	7950	0,0538
16	33,64	1860	0,01366	42	61,5	8360	0,0565
17	14,5	1970	0,01449	43	64,8	8820	0,0595
18	15,5	2110	0,01536	44	68,3	9300	0,0625
19	16,5	2240	0,01629	45	71,9	9780	0,0655
20	17,5	2380	0,0173	46	75,7	10300	0,0685
21	18,6	2540	0,0183	47	79,6	10800	0,0719
22	19,8	2700	0,0194	48	83,7	11400	0,0758

Окончание таблицы IV

Температура, °С	Абсолютное давление водяного пара P_H		Плотность водяного пара ρ_H, кг/м^3	Температура, °С	Абсолютное давление водяного пара P_H		Плотность водяного пара ρ_H, кг/м^3
	мм.рт.ст.	Па			мм.рт.ст.	Па	
49	88,0	12000	0,0794	125	–	236700	1,296
50	92,5	12600	0,0832	130	–	275500	1,404
55	–	16100	0,1043	135	–	319200	1,715
60	–	20300	0,1301	140	–	368500	1,962
65	–	25500	0,1611	145	–	423800	2,238
70	–	31800	0,1979	150	–	485500	2,543
75	–	39300	0,2416	155	–	554200	2,880
80	–	48300	0,2929	160	–	630300	3,252
85	–	59000	0,3531	165	–	714700	3,662
90	–	71500	0,4229	170	–	808000	4,113
95	–	86200	0,5039	175	–	910000	4,605
100	–	103300	0,5970	180	–	1023000	5,145
105	–	123200	0,7036	185	–	1145000	5,734
110	–	146100	0,8254	190	–	1280000	6,378
115	–	172400	0,9635	195	–	1425000	7,078
120	–	202500	1,120	200	–	1555000	7,840

Таблица V

Системы кондиционирования

№ п/п	Модель	Мощность, кВт		Объем обработки воздуха, $м^3/ч$	Габариты внутреннего блока, мм
		охлаждения	обогрева		
Врезные оконные моноблоки с электроподогревом					
1.	AX-09EW	2,6	3,2	490	370×610×570
2.	AX-12EW	3,5	3,2	490	370×610×570
3.	AX-15EW	4,2	3,2	490	370×610×570
4.	AX-18EP	5,2	3,8	750	460×680×680
5.	AX-24ES	7,0	3,8	830	460×680×680
Сплит системы настенного типа					
6.	AH-07AW	2,1	2,8	310	810×220×152
7.	AH-09AW	2,5	2,8	380	810×220×152
8.	AH-12AW	3,5	4,2	630	900×250×183
9.	AH-17AW	5,0	5,0	730	1080×290×183
10.	AH-23AW	6,7	6,7	900	1080×290×183
Сплит системы потолочного типа					
11.	CS-80T51XE	7,6	7,7	1140	1260×650×165
12.	CS-112T51XE	10,9	11,2	1440	1260×700×235
13.	CS-140T51XE	13,4	14,2	1800	1600×700×235
14.	CS-160T51XE	15,1	15,7	2100	1600×700×235
Сплит системы кассетного типа					
15.	CS-80U51XE	7,6	7,7	1140	370×610×570
16.	CS-112U51XE	10,9	11,2	1440	370×610×570
17.	CS-140U51XE	13,4	14,2	1800	370×610×570
18.	CS-160U51XE	15,1	15,7	2100	370×610×570
Сплит системы канального типа					
19.	CS-80E51XE	7,6	7,7	1200	1100×400×290
20.	CS-112E51XE	10,9	11,2	2100	1100×400×290
21.	CS-140E51XE	13,4	14,2	2400	1100×400×290
22.	CS-160E51XE	15,1	15,7	2700	1100×400×290
Сплит системы колонного типа					
23.	LP-3060AHE	8,0	8,0	1140	1100×400×290
24.	LP-5080NHE	12,0	12,0	2280	1100×400×290

Учебное издание

Валентин Яковлевич Потапов
Сергей Георгиевич Фролов
Валерий Феликсович Копачев

ТЕПЛОТЕХНИКА

Учебник

Редактор *Л. Н. Авдеева*

Компьютерная верстка *Ю. П. Анохиной*

Подписано в печать 01.03.2016 г. Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе
Печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 12,0. Тираж 300 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
горный университет»

НОВИКОВА Н.А

Методическое руководство
для выполнения контрольных и практических работ по

курсу «Метрология, стандартизация и сертификация

для студентов специальности:
21.05.04 «Горное дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2018

Методическое руководство

для контрольных и практических работ по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»

Автор: Новикова Н.А.

Одобрена на заседании кафедры

Эксплуатации горного оборудования

(название кафедры)

Зав.кафедрой _____

(подпись)

Симисинов Д.И.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 7 от 04.06.2018

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией Факультета ГМФ

(название факультета)

Председатель _____

(подпись)

В.П.Барановский

(Фамилия И.О.)

Протокол № 10 от20.06.2018

(Дата)

Екатеринбург
2018

В целях закрепления основных положений по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» студенты самостоятельно выполняют две расчетно-графические работы.

РАБОТА №1

Работа заключается в анализе допусков и посадок гладких соединений. Анализируются все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета и заданного номинального размера и все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета и размера.

Работа выполняется на специальном бланке и подлежит защите. Бланк заполняется карандашом, с соблюдением требований ГОСТ 2.307-68.

Для выполнения данной работы студенту необходим для определения полей допусков ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75).

1.Последовательность выполнения работы

1.1. Для выполнения работы студент получает бланк с заданием.

1.2. Из таблицы ГОСТ 25347-82 выписать в графу 1 бланка работы все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета, и все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета.

1.3 Посадки записываются в соответствии с ГОСТ на условные обозначения полей допусков: предельные отклонения отверстия записываются в числителе, а вала – в знаменателе, например: 50 $\frac{H7}{e8}$ или 50 *H7/e8*. Где: 50 – номинальный размер соединения; *H7*- условное обозначение поля допуска отверстия; *e8*- поле допуска вала.

Аналогично по заданному квалитету и номинальному размеру выписываются все стандартные посадки в системе вала.

1.4. В графы 2 и 3 каждой системы (система отверстия, система вала) заносятся числовые значения предельных отклонений для всех полей допусков.

Числовые значения предельных отклонений принимаются по ГОСТ25347-82 (СТ СЭВ 144-75). При отсутствии указанного стандарта предельные отклонения находят расчетным путем с помощью ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75).

1.5. В графы 4 и 5 каждой системы посадок записываются исполнительные размеры для отверстий и валов с указанием условного

обозначения предельных отклонений, а в графы 6 и 7 – исполнительные размеры, но уже в числовых величинах предельных отклонений, мм.

1.6. Проводится математический анализ зазоров и натягов для каждого сопряжения в обеих системах. Величины зазоров и натягов по абсолютной величине, в мкм, заносятся в графы отчета 8, 9, 10 и 11 соответственно каждой системы посадок.

Предельные зазоры и натяги определяются:

посадки с зазором:

$$S_{max} = ES - ei\ , \qquad S_{min} = EI - es\ ;$$

посадки с натягом:

$$N_{max} = es - EI, \qquad N_{min} = ei - ES\ ;$$

переходные посадки:

$$S_{max} = ES - ei, \qquad N_{max} = es - EI,$$

где S_{max} и S_{min} - наибольший и наименьший зазор;
N_{max} и N_{min} - наибольший и наименьший натяг;
ES и EI - верхнее и нижнее отклонение отверстия;
es и ei - верхнее и нижнее отклонение вала.

1.7. Определяется для посадок в системе отверстия и в системе вала допуск посадки исходя из предельных зазоров или натягов.

Для посадок с зазором $T_n = S_{max} - S_{min} = IT_D + IT_d$;
Для посадок с натягом $T_n = N_{max} - N_{min} = IT_D + IT_d$;
Для переходных посадок $T_n = S_{max} + N_{max} = IT_D + IT_d$;

При этом IT_D – допуск отверстия,
IT_d – допуск вала.

Результаты расчета заносятся в графу 12 бланка отчета соответственно каждой посадке, мкм.

1.8. Строятся схемы полей допусков для всех посадок в системе отверстия и в системе вала. Для построения полей допусков следует принять определенный масштаб.

1.9. Для одной (любой) посадки в системе отверстия и для одной посадки в системе вала оформляются эскизы сопряжений.

При этом на эскизах сопряжений указать исполнительные размеры на двух размерных линиях: на одной указать номинальный размер и условное

обозначение предельных отклонений, на второй - номинальный размер с числовыми предельными отклонениями.

Образец контрольной работы №1 приведен в таблице 1.1 и Рис.1.1, Рис.1.2.

Таблица 1.1

Дать анализ всех стандартных посадок в системе вала с валом h5 номинального размера 20 мм

Посадка	Отклонение в мкм.		Наносимый размер на чертежах деталей (в мм)				Натяги в мкм		Зазоры в мкм		Допуск посадки в мкм
	Отв.	Вала	Условно		С числовыми отклонениями		max	min	max	min	
	ES EJ	es ej	Отв.	Вала	Отв.	Вала					

Схема полей допусков для размера 20 мм с полем допуска основного вала h5

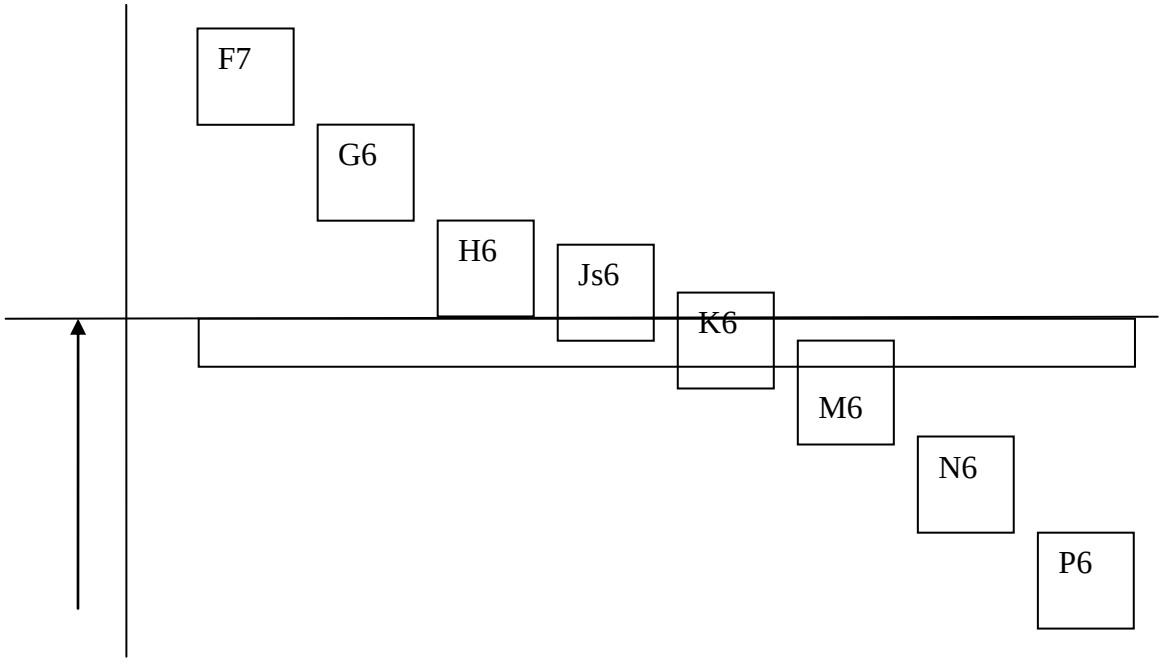


Рис 1.1 Эскизы деталей и сопряжения для посадки с полем допуска h5 в системе вала

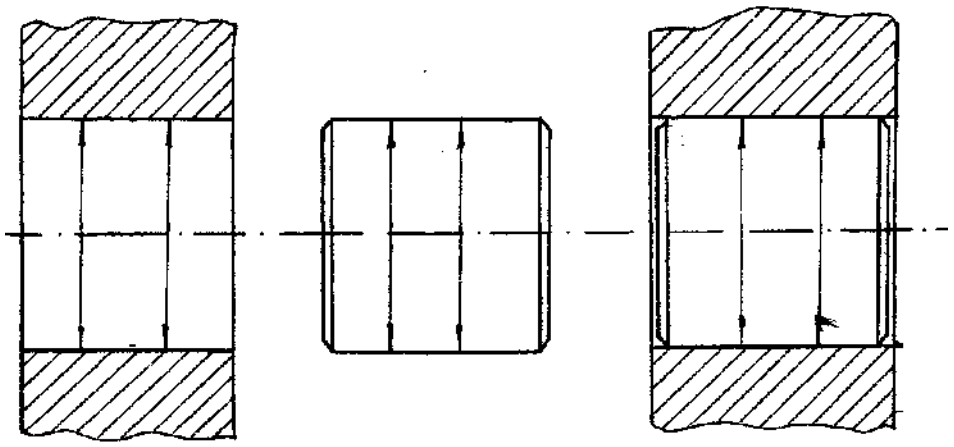


Рис.1.2.Схема обозначения посадок на чертежах

РАБОТА №2

Работа включает в себя следующие расчеты:
- расчет и выбор посадки с зазором,
- расчет и выбор посадки с натягом,
- выбор посадок для подшипников качения,
- определение исполнительных элементов зубчатого колеса,
- решение размерных цепей.

Работа выполняется на бумаге формата А4.

Номера вариантов задаются студентам преподавателем.

2.1. Расчет и выбор посадки с зазором

По заданным условиям работы подшипника скольжения студент должен рассчитать и выбрать стандартную посадку из ГОСТ 25347-82.

Последовательность расчета:

2.1.1. Определяется удельное давление на подшипник, Па

$$P = \frac{R}{D \bullet l}$$

где R - радиальная нагрузка на цапфу, Н;

D - номинальный диаметр сопряжения, м;

l - длина сопряжения, м.

2.1.2. Определяется относительная длина подшипника

$$\lambda = \frac{l}{D}$$

2.1.3. Если рабочая температура подшипника отличается от температуры, при которой устанавливается вязкость масла, необходимо определить динамическую вязкость масла при рабочей температуре. Машинные масла испытываются при $t = 50^0$С, а тяжелые и моторные масла при температуре $t = 100^0$С

$$\mu_t = \mu_{50}\left(\frac{50}{t^0}\right)^x \quad \text{или} \quad \mu_t = \mu_{100}\left(\frac{100}{t^0}\right)^x$$

где μ_{50} и μ_{100} – динамическая вязкость масла, принятая по таблице 2.2, Па·с;

t - рабочая температура подшипника;

x – показатель степени, принимаемый в зависимости от вязкости масла по таблице 2.1.

Таблица 2.1

Значение показателя степени

Вязкость св. масла, Па С от	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09
до	0,04	0,05	0,07	0,09	-
Значение x	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0

Таблица 2.2

Вязкость масел при температуре $t = 50^0$С

Марка масла	Вязкость, Па·с	Марка масла	Вязкость, Па·с
И-8А	0,005…0,007	ИГП-4	0,003…0,004
И-12А	0,009…0,012	ИГП-6	0,004…0,006
И-20А	0,015…0,019	ИГП-8	0,006…0,007
И-25А	0,021…0,023	ИГП-18	0,014…0,017
И-30А	0,025…0,028	ИГП-30	0,024…0,026
И-40А	0,031…0,039	ИГП-38	0,030…0,034
И-50А	0,041…0,048	ИГП-49	0,041…0,045
И-70А	0,057…0,066	ИГП-72	0,062…0,066

Таблица 2.3.

Коэффициент точности по квалитетам

Квалитеты	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
«а»	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Таблица 2.4.

Единица допуска для размеров от 1 до 500 мм

Интервалы диаметров	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
Единица допуска i, мкм	0,54	0,73	0,90	1.09	1,30	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89	3.23	3,54	3,89

2.1.4. Вычисляется характеристика режима работы подшипника по зависимости

$$A = \frac{\mu \cdot \omega}{P},$$

где μ_t - динамическая вязкость масла при рабочей температуре подшипника, Па.с

ω - угловая скорость вращения вала, рад/с.

P - удельное давление на подшипники, Па;

Если по условию задачи задана частота вращения вала, то угловую скорость можно определить по зависимости

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

где n – частота вращения вала, об/мин.

2.1.5. Вычисляется оптимальный относительный зазор при относительном эксцентриситете χ =0,5.

$$\psi_{опт} = \sqrt{A \cdot C_{R1}'}$$

где C_{R1} – коэффициент несущей способности подшипника, соответствующий χ =0,5. Принимается по табл. 2.5.

Таблица 2.5

Значение коэффициентов C_{R1}, C_{R2}, C_{R3} в зависимости от относительного эксцентриситета

Относительный эксцентриситет χ	Значение C_R при λ					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,3	0,089	0,133	0,182	0,234	0,287	0,339
0,5	0,216	0,317	0,427	0,538	0,647	0,754
0,75	0,776	1,098	1,418	1,720	1,965	2,248
χ	C_R при λ					
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0
0,3	0,391	0,440	0,487	0.529	0,610	0,763
0,5	0,853	0.947	1,033	1,111	1,248	1,483
0,75	2,469	2,664	2,838	2,990	3,242	3,671

2.1.6. Вычисляется минимальный относительный зазор при *относительном* эксцентриситете χ =0,3.

$$\psi_{minF} = \sqrt{A \cdot C_{R2}},$$

2.1.7. Вычисляется максимальный относительный зазор при относительном эксцентриситете χ =0,75.

$$\psi_{maxF} = \sqrt{A \cdot C_{R3}'}$$

2.1.8. Зная относительные зазоры и номинальный диаметр соединения, определяют предельные диаметральные зазоры, мм

$$S_{opt} = \psi_{onm} \cdot D; \quad S_{min\,F} = \psi_{minF} \cdot D; \quad S_{maxF} = \psi_{maxF} \cdot D$$

где *D*- номинальный диаметр соединения, мм.

2.1.9. По предельным зазорам определяется допуск зазора, мкм

$$T_{sF} = S_{maxF} - S_{min\,F}$$

2.1.10. Устанавливается коэффициент точности по зависимости

$$a = \frac{T_{SF}}{2 \cdot i},$$

где i – единица допуска, мкм, принимаемая по табл. 2.4.

В ГОСТ 25 346-82 (или табл.2.3).по величине a определяется квалитет для сопрягаемых деталей.

2.1.11. Определяется оптимальная величина масляного клина из условия

$$h_{min\ opt} = 0{,}25\ S_{opt};$$

$$h_{min\ opt} = k(Rz_D + Rz_d + \gamma_g)$$

где Rz_D и Rz_d – шероховатость сопрягаемых поверхностей деталей, мкм;

k - коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя, принимают $k \geq 2$;

γ_g – добавка на неразрывность масляного слоя с учетом отклонений формы, расположения поверхности вала и прогиба вала.

При $\lambda \geq 1$, $\gamma_g = 2 \div 3$; при $\lambda < 1$, $\gamma_g = 1$.

2.1.12.Определяется оптимальная шероховатость сопрягаемых поверхностей, приняв $h_{min\ opt}$ равной 0,25 от S_{opt}, мкм

$$Rz_{opt} = \frac{h_{min opt} - K\gamma_g}{2K},$$

Полученная величина Rz_{opt} округляется до стандартной по ГОСТ 2789-73.

(Таблица 2.6)

Таблица 2.6

Ряды числовых значений шероховатости и базовых длин

***L*, мм**	***Ra*, мкм**	***Rz*, мкм**	***L*, мм**	***Ra*, мкм**	***Rz*, мкм**
8	80	320	0,8	2,5	10,0
	63	250		2,0	8,0
	50	200		1,6	6,3
	40	160		1,25	5,0
	32	125		1,00	4,0
	25	100		0,80	3,2
	20	80		0,63	2,5
	16	63		0,50	2,0
	12.5	50		0,40	1,6

2,5	10,0 8,0 6,3 5,0 4,0 3,2	40 32 25 20 16 12,5	0,25	0,32 0,25 0,20 0,16 0.125 0,100	1,25 1,00 0,80 0,63 0,50 0.40

2.1.13. Учитывая шероховатость поверхностей определяются технологические зазоры в соединении, мм

$$S_{max\,t} = S_{max\,F} - 2(R_{zD} + R_{zd});$$

$$S_{min\,t} = S_{min\,F} - 2(R_{zD} + R_{zd}).$$

2.1.14. В таблицах ГОСТ 25347-82 выбирается стандартная посадка из условия

$$S_{mi\,n} \geq S_{min\,t};$$
$$S_{max} \leq S_{max\,t}.$$

где $S_{mi\,n}$ и S_{max} - наименьший и наибольший табличные зазоры по ГОСТ 25347-82

При выборе посадки следует руководствоваться следующими условиями:

1. Посадка, по возможности, должна состоять из предпочтительных полей допусков, первого ряда предпочтительности;

2. Допускается применять стандартную посадку первого ряда предпочтительности, у которой $S_{mi\,n}$ будет меньше $S_{min\,t}$, но не более 15%;

3. Если окажется, что посадка должна быть 5-го квалитета или точнее, то в таком случае следует принять посадку более грубого квалитета (например, 6-го или 7-го) и назначить селективную сборку. Для такой посадки следует принимать поля допусков вала и отверстия одного квалитета. У принятой посадки средний зазор S_m должен быть близким к S_{opt};

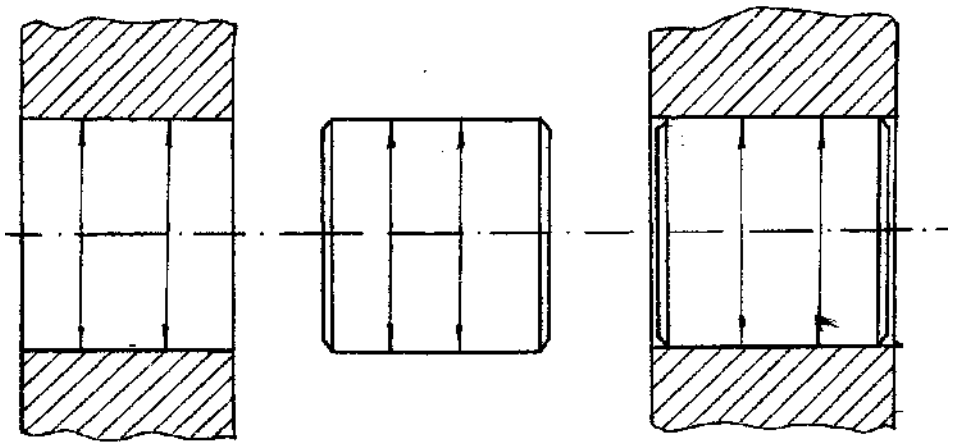
4. Количество групп сортировки определяется по зависимости:

$$n = \frac{T_s}{T_{sF}},$$

где T_s - допуск у принятой стандартной посадки по ГОСТ 25347-82;

T_{sF} - допуск посадки с зазором, полученный расчетом.

2.1.15. Выполнить эскиз вала, отверстия и вала в сборе, аналогично эскизов в работе №1. На эскизах нанести размеры с нанесением условных и числовых отклонений и нанести шероховатость по R_a.



2.2. Расчет и выбор посадки с натягом

По заданным нагрузкам и размерам соединяемых деталей рассчитать и выбрать стандартную посадку с гарантированным натягом.

Для выполнения работы необходимо иметь ГОСТ 25347-82.

Последовательность расчета:

2.2.1. По заданным значениям внешних сил и размерам сопрягаемых деталей определяется наименьшее удельное давление на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей.

При действии на соединение только осевой силы P_o, наименьшее удельное давление определяется по зависимости, Па

$$\frac{P_o}{\pi \cdot D \cdot L \cdot f}$$

$$P_{min} = \quad ,$$

При действии на соединение только крутящего момента $M_к$, P_{min} находится из уравнения, Па:

$$P_{min} = \frac{2 \cdot M_к}{\pi \cdot D^2 \cdot L \cdot f} ,$$

При действии на соединение одновременно $P_о$ и $M_к$ минимальное удельное давление P_{min} определяется по равнодействующей сил, Па

$$P_{min} = \frac{R}{\pi \cdot D \cdot L \cdot f} ,$$

где $R = \sqrt{P_0^2 + M^2}$, н

$P_о$ – продольная осевая сила, стремящаяся сдвинуть одну деталь относительно другой, Н;

$M_к$ – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н·м;

D – диаметр соединения, м;

L- длина контакта сопрягаемых поверхностей, м

f - коэффициент трения при установившемся режиме распрессовки или проворачивания.

Коэффициент f зависит от материала сопрягаемых деталей, способа сборки, шероховатости поверхностей и других факторов.

В табл. 2.7. приведены коэффициенты трения при сборке деталей под прессом. Если детали будут собираться термическим способом, то коэффициент f следует увеличить в 1,8 раза, например, если обе сопрягаемые детали изготавливаются из стали, то при сборке деталей под прессом f = 0,008, а при термической сборке f = 0,14.

Таблица 2.7

Значение коэффициентов трения

Материал сопрягаемых деталей	Коэффициент трения *f*
Сталь – сталь	0,06 ÷ 0,12
Сталь – чугун	0,07 ÷ 0,12
Сталь – алюминиевые сплавы	0,03 ÷ 0,05
Сталь – латунь	0,05 ÷ 0,10
Сталь - бронза	0,06 ÷ 0,10

Таблица 2.8

Допустимые пределы текучести и коэффициенты линейного расширения некоторых сплавов

Марка сплава	$\sigma_т$, МПа	$\lambda \cdot 10^6$ $1/^0C$	Марка сплава	$\sigma_т$, МПа	$\lambda \cdot 10^6$ $1/^0C$
Сталь СТ 3	196	11,1	Сталь 50Х	880	13,4
Сталь СТ 5	265	11,1	Сталь 45Х	850	13,4
Сталь 08	190	11,1	Сталь 40Х	785	13,4
Сталь 20	198	11,9	Сталь 30Х	687	11,3
Сталь 30	245	11,1	Сталь 20Х	638	11,3
Сталь 35	270	11,1	Сталь 20Г	275	12,3
Сталь 40	275	11,3	Сталь 30Г	314	12,6
Сталь 45	310	11,6	Сталь 40Г	353	9,4
Сталь 50	314	11,2	Сталь 50Г	392	11,6
Сталь 55	324	11,0	Сталь 65Г	432	11,6
Алюминиевые сплавы				162	10,2
Д-1	245	22,9	*Чугуны*	206	10,1
Д-6	294	22,0	СЧ 21-40	242	10,0
В-95	540	23,1	СЧ 24-44	267	10,0
АЛ-12	118	22,0	СЧ 28-48	215	10,2
АЛ-13	98	20,0	СЧ 32-52	226	10.0
			КЧ 35-10	294	10.0
			КЧ 37-12		
	343	16,1	ВЧ 40-10		
Бронзы	145	17,1			
БраЖМУ10-3-1,5					
БрОЦС 6-6-3					
	396	18,7			
Латунь ЛАЖМУ	343	17,0			

ЛМУСС					

Таблица 2.9

Значение модуля упругости и коэффициента Пуассона

Материал	Модуль упругости *E*, МПа	Коэффициент Пуассона μ
Сталь	210000	0,3
Чугун	110000	0,25
Бронза	84000	0,35
Латунь	78000	0,38

2.2.2. Определяется коэффициент Ляме, исходя из размеров сопрягаемых деталей

$$C_1 = \frac{1+(d_1/D)^2}{1-(d_1/D)^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1+(D/d_2)^2}{1-(D/d_2)^2} + \mu_2;$$

где D - диаметр соединения, мм;

d_1 - диаметр отверстия пустотелого вала, мм;

d_2 – диаметр наружной поверхности втулки, мм;

μ - коэффициент Пуассона.

2.2.3. Определяется наименьший допустимый натяг в соединении, мкм

$$N_{minF} = P_{min} \cdot D \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) \cdot 10^6,$$

где D – диаметр соединения, м;

E_1 и E_2 – модуль упругости материалов, соответственно для материала вала и материала втулки, Па;

P_{min} – удельное давление, Па.

2.2.4. На основе теории наибольших касательных напряжений определяются максимальные допустимые удельные давления P_{max}, при котором отсутствуют пластические деформации на контактных поверхностях деталей. В качестве P_{maxF} ,берется наименьшее значение P_{max}, Па.

$$P_{max1} = 0{,}58\ \sigma_{T1}\ [1 - (d_1/D)^2];$$

$$P_{max1} = 0{,}58\ \sigma_{T2}\ [1 - (D/d_2)^2];$$

где σ_{T1} и σ_{T2} - предел текучести материалов вала и втулки, Па. (Таблица2.8)

2.2.5. Определяется наибольший расчетный натяг, мкм

$$N_{maxF} = P_{max} \cdot D \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right) \cdot 10^6$$

2.2.6. Определяется допуск посадки, мкм

$$T_N = N_{maxF} - N_{minF}.$$

2.2.7. Устанавливается степень точности соединяемых деталей

$$a = \frac{T_N}{2 \cdot i},$$

где i- единица допуска, мкм, принять по таблице 2.4.

По величине «а» в таблице 2.3. устанавливается квалитет сопрягаемых деталей. Если «а» равно 25 единицам и более, следует принимать посадки с натягом 8-го квалитета или точнее. Для посадки зубчатого колеса на вал квалитет для отверстия следует принимать по степени точности зубчатого колеса.

2.2.8.В зависимости от квалитета сопрягаемых поверхностей определяется оптимальная шероховатость, величину которой можно принимать в процентах от допуска на размер детали:

- для деталей 7 и 8-го квалитетов $Rz \approx 0{,}16\ T_p$;
- для деталей 5 и 6-го квалитетов $Rz \approx 0{,}2\ T_p$.

Полученные значения шероховатости округляются до стандартных по ГОСТ2789-73.(Таблица 2.6)

2.2.9. С учетом оптимальной шероховатости определяются технологические натяги, мм

$$N_{min\,t} = N_{minF} + 1{,}2(R_{z\,d} + R_{z\,D});$$

$$N_{max\,t} = [N_{maxF} + 1{,}2(R_{z\,d} + R_{z\,D})] \times 0{,}9.$$

2.2.10. В таблицах ГОСТ 25347-82 принимаются предельные отклонения основного отверстия, согласно принятого квалитета.

2.2.11. Нижнее технологическое отклонение вала находится по условию:

$$ei_t = N_{min\,t} + ES.$$

По нижнему отклонению вала в таблицах ГОСТ 25347-82 подбирается такое поле допуска вала, у которого

$$ei \geq ea_t\,, \quad \text{а} \quad es \leq N_{max\ t}\,,$$

где ei и es – табличные значения нижнего и верхнего отклонений вала.

2.2.12. Дать эскизы сопрягаемых деталей в сборе и отдельно для вала и для втулки, аналогично, как в работе №1. На эскизах деталей нанести шероховатость по критерию R_a.

2.3. Выбор посадок для подшипников качения

Данные для расчета задаются преподавателем.

Выбор посадок для поверхностей деталей машин, сопрягаемых с кольцами подшипников качения зависит от вида нагружения кольца подшипника. ГОСТ 3325-85 устанавливает три вида нагружения колец подшипников качения:

местное, циркуляционное и колебательное.

Местным нагружением кольца считается такой вид нагружения, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка постоянно воспринимается одним и тем же ограниченным участком дорожки качения этого кольца и передается соответствующему участку посадочной поверхности вала или корпуса.

Такой вид нагружения имеет место когда кольцо не вращается относительно действующей на него нагрузки или кольцо и нагрузка участвуют в совместном вращении. В качестве примеров местного нагружения можно привести наружное кольцо в корпусе редуктора или внутреннее кольцо в катке гусеничного механизма.

Циркуляционным нагружением кольца считается такой вид нагружения, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка воспринимается и передается телами качения в процессе вращения дорожки качения последовательно всей посадочной поверхности вала или корпуса.

Такой вид нагружения возникает у вращающегося кольца при неподвижной нагрузке, например, внутреннее кольцо подшипника в редукторе, или наружное кольцо в катке гусеничного механизма.

Колебательным нагружением кольца считается такой вид нагружения, при котором неподвижное кольцо подшипника подвергается одновременному воздействию радиальных нагрузок постоянной по направлению P_c и вращающей P_ν меньшей или равной по величине P_c.

Их равнодействующая R совершает периодическое колебательное движение. Посадки на колебательно нагруженное кольцо назначают как для местно-нагруженного кольца если $P_c \geq P_\nu$ или как для циркуляционно-нагруженого кольца, если $P_\nu \geq P_c$.

Посадки для местно-нагруженных колец выбираются с небольшим гарантированным зазором из расчета, чтобы кольцо имело возможность за период эксплуатации совершить хотя бы один оборот. Для этой цели используются посадки с малым гарантированным зазором. Конкретную посадку можно выбрать согласно таблицы 2.10.

Таблица 2.10

Поля допусков для поверхностей деталей, сопрягаемых с кольцами, имеющими местное нагружение

Номинальные размеры		Поля допусков						
		Для валов		Для отверстий в корпусе				Тип подшипников
				Не разъемных		разъемных		
		Класс точности и подшипников						
		P0; P6	P4; P5	P0; P6	P5; P4	P0; P6	P5; P4	
Св.	до	Нагрузка спокойная умеренная						
-	80	h6	h5	H7	H6	H7	H6	Все типы кроме штампованных и упорных
80	260	g6	g5	G7	G6	H7	H6	
260	500	f6	g5	G7	G6	H7	H6	
500	1600	-	-	F7	G6	H7	H6	
		Нагрузка с ударами и вибрацией						
-	80	h6	h5	I_S7	I_S6	I_S7	I_S6	Все типы кроме штампованных и конических
80	260	h6	h5	H7	H6	I_S7	I_S6	
260	500	g6	g5	H7	H6	I_S7	I_S6	
500	1600	-	-	H7	H6	I_S7	I_S6	
-	120	h6	h5	H7	H6	I_S7	I_S6	Для роликовых конических двухрядных
120	1600	g6	g5	H7	H6	I_S7	I_S6	

Посадка циркуляционно-нагруженных колец должна осуществляться с гарантированным натягом. Для этой цели используются следующие поля допусков:

а) если наружное кольцо имеет циркуляционное нагружение, то отверстие в корпусе обрабатывают с полями допусков:

для подшипников класса *P0* и *P6* - *K7; M7; N7; P7*;

для подшипников класса *P5* и *P4* - *K6; M6; N6; P6*;

б) если внутренне кольцо имеет циркуляционное нагружение, то шейку вала следует обрабатывать с полями допусков:

для колец подшипников класса *P0* и *P6* – j_s *6; к6; m6; n6; p6; r6*

для колец подшипников класса *P5* и *P4* - j_s *5; к5; m5; n5*.

Конкретное поле допуска может быть определено расчетным путем.

Если внутреннее кольцо имеет циркуляционное нагружение, то посадку можно выбрать по величине наименьшего натяга, который можно определить из уравнения, мм

$$N_{minF} = \frac{13 \cdot R \cdot к}{b \cdot 10^6},$$

где R – суммарная радиальная нагрузка, действующая на опоры, *Кн*;

K – коэффициент, принимаемый для подшипников серии диаметров 9, 8, 7, 0, 1 ,2 или серии ширин 8, 7, 1, 0 (легкая серия) равным 2,8; для серии 1 диаметров 3, 5, 6 или серии ширин 2,3 (средняя серия) равным 2,3; для серии диаметров 4, 6 или серий ширин 4, 5, 6 (тяжелая серия) равным 2,0.

b – активная часть кольца подшипника, м

$$b = B - 2 \cdot r$$

где B – ширина кольца, м

r – размер фаски кольца, м

Во избежание разрыва кольца выбранная посадка проверяется на максимальный натяг, допустимая величина максимального натяга определяется из зависимости, мм

$$N_{max\,F} = \frac{11{,}4 \cdot Kd[\sigma_Д]}{(2K - 2)\,10^3}$$

где $[\sigma_Р]$ - допускаемое напряжение на растяжение, МПа
(для подшипниковой стали 400 МПа)

d - диаметр внутреннего кольца подшипника качения, м

Поле допуска выбирается из условия $ei_t \geq N_{minF}$,, но принятое поле допуска не должно создавать натяг $N_{max} \leq N_{max\,F}$

При циркуляционном нагружении кольца подшипника выбор посадки на вал и отверстие корпуса можно производить по интенсивности нагружения на посадочной поверхности кольца подшипника качения. Величину интенсивности можно подсчитать по зависимости, кН/м

$$P_R = \frac{R}{b} K_1 K_2 K_3,$$

где R - радиальная реакция опоры на подшипник, кН

b - рабочая ширина посадочного места, м

$$b = B - 2 \cdot r$$

B - ширина кольца подшипника, м

r - радиус закругления или ширина фаски кольца подшипника, м

K_1 - динамический коэффициент посадки, зависящий от характера нагрузки, принимается по таблице 2.11.

K_2 - коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при полом вале или тонкостенном корпусе, принимается по таблице 2.12. Для сплошного вала $K_2 = 1$;

K_3 - коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки E между рядами роликов в двухрядных конических роликоподшипниках или между сдвоенными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки A на опору. Значение коэффициента K_3, зависящее от $A / R \cdot ctg\beta$ приведено в табл. 2.13 (угол β - угол контакта тел качения с дорожкой качения наружного кольца зависит от конструкции подшипника $\beta = 12°; 26°; 36°$. Для однорядных подшипников $K_3 = I$.

Таблица 2.11

Характер нагрузки	K_1
Нагрузка с умеренными толчками и вибрацией	1,0
Нагрузка с сильными толчками и вибрацией, перегрузки достигают до 300%	1,8

Таблица 2.12

Коэффициент K_2

d_0/d	D/D_H	Значение коэффициента для			
		вала			корпуса
Св.	До	$D/d \le 1,5$	$D/d > 1,5$	$D/d > 2-3$	
-	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
0.4	0.7	1.2	1.4	1.6	1.1
0.7	0.8	1.5	1.7	2.0	1.4
0.8	-	2.0	2.3	3.0	1.8

Таблица 2.13

Коэффициент $К_3$

A/R ctg β		$К_3$
Св.	до	
-	0.2	1.0
0.2	0.4	1.2
0.4	0.6	1.4
0.6	1.0	1.6
1.0		2.0

По величине P_R в табл. 2.14 выбирается поле допуска для поверхности детали, сопрягаемой с циркуляционно-нагруженным кольцом. Поля допусков принимаются для подшипников классов РО и Р6 для корпуса по 7-му квалитету, для вала по 6-му квалитету; для подшипников классов Р5 и Р4 принимаются для отверстия в корпусе по 6-му квалитету, а для вала по 5-му квалитету.

Таблица 2.14

Допустимые интенсивности нагрузок на вал и корпус для подшипников качения

Диаметр, мм		Допустимые значения P_R, кН/м				
		Поля допусков вала				
Св.	до	j_s6; j_s5	k6; k5	m6; m5	n6; n5	p6
18	80	до 300	300-1350	1350-1600	1600-3000	св. 3000
80	180	550	550-2000	2000-2500	2500-4000	4000
180	360	700	700-3000	3000-3500	3500-6000	6000
360	630	900	900-3400	3400-4500	4500-8000	8000
Диаметр, мм		Поля допусков корпуса				
Св.	до	К7; К6	М7; М6	N7; N6	Р7; Р6	
50	180	до 800	800-1000	1000-1300	1300-2500	
180	360	1000	1000-1500	1500-2000	2000-3300	
360	630	1200	1200-2000	2000-2600	2600-4000	
630	1600	1600	1600-2500	2500-3500	3500-5500	

Работа должна выполняться в следующей последовательности.

По номеру подшипника в справочнике определить размеры колец подшипников.

По классу точности подшипника в стандарте ГОСТ 520-71 (СТ СЭВ 774-77) или справочнике определить числовые предельные отклонения для наружного диаметра D и внутреннего диаметра d .

Установить характер нагружения колец подшипников качения, исходя из условия работы подшипника.

Для местно-нагруженного кольца в табл. 2.10 подобрать поля допусков согласно класса точности кольца подшипника.

Выполнить расчет посадки для циркуляционно-нагруженного кольца подшипника.

Для принятых полей допусков в табл. ГОСТ 25347-82 определить числовые отклонения для вала и отверстия в корпусе.

По предельным отклонениям построить схемы полей допусков.

Подсчитать зазоры и натяги для посадки наружного и внутреннего колец подшипников и заполнить таблицу отчета по образцу (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Анализ посадок подшипникового соединения

Класс точности подшипника		Сопряжения подшипника	
		С валом	С корпусом
Посадка			
Отклонение вала, мкм	es		
	ei		
Отклонения отверстия, мкм	ES		
	EI		
Натяги, мкм	N_{max}		
	N_{min}		
Зазоры, мкм	S_{max}		
	S_{min}		

Выполнить эскизы опоры, шейки вала и отверстия в корпусе. На эскизе узла нанести только условные обозначения полей допусков сопрягаемых деталей. Обозначение полей допусков колец подшипников на сборочном чертеже не указывается. На эскизах деталей нанести: условное и числовое обозначение предельных отклонений, допуск цилиндричности, биение заплечиков и шероховатость.

Допуск цилиндричности принимать равным 1/4 от допуска размера для поверхностей деталей, сопрягаемых с кольцом подшипника классов РО и Р6 или 1/8 от допуска размера для подшипников классов Р5 и Р4. Допуски торцового биения принять по табл. 2.16, а допустимую шероховатость по критерию Ra в табл. 2.17.

Таблица 2.16

Биение заплечиков в мкм (не более)

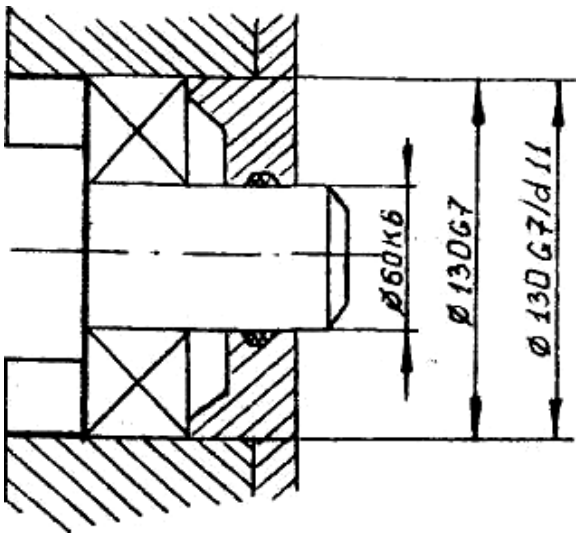
Заплечиков валов					Заплечиков корпуса				
d, мм	Р0	Р6	Р5	Р4	D, мм	Р0	Р6	Р5	Р4
	Классы подшипников					Классы подшипников			
До 50	20	10	7	4	До 80	40	20	13	8
Св 50 до 120	25	12	8	6	Св 80 до 120	45	22	15	9
Св 120 до 250	30	15	10	8	Св 120 до 150	50	25	18	10
Св 250 до 315	35	17	12	9	Св 150 до 180	60	30	20	12
Св 315 до 400	40	20	13	5	Св 180 до 250	70	35	23	14
					Св 250 до 315	80	40	27	16
					Св 315 до 400	90	45	30	18
					Св 400 до 500	100	50	33	12

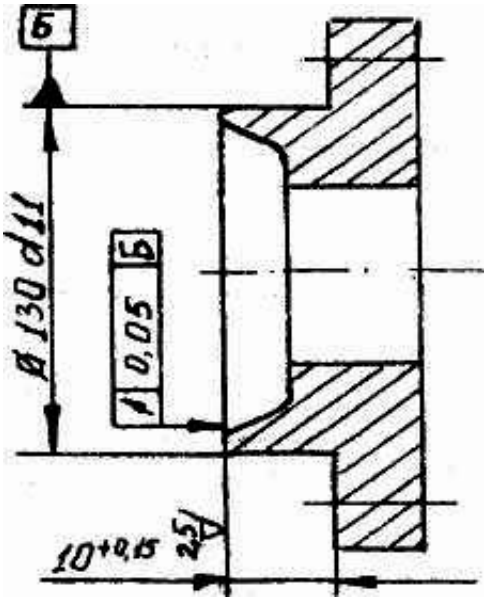
Таблица 2.17

Шероховатость по Ra, мкм, для посадочных мест под подшипники

Посадочные места	Классы точности подшипников	Ra для номинальных диаметров, мкм	
		До 80	Св 80
На валах	Р0 Р6 и Р5 Р4	1,25 0,63 0,32	2,50 1,25 0,63
В отверстии корпуса	Р0 Р6, Р5, Р4	1,25 0,63	2,50 1,25
Торцы заплечиков вала и корпуса	Р0 Р6, Р5, Р4	2,50 1,25	2,50 2,5

Образец выполнения эскиза опоры





2.4. Определение исполнительных размеров элементов зубчатого колеса, влияющих на норму бокового зазора

Варианты задаются преподавателем.

У зубчатых колес норму бокового зазора можно проверить при измерении следующих элементов:

I) предельных смещений исходного контура;

2) средней длины общей нормали;

3) размера постоянной хорды.

Допустимые размеры смещения исходного контура определяются по ГОСТ 1643-81.

2.4.1. Величина наименьшего дополнительного смещения исходного контура E_{HS} принимается по табл. 14 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.18 настоящих методических указаний). Для нахождения необходимо знать вид бокового зазора, размер делительного диаметра и степень точности по норме плавности.

Номинальный размер делительного диаметра можно определить по зависимости, мм

$$d = z \cdot m$$

Где z - число зубьев зубчатого колеса;

m- модуль, мм.

Степень точности может быть задана условным обозначением. Если у зубчатого колеса степень точности по всем нормам принята одна и та же, то условное обозначение имеет вид:

8 - В ГОСТ 1643-81 .

В данном примере степень по всем трем нормам, восьмая, вид бокового зазора "В" и вид допуска на боковой зазор " в ".

При комбинированной степени точности условное обозначение имеет вид:

8 - 7 - 7 - Ва ГОСТ 1643-81

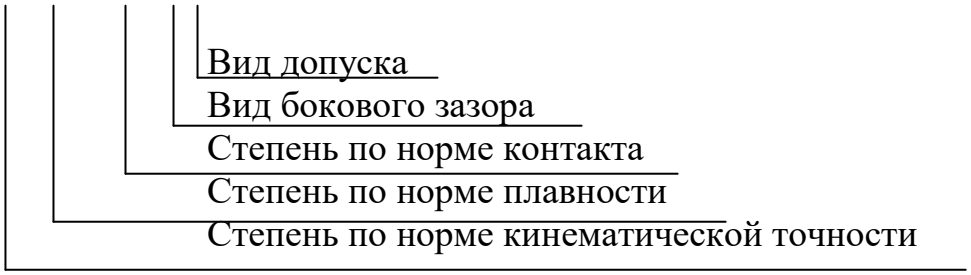


Таблица 2.18

Нормы бокового зазора (показатель – E_{HS})

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	делительный диаметр d, мм					
		до 80	св 80 до 125	св 125 до 180	св 180 до 250	св 250 до 315	св 315 до 400
		мкм					
Н	3 – 6	12	14	16	18	20	22
	7	14	16	18	20	22	25
Е	3 – 6	30	35	40	46	52	57
	7	35	40	45	50	55	60

D	3 – 6 7 8	46 50 55	54 60 70	63 70 80	72 80 90	81 90 100	89 100 110
C	3 – 6 7 8 9	74 80 90 100	87 100 110 120	100 110 120 140	115 120 140 160	130 140 160 180	140 160 180 200
B	3 – 6 7 8 9	120 140 140 160	140 160 160 180	160 180 200 200	185 200 220 250	210 250 250 280	230 250 280 300
A	3 – 6 7 8 9	190 200 220 250	220 250 280 280	250 280 300 350	290 300 350 400	320 350 400 400	360 400 450 500

Таблица 2.19

Норма кинематической точности

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль, мм	Делительный диаметр d, мм			
			до 125	св 125 до 400	св 400 до 800	св 800 до 1600
			Размер показателя, мкм			
1	2	3	4	5	6	7
6	Fr	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10	25 28 32	36 40 45	45 50 56	50 56 63
	Fvw	от 1 до 16	16	28	45	70
	Fi ”	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10	36 40 45	50 56 63	63 71 80	71 80 90
7	Fr	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10	36 40 45	50 56 63	63 71 80	71 80 90
	Fvw	от 1 до 25	22	40	60	100
	Fi ”	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10	50 56 63	71 80 90	90 100 112	100 112 125
1	2	3	4	5	6	7
8	Fr	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10 от 1 до 16	45 50 56 -	63 71 80 90	80 90 100 112	90 100 112 125
	Fvw	от 1 до 40	28	50	80	120
	Fi ”	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10 от 1 до 16	63 71 80 -	90 100 112 125	112 125 140 160	125 140 160 180
9	Fr	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10 от 1 до 16	71 80 90 -	80 100 112 125	100 112 125 160	112 125 140 160

	Fi ”	от 1 до 3,5 св 3,5 до 6,3 св 6,3 до 10 от 1 до 16	90 112 125 -	112 140 160 180	140 160 180 224	160 180 200 224
6	Fc	от 1 до 16	16	28	45	70
7	Fc	от 1 до 16	22	40	60	100
8	Fc	от 1 до 16	28	50	80	120

Таблица 2.20

T_H – допуск на смещение исходного контура, мкм

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr						
		св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125
H, E	h	55	60	70	80	110	120	160
D	d	70	80	90	100	140	160	200
C	c	90	100	120	140	180	200	250
B	b	100	120	140	180	200	250	300
A	a	140	160	180	200	250	300	350

2.4.2. Наибольшее дополнительное смещение исходного контура определяется из условия:

$$E_{Hi} = | E_{Hs} | + T_H,$$

где T_H – допуск на смещение исходного контура.

Допуск T_H – принимают по табл. ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.20 методических указаний) по величине допуска на радиальное биение зубчатого венца F_r и виду допуска на боковой зазор.

Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r принимается по табл. 6 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.19 методических указаний) по величине делительного диаметра и степени точности по норме кинематической точности.

Наименьшее и наибольшее смещения исходного контура принимаются всегда в тело колеса, т.е. для внешних колес внешнего зацепления принимается смещение исходного контура со знаком «минус», а для зубчатых колес внутреннего зацепления принимается со знаком «плюс».

2.4.3. Номинальный размер длины общей нормали для цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями определяют по зависимости, мм

$$W = m [1,476 (2 \cdot Z_{wr} - 1) + 0,0149 \cdot z]$$

где m – модуль зубчатого колеса, мм;

z – число зубьев зубчатого колеса, мм;

Z_{wr} – число зубьев в длине общей нормали; для цилиндрических зубчатых колес принимается по зависимости:

$$Z_{wr} = 0{,}111 \cdot z + 0{,}5.$$

Полученную величину Z_{wr} округляют до целого числа, например, 2, 3, 4, 5 и т.д.

Исполнительный размер должен иметь два предельных отклонения.

Наименьшее уменьшение длины общей нормали принимают из двух таблиц ГОСТ 1643-81. Первое слагаемое E_{wms} *I* принимают в табл. 16 по размеру делительного диаметра и виду бокового зазора; второе слагаемое принимается в табл. 17 по величине допуска на радиальное биение зубчатого венца (табл. 2.21 и табл. 2.22 методических указаний)

$$E_{wms} = E_{wms}\ I + E_{wms}\ II.$$

Таблица 2.21

Нормы бокового зазора (показатель – E_{wms} слагаемое 1)

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	делительный диаметр, мм					
		до 80	св 80 до 125	св 125 до 180	св 180 до 250	св 250 до 315	св 315 до 400
		мкм					
H	3 – 6 7	8 10	10 10	11 12	12 14	14 16	16 18
E	3 – 6 7	20 25	24 30	28 30	30 35	35 40	40 45
D	3 – 6 7 8	30 35 40	35 40 50	40 50 50	50 55 60	55 60 70	60 70 70
C	3 – 6 7 8 9	50 55 60 70	60 70 80 80	70 70 80 100	80 80 100 110	90 100 110 120	100 110 120 140
B	3 – 6 7 8 9	80 100 100 110	100 110 110 120	110 120 140 140	120 140 140 160	140 180 180 200	160 180 200 200
A	3 – 6 7 8 9	120 140 160 180	140 180 200 200	180 200 200 250	200 200 250 280	220 250 280 280	250 280 300 350

Таблица 2.22

Нормы бокового зазора (показатель – E_{wms} слагаемое 11)

Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr, мкм								
св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125	св125 до160	св160 До200
7	9	11	14	18	22	25	35	45
$- E_{wms} = - (E_{wms}1 + E_{wms}11)$								

Наибольшее уменьшение длины общей нормали определяется по зависимости:

$$E_{wmi} = |E_{wms}| + T_{wm},$$

где T_{wm} – допуск на среднюю длину общей нормали, принимается по табл. 18 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.23 методических указаний) в зависимости от допуска на радиальное биение зубчатого венца и вида допуска на боковой зазор.

Таблица 2.23

T_{wm}– допуск на среднюю длину общей нормали, мкм

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr, мкм						
		св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125
H, E	h	22	25	25	28	30	40	55
D	d	35	40	40	40	60	70	80
C	c	45	50	60	70	90	110	120
B	b	55	60	70	100	100	120	140
A	a	80	90	100	110	140	150	180

Для зубчатых колес внешнего зацепления отклонения принимаются со знаком «минус», т.е. в тело колеса:

$$W^{-Ewms}_{-Ewmi}$$

2.4.4. Исполнительный размер толщины зуба по постоянной хорде определяется в следующей последовательности.

Номинальный размер постоянной хорды для цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями определяют по зависимости, мм

$$\overline{S_c} = 1{,}387 \cdot m,$$

где m – модуль зубчатого колеса, мм.

Установочная высота постоянной хорды определяется по зависимости, мм

$$\overline{h_c} = 0{,}7476 \cdot m.$$

Наименьшее уменьшение постоянной хорды E_{cs} принимается в табл. 20 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.24 методических указаний) по размеру делительного диаметра и виду бокового зазора.

Таблица 2.24

Нормы бокового зазора (показатель – E_{cs})

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	делительный диаметр d, мм					
		до 80	св 80 до 125	св 125 до 180	св 180 до 250	св 250 до 315	св 315 до 400
		мкм					
D	3 – 6	35	40	45	55	60	60
	7	35	45	50	60	70	70
	8	40	50	60	70	70	80
C	3 – 6	55	60	70	80	90	100
	7	60	70	80	90	100	120
	8	70	80	90	100	120	140
	9	70	90	100	120	140	140
B	3 – 6	90	100	120	140	160	160
	7	100	120	140	140	180	180
	8	100	120	140	160	180	200
	9	120	140	160	180	200	220
A	3 – 6	140	160	180	200	250	250
	7	150	180	200	220	250	300
	8	160	200	220	250	300	350
	9	180	200	250	300	300	350

Наибольшее уменьшение постоянной хорды принимается из условия

$$E_{ci} = |E_{cs}| + T_c,$$

где T_c – допуск на постоянную хорду, принимается по табл. 21 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.25 методических указаний) с учетом допусков на радиальное биение зубчатого венца и виду допуска на боковой зазор.

Таблица 2.25

T_c– допуск на толщину зуба, мкм

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr						
		св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125
H, E	h	40	45	50	70	70	90	100
D	d	50	60	70	70	110	120	140
C	c	70	70	90	100	140	160	180
B	b	70	90	100	140	140	180	220
A	a	100	120	140	140	180	220	250

Для цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления предельные отклонения принимают в тело колеса, т.е. отклонения принимают минусовое значение:

$$\overline{S}_{c}^{-Ecs}_{-Eci}$$

Все полученные данные сводятся в таблицу 2. 26 .

Таблица 2.26

Исполнительные размеры параметров

Обозначение параметра	Размер, мм	Обозначение параметра	Размер, мм
E_{HS}		F_r	
T_H		E_{CS}	
E_{HI}		T_C	
$E_{wms}1$		E_{CI}	
$E_{wms}11$		S	
T_{wm}		h_C	
E_{wmi}			
W			

2.5. Решение размерных цепей

Решение размерной цепи студенты выполняют при анализе размеров конкретной детали.

Студенту выдается чертеж ступенчатого валика или втулки с заданной последовательностью обработки.

В задаче требуется определить исполнительный размер одного из составляющих звеньев.

Работа выполняется в следующей последовательности.

2.5.1. Ознакомиться с определениями по размерным цепям, пользуясь конспектом лекций или учебной литературой

2.5.2. Построить схему размерной цепи.

2.5.3. Выявить замыкающее звено в размерной цепи.

2.5.4. Установить, какие составляющие звенья будут относиться к увеличивающим, а какие - к уменьшающим звеньям.

2.5.5. Определить числовые отклонения для всех звеньев размерной цепи по ГОСТ 25347-82 СТ СЭВ 144^75).

2.5.6. Путем решения размерной цепи определить исполнительный размер для заданного звена размерной цепи, для чего:

I) Записать уравнение предельных отклонений замыкающего звена, при решении размерной цепи методом Максимума-Минимума:

$$\mathrm{E}_S A_\Delta = \sum_{j=1}^{k} E_S \vec{A}_j - \sum_{j=1}^{m} E_i \overleftarrow{A}_j$$

$$\mathrm{E}_i A_\Delta = \sum_{j=1}^{k} E_i \vec{A}_j - \sum_{j=1}^{m} E_s \overleftarrow{A}_j$$

2) Подставить известные значения в уравнения размерной цепи и найти отклонения для заданного размера.

Приложение

Варианты заданий для работы № 2

Расчет и выбор посадки с зазором

Вариант	**D, мм**	**L,** мм	**R**, н	**n** об/мин**.**	**Масло**	**t°**р
I	100	90	9000	1250	ИГП - 38	60
2	120	НО	6000	1800	И – 30А	60
3	140	100	18800	3000	ИГП - 72	60
4	120	85	10000	1200	ИГП - 49	60
5	170	150	18000	1250	И – 20А	50
6	40	60	17900	1950	И – 40А	50
7	32	50	8000	1600	И – 50А	65
8	70	60	17500	1950	И – 40А	50
9	92	85	12500	2500	И – 30А	60
10	50	45	4500	1250	И – 40А	60
11	50	50	7200	1500	И – 50А	65
12	180	160	18600	1250	И – 25А	50
13	125	65	13000	1450	ИГП - 49	60
14	150	120	25000	2250	И – 40А	70
15	130	150	15000	860	И – 30А	65
16	85	80	4800	2000	ИГП - 49	70
17	130	120	7000	1850	И – 25А	60
18	80	70	15000	1500	ИГП - 38	65
19	45	45	7200	2500	ИГП - 49	65
20	82	150	9500	'960	ИГП - 72	60
21	32	52	2500	3000	ИГП - 18	50
22	165	125	12000	1250	ИГП - 49	60
23	130	70	18000	2500	ИГП - 72	65
24	180	120	12000	1860	И – 50А	60
25	65	80	8500	2800	И – 40А	50

Расчет и выбор посадок с натягом

Номер варианта	D ,мм	d_1.мм	$d_{2,мм}$	ι ,мм	M_k,Н.М	P_0, Н	Материал	
							Вала	Корпуса
1.	35	30	50	35	12	500	Бронз-6-6-3	Сталь 20
2.	220	70	230	200	460	0	Сталь 30	Сталь 20
3.	100	90	130	100	0	6000	Сталь 20	Сталь 30
4.	40	20	60	60	320	0	Сталь 30	СЧ 21-40
5.	50	40	70	80	350	0	Сталь 20	Сталь 35
6.	110	100	130	120	200	1000	Сталь 30	Сталь 08
7.	120	100	140	130	400	0	Сталь 08	Сталь 30
8.	30	0	40	50	120	0	Сталь 40	Сталь 45
9.	180	170	210	180	300	700	Сталь 20	Сталь 35
10.	115	100	130	90	200	0	Сталь 08	Сталь 20
11.	95	80	**110**	100	700	1000	Сталь 20	Сталь 35
12.	140	130	180	120	460	0	Сталь 08	Сталь 30
13.	40	20	60	60	100	0	Сталь 35	Сталь 35
14.	200	100	220	110	0	1500	Бронз 6-6-3	Сталь 30
15.	130	120	150	140	270	0	Сталь 20	Сталь 30
16.	60	0	70	70	420	0	Сталь-45	Сталь 30
17.	200	100	220	300	450	600	Сталь 20	Сталь 30
18.	60	50	100	60	0	2000	Сталь 20	Сталь 30
19.	100	90	120	60	320	0	СЧ 21	Сталь 20
20.	130	120	160	150	350	0	Сталь 20	Сталь 45
21.	60	50	100	60	150	0	Сталь 20	Сталь 30
22.	75	60	100	80	250	0	Сталь 08	СЧ 21-40
23.	90	0	100	140	900	0	Сталь 30	Сталь 40
24.	150	140	170	150	960	0	Сталь 20	Сталь 30
25.	170	150	180	250	280	1000	Сталь 30	Сталь 20

Расчет посадок для подшипников качения

Номер варианта	Номер подшипника	Класс	Рад. нагр. F, Н	Осев. нагр. F_a, Н	Характеристики нагрузки	Что вращается	D/D_k или d/a
1	80310	6	12000	0	С ударами	Корпус	0,4
2	7515	5	10000	0	Умеренная	Вал	0,4
3	60310	0	3800	0	С ударами	Вал	0,6
4	60306	4	5000	0	Умеренная	Корпуса	0,5
5	80312	6	4600	0	С ударами	Корпус	0,5
6	7220	5	20000	1000	С ударами	Вал	0,3
7	7214	4	13500	2000	Умеренная	Вал	0,7
8	46116	0	9500	1000	С ударами	Корпус	0,6
9	46114	6	14500	1500	Умеренная	Корпус	0,4
10	60306	5	10000	0	С ударами	Вал	0,3
11	80214	4	12000	0	С ударами	Корпус	0,5
12	7520	0	9600	1000	Умеренная	Вал	0,6
13	7314	6	3400	1800	С ударами	Корпус	0,7
14	46310	5	5750	500	Умеренная	Вал	0,6
15	3617	4	17000	150	С ударами	Корпус	0,8
16	7310	0	9500	500	Умеренная	Вал	0,5 ,,
17	7208	6	6500	200	С ударами	Вал	0,4
18	36206	5	3800	250	С ударами	Корпус	0,5
19	36307	4	5900	500	Умеренная	корпус	0,5
20	7515	5	8500	600	С ударами	Вал	0,4
21	60305	6	7500	0	С ударами	корпус	0,6
22	3618	0	12000	1200	Умеренная	Вал	0,5
23	46310	6	9600	400	С ударами	Вал	0,6
24	34209	5	7500	900	Умеренная	Корпус	0,4
25	7218	4	21600	1000	Умеренная	Корпус	0,6

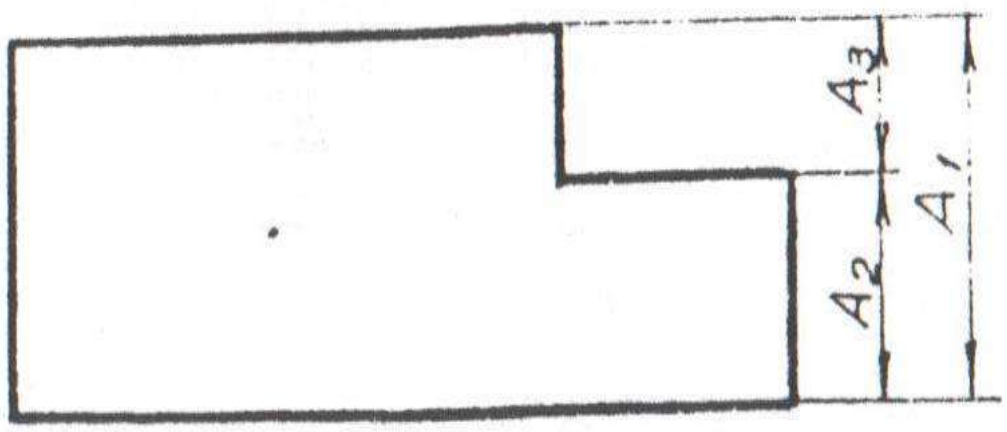
Определение элементов зубчатых колес

нс'ме вар.	Z	m	степени точности
1	36	2.5	6-7-7-С
2	28	3,0	7-6-6-В
3	30	3,5	8-В
4	40	4,0	8-7-7-Ва-
5	29	4,0	7-6-6 -В
6	32	5,0	7-В
7	56	3,0	6-7-7-Д
8	45	2,0	5-6-6-Д
9	42	2,5	7-6-6-С
10	25	3.0	8-7-7-Ва
11	28	3,5	8-В а
12	50	4,0	8-7-7-С
13	36	3,5	8-В
14	62	5,0	7-6-6-Ва
15	46	3,0	8-В
16	45	4,0	8-7-7-С
17	38	3,0	8-7-7-В
18	40	2,5	6-7-7-Д
19	35	2,0	6-7-7-С
20	22	4,0	8-В
21	34	3.5	7-6-6-Ва
22	32	4,0	8-В а
23	60	5,0	7-В
24	62	4,0	8-7-7-В а
25	58	2,0	8-А

Расчет размерных цепей

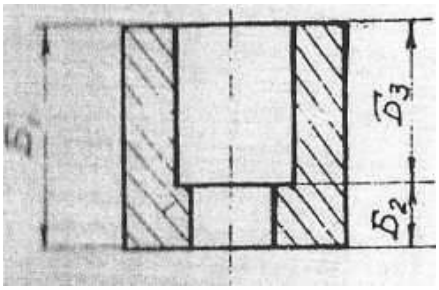
Задача № 1.

Определить исполнительный размер A_j *-го* звена, при заданной последовательности обработки.



Номер вар.	AI	A2	A3	Последовательность обработки	Определить размер
1	100 ℓ 11	40	60F9	A2 и A3	A2
6	120 d lo	75 js 12	45	A1 и A3	A3
11	80 f 9	50 js 11	30	A1 и A3	A3
I6	150 8	65	85BII	A1 и A2	A2
21	130	75 d 10	55AII	A1 и A2	AI

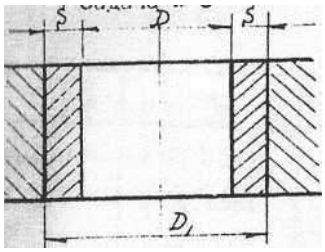
Задача № 2



Конструктор задал размеры $Б_I$ и $Б_2$, технологу удобнее обрабатывать в последовательности $Б_I$ :: $Б_3$. Определить исполнительный размер $Б_3$ из условия, чтобы после обработки детали размеры $Б_1$ и $Б_2$ соответствовали заданным конструктором.

Номер вар.	$Б_I$	$Б_2$	Номер вар.	$Б_I$	$Б_2$
2	100 d 8	20 js 11	57	115 d 8	25 js 12
7	95 e 9	15 B 12	62	120 e 7	20 d 11
12	120 f 8	30 c 11	67	100 h 6	25 l 12
17	145 d 8	35 l 11	72	145 js 6	30 a 11
22	85 h 7	15 B 12	77	150 d 8	25 js 11

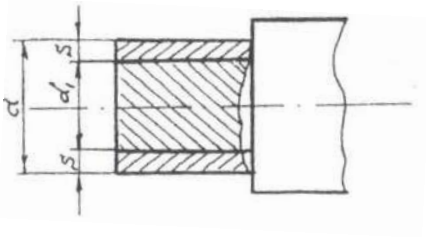
Задача № 3



Определить исполнительный размер отверстия D_1 до покрытия слоем металла, если после электрогальванического покрытия слоем S_i на сторону, отверстие должно иметь размер D.

Номер вар.	D	S	Номер вар.	D	S
3	140 D 10	$0^{+0.06}_{+0.03}$	58	130 B 11	$0^{+0.10}_{+0.07}$
8	125 E 9	$0^{+0.05}_{+0.03}$	63	100 A 11	$0^{+0.15}_{+0.12}$
13	80 js 11	$0^{+0.09}_{+0.05}$	68	56 D 11	$0^{+0.10}_{+0.97}$
18	75 D 11	$0^{+0.15}_{+0.13}$	73	115 E 9	$0^{+0.120}_{+0.105}$
23	185 D 10	$0^{+0.12}_{+0.09}$	78	125 B 11	$0^{+0.110}_{+0.070}$

Задача № 4.

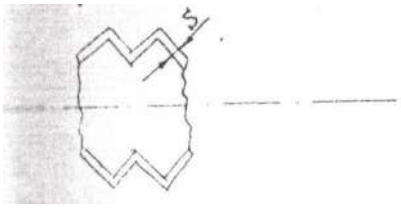


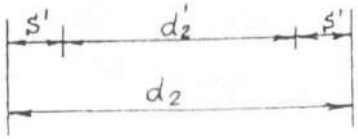
Определить исполнительный размер вара d_1 до нанесения слоя металла, если после нанесения электрогальваническим способом слоя S_j на сторону, вал должен иметь размер d.

Номер вар.	d	S	Номер вар.	d	S
4	75 d 10	$0^{+0.10}_{+0.08}$	59	130 d 11	$0^{+0.11}_{+0.07}$
9	65 f 9	$0^{+0.075}_{+0.060}$	64	125 c 11	$0^{+0.16}_{+0.12}$
14	182 d 11	$0^{+0.15}_{+0.12}$	69	100 *l* 12	$0^{+0.15}_{+0.10}$
19	120 *l* 11	$0^{+0.16}_{+0.12}$	74	72 d 11	$0^{+0.08}_{+0.05}$
24	95 d 10	$0^{+0.06}_{+0.04}$	79	76 *l* 11	$0^{+0.12}_{+0.09}$

Задача № 5

Определить размер диаметра $d`_2$ до покрытия защитным слоем, если при гальваническом покрытии наносится слой металла S на сторону и после покрытия резьба должна иметь d_2





Номер вар.	Резьба после металлизации	S	Номер вар.	Резьба после металлизации	S
5	М20х1,5-6g	$0^{+0.05}_{+0.02}$	60	М36х2-8g	$0^{+0.10}_{+0.06}$
10	М16х1,5-8g	$0^{+0.07}_{+0.03}$	65	М36-8g	$0^{+0.12}_{+0.07}$
15	М12-8g	$0^{+0.06}_{+0.03}$	70	М27х1,5-6d	$0^{+0.08}_{+0.04}$
20	М10-8g	$0^{+0.08}_{+0.05}$	75	27х1,5-8g	$0^{+0.12}_{+0.08}$
25	М16х1,5-6g	$0^{+0.07}_{+0.05}$	80	М18х1,5-6а	$0^{+0.08}_{+0.05}$

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО

Автор: Новикова Н.А.

Одобрена на заседании кафедры

Эксплуатации горного оборудования
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Симисинов Д.И.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 7 от 04.06.2018
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией Факультета ГМФ

_____
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

В.П.Барановский
(Фамилия И.О.)

Протокол № 10 от20.06.2018
(Дата)

Екатеринбург
2018

ВВЕДЕНИЕ

В курсе «Метрология, стандартизация и сертификация» студенты дневного обучения факультета выполняют лабораторные работы в объеме 10 часов.

Лабораторные работы выполняются по техническим измерениям.

1. Измерение размеров деталей штангенинструментами – 2 часа.
2. Измерение размеров детали микрометрическими инструментами- 2 часа.
3. Измерение размеров деталей при помощи концевых мер длины и рычажно-зубчатыми приборами – 2 часа.
4. Контроль зубчатых колес - 4 часа.

Студенты заочного обучения выполняют вместо первых трех работ одну комплексную работу (контроль размеров поршня) - 4 часа; контроль зубчатых колес.-2 часа.

Все отчеты выполняются на стандартных бланках, мягким графическим карандашом. На каждую работу выдается готовый отпечатанный бланк, поэтому в данной методической разработке форма отчетов не приводится.

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ

Цель: Ознакомиться с конструкциями нониуса штангенинструментов и получить навык измерения штангенинструментами.

Для выполнения работы студенту выдается: штангенциркуль модели ШЩ-П, штангенрейсмус, штангенглубометр, деталь для измерения, ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75), РДМУ98-77, чертеж детали.

Задание 1. Ознакомиться с конструкцией штангенциркуля, штангенглубоме-ра и штангенрейсмуса; паспортные данные приборов занести в табл.1.1 отчета.

Задание 2. Измерить размеры заданной детали. Наружные размеры d_1 и d_2 измерять в трех сечениях (1, 2, 3, см. рис.1) и в двух взаимно перпендикуляр-ных направлениях (1-1 и 2-2).

Диаметры отверстий D_1 и D_2 измерять по два раза (в направлении 1-1 и 2-2) с одного торца и аналогично с другого торца детали.

Длину детали и длину уступов измеряют по четыре раза через $90°$. Длину детали измеряют с помощью штангенрейсмуса, установив деталь и рейсмус на поверочную плиту, размеры уступов измерять штангенглубомером.

Результаты измерений детали занести в таблицу 1.2 отчета.

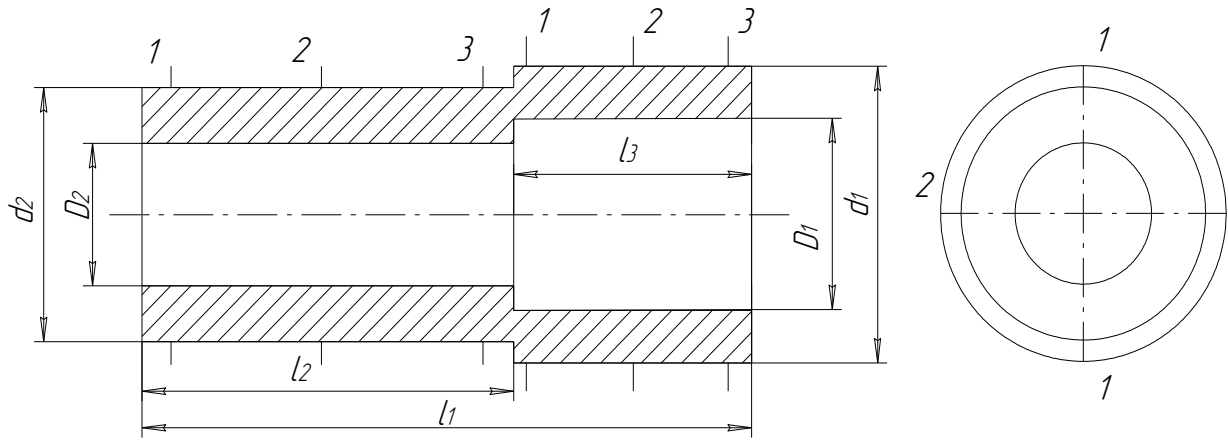


Рис. 1. Схема измерения

Задание 3. Дать заключение о годности детали по каждому размеру, для чего:

а) по чертежу детали выписать условные обозначения полей допусков для каждого размера;

б) в таблицах по ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75) для каждого поля допуска выписать числовые отклонения и определить предельно допустимые размеры;

в) выполнить анализ годности по каждому размеру. Если измеренные размеры окажутся меньше наименьшего допустимого, то находят разницу между наименьшим допустимым размером и наименьшим размером, полученным при измерении и в отчете указывают «Размер занижен на … мм ».

Если измеренные размеры окажутся больше допустимого размера, то вычисляется разница между наибольшим измеренным и наибольшим допустимым размером и в отчете указать «Размер завыщен на… мм»

При защите лаб. работы № 1 студент должен знать:

1. Как устроен нониус.
2. Как установить заданный размер на штангенциркуле.
3. Показать, как производились измерения наружных и внутренних поверхностей.
4. Уметь анализировать погрешности формы размеров деталей, полученных при измерении.

Таблица 1

Номинальные размеры деталей

Номер детали	d_1	d_2	D_1	D_2	l_1		L_3
1	50*a*11	40*js*12	40*c*11	26*B*11	74*h*12	42*Js*12	26*Js*12
2	40*b*12	35*a*11	28*B*12	25*C*11	90*h*11	56*H*12	32*H*12
3	38*d*11	32*b*12	28*Js*12	20*B*12	74*h*12	35*Js*12	26*H*12
4	44*b*11	40*h*12	35*B*12	28*A*11	80*h*12	50*H*12	24*Js*12
5	50*c*11	40*b*12	40*A*11	25*B*12	75*h*14	42*H*14	29*Js*14
6	68*b*12	50*b*11	56*A*11	*42B12*	85*h*14	45*H*14	30*Js*14
7	45*a*11	38*b*11	35*C*11	28*B*12	80*h*14	50*H*14	25*Js*14
8	42*d*11	34*a*11	32*B*12	25*Js*12	96*h*12	50*H*12	35*H*14
9	62*d*11	55*b*11	50*H*12	42*B*12	100*h*11	60*H*12	35*Js*14
10	38*b*12	32*c*11	36*B*11	22*A*11	72*h*14	35*H*14	26*H*14
11	38*d*11	32*c*11	28*B*11	20*A*11	70*h*14	30*H*14	26*H*14
12	38*b*12	32*b*12	16*H*12	12*H*12	80*h*14	35*H*14	35*H*14
13	40*h*12	30*b*12	26*A*11	20*H*12	58*h*14	38*H*14	14*H*14
14	60*d*11	50*c*11	46*H*12	35*H*11	80*h*12	40*H*12	32*H*14
15							
16	60*b*12	54*b*11	50*H*12	42*H*12	82*h*12	50*H*12	22*H*12
17	48*d*11	40*c*11	36*H*12	30*H*12	100*h*14	50*H*14	40*H*14
18	48*b*12	38*a*11	36*B*12	30*A*11	100*h*12	50*h*12	48*h*12
19	44*b*12	40*d*11	36*B*12	26*B*12	100*h*14	50*H*14	34*Js*12
20	48*a*11	45*b*11	40*B*12	36*A*11	75*h*14	43*H*14	20*H*14

21	50*c*11	36*d*11	38*H*12	25*A*11	75*h*12	32*H*14	30*H*14
22	40*d*11	36*h*12	35*H*11	26*B*12	100*h*14	58*H*12	38*H*12
23	50*a*11	38*d*11	35*A*11	32*B*12	70*h*14	34*H*12	35*H*14
24	48*b*12	42*c*11	40*B*12	32*A*11	72*h*12	42*H*14	22*H*14
25	48*d*11	42*h*12	40*D*11	32*B*12	72*h*12	42*H*12	22*H*14
26	48*a*11	38*b*12	36*H*12	28*A*11	64*h*14	32*H*14	30*H*14
27	46*b*12	38*h*11	34*H*12	26*H*11	80*h*14	55*H*14	20*H*14
28	42*c*11	38*a*11	32*B*12	26A11	88*h*12	46*H*14	35*H*14
29	45*b*12	38*d*11	35*H*12	28*H*12	80*h*12	40*H*14	36*H*14
30	42*d*11	38*h*12	35*H*11	28*B*12	90*h*12	48*H*12	36*H*14
31	48*a*11	40d11	34*A*11	28*D*11	85*h*14	45*H*14	30*H*14
32	48*d*11	40*a*11	36*B*12	28*C*11	75*h*14	50*H*14	25*H*14
33	46*b*11	38*d*11	35*D*11	30*B*12	74*h*14	36*H*14	30*H*14
34	45*b*12	40*d*11	36*B*12	30*D*11	60*h*12	25*H*12	26*H*14
35	32*c*11	26*b*12	24*A*11	20*D*11	75*h*12	36*H*14	40*H*14

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Цель: Ознакомится с конструкцией микрометрических измерительных приборов и приобрести навык измерения гладким микрометром и микрометрическим нутромером.

Для выполнения работы выдаются: гладкий микрометр нужного предела измерения, микрометрический нутромер, РДМУ 98-77, ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75), чертеж деталей, подлежащих контролю.

Задание 1. Ознакомится с конструкцией гладкого микрометра, настроить прибор на нуль, занести паспортные данные прибора в табл. 2.1 отчета.

Задание 2. Измерить наружную цилиндрическую поверхность заданной детали, и результат измерений занести в табл. 2.2 отчета.

Измеряется одна цилиндрическая поверхность шесть раз: в трех сечениях (1, 2, 3) и в двух направлениях взаимно перпендикулярных (1-1 и 2-2) согласно схеме, указанной на рис 2, *а*.

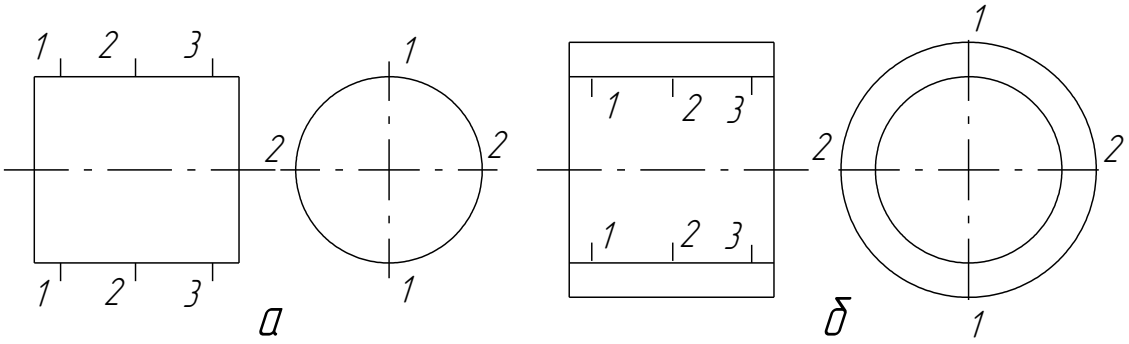


Рис.3. Схема измерения

Задание 3. Ознакомиться с устройством микрометрического нутромера, настроить прибор на нуль, занести паспортные данные в табл. 2 отчета.

Задание 4. Измерить микрометрическим нутромером одно отверстие у заданной детали, результаты измерения занести в табл. 2.3 отчета. Отверстие измерять в трех сечениях (1, 2, 3) и двух взаимно перпендикулярных направлениях (1-1 и 2-2) см. рис. 2, *б*. При измерении микрометрическим нутромером отверстия в графу "Отчет по микровинту" записывать только то, что прочтете на приборе, не прибавляя размера вставок и начального размера прибора.

Задание 5. Дать заключение о годности размеров, подвергающихся контролю, для чего:

а) согласно чертежа детали вписывают в таблицу отчета поля допусков на контролируемые размеры и в таблицах ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75) найти числовые предельные отклонения для каждого размера;

б) определить предельные размеры для поверхностей, подвергавшихся контролю;

в) дать заключение о годности по размеру, аналогично тому, как предусмотрено в лабораторной работе № 1.

г) определить действительные погрешности формы у поверхностей деталей, подвергшихся контролю.

При контроле размеров детали микрометрическими инструментами можно измерить только частные погрешности.

В поперечном сечении может иметь место овальность, а в продольном сечении- конусообразность, бочкообразность или седлообразность.

Для определения овальности необходимо сравнить размеры по отдельным сечениям (1, 2, 3) и где будет большая полуразность размеров, ту погрешность записывать в отчет.

Для определения погрешностей формы в продольном сечении необходимо сравнивать размеры, полученные в одном направлении (1-1 или 2-2). Если окажется, что размеры от сечения 1 к сечению 3 постепенно увеличиваются или уменьшаются, то в этом случае имеет место конусообразность, числовая величина которой получается как полуразность крайних размеров.

Если размеры в крайних сечениях будут меньше чем в среднем сечении, то имеем бочкообразность и в отчет записывать большую полуразность. Если

размеры в крайних сечениях окажутся меньше размера в среднем сечении, то в данном случае имеем седлообразность, в отчете записывать большую полуразность. Принять обозначения: овальности знаком - Δов, конусообразность - Δк, бочкообразность - Δб и седлообразность - Δс. Деталь считается годной по погрешностям формы, если погрешности не превышают половины допуска на размер детали.

При защите лаб. работы № 2 студент должен знать:

1. Как устроено отсчетное устройство микрометра или микрометрического устройства.
2 . Уметь настраивать микрометрические инструменты на нуль.
3. Правильно снимать размер по шкале микрометрических приборов.
4. Уметь определять погрешности формы цилиндрических деталей.

На рис. 4 представлен чертеж измеряемого поршня, а в таблицах 2 и 3 приведены номинальные и ремонтные размеры поршней.

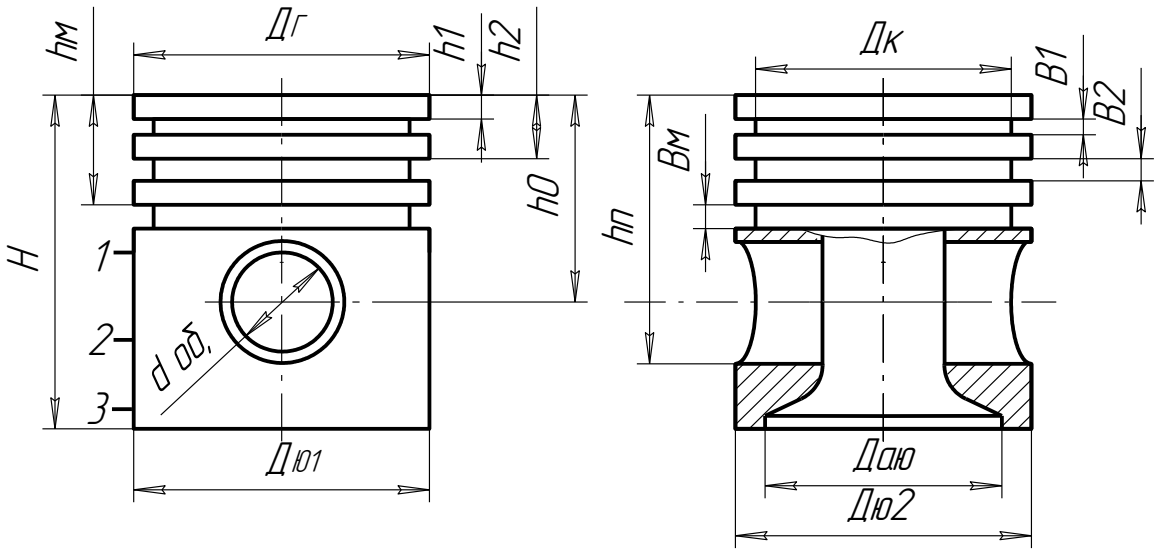


Рис.4. Чертеж поршня

Размер	Номинальный	Номинал ремонтного размера	Допуск формы или

Таблица 2

Номинальные и ремонтные размеры

Размер	Номинальный размер	Номинал ремонтного размера			Допуск формы или расположения
		1	2	3	
Дг	99,3*h*9	99,88	100,30	100,80	Овальн. 0,05 Конусн. 0,03
Дю1	100*js*8	100,50	101,00	101,50	Овальн. 0,12 Конусн. 0,01
Дю2	99,75*js*9	100,25	100,75	101,25	
Дою	93,8*H*8	94,30	94,80	95,30	Овальн. 0,5 *T*дою
Дк	89,0*h*11	89,50	90,00	90,50	Овальн. 0,5 *T*дк
Dоб	28*N*5				Овальн. 0,002 Конусн. 0,001
В1	2,0*D*9				Непараллельн. стенок 0,1
В2	2,0*D*9				
В3	2,0*D*9				
Вм	5,0*D*9				
Н	110*h*14				Непарал.: *Tн*
h1	11*js*12				Непарал.: *Th*
h2	19*js*12				
h3	25*js*12				
hм	31,5*js*12				
hо	52,5*js*10				Непараллельность 0,035/100
hп	76,5*js*10				
dп	28*h*5				Овальность 0,5 T*dn*
Поршень ЗИЛ–130					

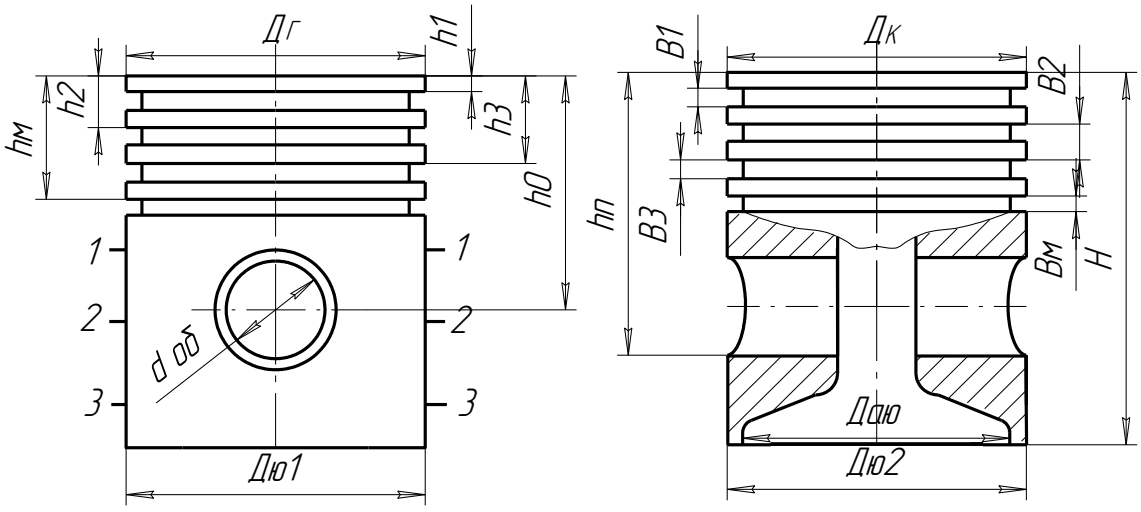


Рис.5. Чертеж поршня

		1	2	3	
Дг	101d9	101,4	101,9	102,4	Овальн. 0,05 Конусн. 0,10
Дю1	101,5js8	102,0	102,5	103,0	Овальн. 0,08
Дю2	101,3js9	101,85	102,35	102,85	Конусн. 0,03
Дою	94,5H8	94,5	94,5	94,5	Овальн. 0,5 Тдою
Дк	92h11	92,5	93,0	93,5	Овальн. 0,5 Тдк
доб	28N5				Овальн. 0,003 Конусн. 0,002
В1	3,0D9				Непараллельн. стенок 0,05
В2	3,0D9				
В3	3,0D9				
Вм	4,8D9				
Н	106h14				Непарал.: Тн
Н1	6,0js12				Непарал.: Th
Н2	12,0js12				
Н3	18,0js12				
hм	24,0js12				
ho	56js10				Непараллельность 0,05/100
hп	70js10				
dп	28h5				Овальность 0,5 Tdn
Поршень ЗИЛ–130					

Таблица 3

Лабораторная работа № 3

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ И РЫЧАЖНО-ЗУБЧАТЫХ ПРИБОРОВ

Цель: Ознакомиться с конструкцией концевых мер длины. Научиться измерять детали при помощи концевых мер длины и принадлежностей к ним.

Ознакомиться с конструкцией рычажной скобы, рычажного микрометра, индикатора часового типа, пружинной головкой, индикаторным нутромером и освоить технику измерения при помощи этих приборов.

Для выполнения работы студенту выдаются: набор концевых мер длины №1, принадлежности к концевым мерам, рычажный микрометр, рычажная ско-ба, пружинная головка со стойкой, нутромер индикаторный, ГОСТ 25347-82, РДМУ-98-77.

Задание 1. Освоить технику измерения размеров деталей при помощи концевых мер длины и принадлежностей к ним.

Задание 2. Ознакомиться с конструкцией измерительных головок, рычажно-го микрометра, рычажной скобы, настроить нужный прибор на нуль, занести паспортные данные в таблицу 3.3 отчета.

Задание 3. Измерить наружный диаметр заданной детали измерительной головкой, или рычажной скобой, или рычажным микрометром (выполнить

шесть замеров в трех сечениях и двух взаимно перпендикулярных направлениях, согласно рис.3, *а*). Результаты измерений занести в таблицу 3.4 отчета.

Задание 4. Ознакомление с устройством индикаторного нутромера, настроить нутромер на нуль и занести паспортные данные в таблицу 3.3 отчета.

Задание 5. Измерить индикаторным нутромером размеры отверстия в трех сечениях и двух взаимно перпендикулярных направлениях. Результаты измерений занести в табл. 3.5 отчета.

Задание 6. Дать заключение о годности по размеру и форме, аналогично, как это предусмотрено для лабораторных работ № 1 и № 2. Допуски формы принимать равными половине допуска на размер детали.

При защите лаб. работы № 3 студент должен уметь:

1. Настраивать на нуль рычажную скобу, рычажный микрометр, измерительные головки на универсальной стойке, индикаторный нутромер.
2. Правильно снимать отсчет по каждому из перечисленных приборов.
3. Определять погрешности формы по результатам измерений.

Лабораторная работа № 4

КОНТРОЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Цель: Ознакомиться с системой допусков и посадок цилиндрических зубчатых передач и методикой контроля параметров зубчатого колеса.

Для работы студенту выдается: цилиндрическое зубчатое некоррелированное колесо, штангенциркуль с ценой 0,05 мм, тангенциальный зубомер, штангензубомер, нормалемер, ГОСТ 1643-81 (СТ СЭВ 641-77), ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75).

Задание 1. Определить основные параметры некоррелированного зубчатого колеса и результаты занести в табл. 7.1 отчета.

1.1. Определить число зубьев зубчатого колеса, подлежащее контролю.

2.2. Измерить штангенциркулем наружный диаметр зубчатого венца $d_{ач}$ и диаметр впадин $d_{fч}$.

Примечание: При измерении зубчатого колеса с нечетным количеством зубьев необходимо полученную величину диаметра впадин разделить на поправочный коэффициент $\sin\varphi$, значение которого приведены в табл. 7.

Таблица 7

	$\sin\varphi$	z	$\sin\varphi$	z	$\sin\varphi$	z	$\sin\varphi$
11	0,98980	25	0,99800	39	0,99920	53	0,99956
13	0,99250	27	0,99825	41	0,99926	55	0,99958
15	0,99450	29	0,99850	43	0,99930	57	0,99962
17	0,99570	31	0,99870	45	0,99940	59	0,99966
19	0,99650	33	0,99890	47	0,99946	61	0,99967
21	0,99720	35	0,99904	49	0,99952	63	0,99968
23	0,99780	37	0,99908	51	0,99957	65	0,99969

1.3. Определить модуль зубчатого колеса по формуле, мм

$$m = \frac{d_{ач}}{z+2} \quad .$$

(11)

Полученную величину модуля округлить до стандартного из ряда: 2,0; 2,25; 2,5; 2,75; 3,0; 3,25; 3,5; 3,75; 4,0; 4,25; 4,75; 5,0; 5,25; 6,0; 7,0; 8,0.

1.4. Определить установленную высоту постоянной хорды h_c в следующей последовательности.

1.4.1. Определить номинальный наружный диаметр d_a по зависимости

$$d_a = z \cdot m + 2 \cdot m \quad .$$

(12)

1.4.2. Определить действительную погрешность измерительной базы

$$k = \frac{d_a - d_{ач}}{2} \quad .$$

(13)

1.4.3. Определить номинальную высоту до постоянной хорды. Для некоррегированного зубчатого колеса с углом зацепления $\alpha = 20\%$ определяют по зависимости

$$\bar{h}_c = 0{,}7476 \cdot m \quad .$$

(14)

1.4.4. Определить установочную высоту постоянной хорды с учетом погрешности базы

$$\bar{h}_{c'} = \bar{h}_c + k \quad .$$

(15)

1.5. Определить номинальный размер постоянной хорды. Для зубчатого колеса с углами зацепления $\alpha = 20\%$ размер постоянной хорды определяют по формуле

$$\bar{S}_c = 1{,}387 \cdot m \quad .$$

(16)

1.6. Определить номинальный размер длины общей нормали. Для некоррегированного зубчатого колеса выполненного с исходным контуром по ГОСТ 13755-81, длину общей нормали можно определить по зависимости, мм

$$W = m\,[1{,}476(z_w - 0{,}5) + 0{,}014z$$

(17)

где z_w- число зубьев в охвате мерителя, которое можно определить по зависимости

$$z_w = 0{,}111 \cdot z + 0{,}5 \ .$$

(18)

Полученную величину z_w округлить до целого числа по правилам округления.

1.7. Определить величину смещения исходного контура $E_{нч}$ для чего:

1.7.1. Определить номинальный диаметр окружности впадин по зависимости, мм

$$d_f = z \cdot m - 2{,}5 \cdot m \ .$$

(19)

1.7.2. Определить действительную величину смещения исходного контура по зависимости, мм

$$E_{нч} = \frac{d_{f2} - d_f}{2} \ . \qquad (20)$$

1.8. По заданию преподавателя принять степень точности для заданного зубчатого колеса.

1.9. По ГОСТ 1643-81 (СТ СЭВ 641-77) найти допуски для параметров характеризующих норму кинематической точности ($F_ч$ и F_{vw}), для нормы плавности (f_{pt}, f_{pb}), для нормы контакта (F_β).

1.10. Из таблицы 14 ГОСТ 1643-81 выписать для всех видов бокового зазора показатель $E_{нs}$ (наименьшее дополнительное смещение исходного контура).

Для зубчатых колес наружного зацепления показатель $E_{нS}$ (верхнее отклонение) записать в мм со знаком минус.

1.11. Из табл. 15 ГОСТ 1643-81 выписать допуск на дополнительное смещение исходного контура для всех видов бокового зазора. Допуск T_H находить по допуску на радиальное биение зубчатого венца $F_ч$ и записать в мм.

1.12. По величине наименьшего дополнительного смещения ($E_{нs}$) и допуску на смещение исходного контура определить наибольшее смещение исходного контура $E_{нi}$ по зависимости в мм.

$$E_{нs} = E_{HS} - T_H \ ,$$

(21)

где $E_{нs}$ - верхнее отклонение дополнительного смещения исходного контура с учетом знака;

T_H - допуск на смещение исходного контура.

1.13. Установить вид бокового зазора для заданного зубчатого колеса из условия

$$E_{HS} \geq E_{нч} \geq E_{ні} \ .$$

Если условие (22) будет обнаружено для нескольких видов бокового зазора, то следует принять тот боковой зазор, у которого среднее отклонение $E_{нт}$ будет ближе к $E_{нч}$.

Задание 2. Определить исполнительные размеры параметров зубчатого колеса, влияющих на норму бокового зазора.

2.1. Выписать допустимые смещения исходного контура ($E_{нS}$, T_H и $E_{ні}$) для выбранного сопряжения, согласно ГОСТ 1643-81.

2.2. Определить допустимые смещения исходного контура с учетом погрешности измерительной базы для чего:

2.2.1. По табл. 8 пособия определить квалитет для наружного диаметра зубчатого колеса, а по ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75) определить величину допуска T_a для заданного номинального диаметра и квалитета и записать в табл. Отчета в мм.

2.2.2. По табл. 8 пособия определить допуск радиального биения диаметра выступов F_a и торцевого биения F_T и занеси в таблицу отчета, мм.

2.2.3. Определить допустимое наименьшее смещение исходного контура с учетом погрешности базы по зависимости

$$E'_{HS} = \left|E_{HS}\right| + 0{,}35 \cdot F_a \ .$$

(23)

2.2.4. Определить допуск на смещение исходного контура с учетом погрешности базы по зависимости

$$T_{H'} = T_H - 0{,}5 \cdot T_a - 0{,}7 \cdot F_a \ .$$

(24)

Таблица 8

Допуски параметров заготовки зубчатых колес

Параметры	Степень точности зубчатого колеса							
	5	6	7	8	9	10	11	12
	Квалитеты по ГОСТ 25346-82							
Отверстие зубчатого колеса T_D	5	6	7	7	8	8	8	8
Опорные шейки вала T_d	5	5	6	6	7	7	8	8
Допуски диаметра наруж-ного цилиндра T_a по квали-тету	7	8	8	8	9	9	11	11
Допуски радиального бие-ния зубчатого венца F_a и торцевого биения F_T	0,016d+10		0,025d+15		0,04d+25			

Примечание: Для определения допуска радиального биения наружного диаметра F_a и допуска торцевого биения F_T подставляем размер делительного диаметра d в мм, а результат получается в микрометрах, например, для зубчатого колеса 7-й степени точности с делительным диаметром d=100мм допуск $F_a = F_T = 0{,}025 \cdot 100 + 15 = 17 мкм = 0{,}017 мм$

2.2.5. Определить наибольшее допустимое смещение исходного контура с учетом погрешности установочной базы по зависимости

$$E'_{Hi} = E'_{HS} - T'_H \quad .$$

(25)

2.3. Определить предельно допустимые размеры длины общей нормали для принятого вида бокового зазора.

2.3.1. В табл. 16 и 17 (ГОСТ 1643-81) выписать параметры E_{wms1} и E_{wms2} и подсчитать верхнее отклонение длины общей нормали. Для зубчатых колес наружного зацепления верхнее отклонение длины общей нормали E_{wms} записать со знаком минус.

2.3.2. В табл. 18 (ГОСТ 1643-81) выписать допуск на среднюю длину общей нормали. Допуск находят по виду допуска на боковой зазор и допуску реального биения зубчатого венца.

2.3.3. Определить нижнее отклонение на среднюю длину общей нормали E_{wmi} по зависимости:

$$E_{wmi} = E_{wms} - T_{wm} \quad .$$

(26)

2.3.4. Определить предельные размеры средней длины общей нормали по зависимости, мм

$$W_{\max} = W + E_{wms} \ ,$$

(27)

$$W_{\min} = W + E_{wmi} \ .$$

(28)

где W – номинальная длина общей нормали, полученная по формуле 17 в мм. E_{wms}, E_{wmi} - предельные отклонения общей длины общей нормали, мм. Для наружного зацепления со знаком минус.

2.4. Определить предельно допустимые размеры постоянной хорды для принятого вида бокового зазора.

2.4.1. В табл. 20 ГОСТ 1643-81 выписать верхние отклонения постоянной хорды E_{cs}, а в табл. 21 – допуск на постоянную хорду T_c

2.4.2. Определить наибольшее уменьшение постоянной хорды по зависимости

$$E_{ci} = E_{cs} - T_c \quad .$$

(29)

2.4.5. Определить предельно допустимые размеры толщины зуба по постоянной хорде по зависимости

$$\bar{S}_{c\max} = \bar{S}_c + E_{cs} \ , \quad (30)$$

$$\bar{S}_{c\min} = \bar{S}_c + E_{ci} \quad (31)$$

Задание 3. Измерить параметры зубчатого колеса, влияющие на норму бокового зазора и дать заключение.

3.1. Измерить длину общей нормали зубомерным инструментом.

3.1.1. По номинальной длине общей нормали выбрать микрометрический зубомер, настроить его на ноль, по установочной мере, если микрометр с пределом измерения более 25 мм.

3.1.2. Измерить длину общей нормали не менее 10 раз, охватывая при измерении число зубьев равное Z_w.

3.1.3. Подсчитать среднюю длину нормали, для чего сложить все результаты измерений и разделить сумму на количество измерений (W_m).

По средней длине общей нормали дать заключение о годности колеса по норме бокового зазора, для чего необходимо сравнить размер W_m с предельно допустимыми размерами длины нормали, полученными по формулам 27 и 28. Если результат измерений окажется меньше $W_{\min}$, то в заключении следует записать: «По норме бокового зазора по параметру W_m для сопряжения … зуб изношен (или занижен для нового колеса) на … мм». Если обнаружено условие
$W_{\min} \le W_m \le W_{\max}$, то в заключении следует сделать аналогичную запись, указать «Колеса находится в пределах допуска».

Если окажется, что $W_m > W_{\max}$, то в отчете следует сделать аналогично первому случаю запись и указать «Зуб завышен на … мм».

3.1.4. Определить колебания длины общей нормали F_{vwr} как разность между
наибольшим и наименьшим размерами длины общей нормали, полученных при измерении зубчатого колеса. В отчете выполнить заключение по норме кинематической точности из условия, если $F_{vwч} \ge F_{vw}$, то следует сделать запись: «Но норме кинематической точности, по параметру F_{vwr} зубчатое колесо выполнено грубее … степени», если $F_{vwr} \le F_{vw}$, то колесо считать соответствующим заданной степени точности.

3.2. Измерить смещение исходного контура тангенциальным зубомером и дать заключение о годности по норме бокового зазора.

3.2.1. Ознакомится с конструкцией тангенциального зубомера, подобрать установочный ролик в соответствии с модулем зубчатого колеса и настроить прибор на ноль. Для настройки прибора на ноль необходимо измерительные наконечники прибора установить так, чтобы губки измерительных наконечников касались установочного ролика своей серединой и в этом

положении зафиксировать измерительные наконечники. Установочный ролик уложить на призму, в гнездо прибора установить индикатор часового типа так, чтобы стрелка прибора сделала один оборот, а малая стрелка была бы на единице, в этом положении зафиксировать индикатор и шкалу установить на ноль.

3.2.2. Измерить три зуба под углом 120^0, если при измерении большая стрелка прибора перейдет за ноль, а малая стрелка перейдет за единицу, то такие отклонения записывать со знаком минус, например – 0,15 мм.

3.2.3. Дать заключение о годности зубчатого колеса. Подсчитать средний размер смещения исходного контура и сравнить $E_{нт}$ с предельно допустимыми смещениями исходного контура с учетом погрешности измерительной базы. Если $E'_{нs} \geq E_{нт} \geq E'_{нi}$, то в отчете записать: «По норме бокового зазора по параметру $E_{нч}$ для сопряжения …зуб находиться в пределах допуска». Если $E_{нт} \leq E_{нs}$, то в отчете делается аналогичная запись и в результате указывается: «Зуб изношен на … мм». Если $E_{нт} > E_{нs}$, то в отчете следует в заключении записать: «Зуб завышен на … мм».

3.3. Измерить толщину зуба по постоянной хорде штангензубомером.

Штангензубомером измерить также три зуба через 120^0., которые измерялись тангенциальным зубомером.

3.3.1. На высотной линейке штангензубомера установить высоту постоянной хорды с учетом погрешности измерительной базы, т. е. h'_c.

3.3.2. Установить высотную линейку на вершину зуба, измерительные губки довести до соприкосновения с боковыми поверхностями зуба и при помощи винта доводки выбрать зазор.

3.3.3. Определить средний размер толщины зуба по постоянной хорде S_{cm} и сравнить его с предельно допустимыми размерами постоянной хорды. Если $\overline{S}_{cm} < \overline{S}_{c\min}$, то в заключении следует записать: «По норме бокового зазора по параметру $\overline{S}_{cm}$ для сопряжения … зуб изношен (занижен) на … мм».

При $\overline{S}_{cm} > \overline{S}_{c\max}$, записать: «Зуб завышен на … мм».

Если $\overline{S}_{c\max} \geq \overline{S}_{cm} \geq \overline{S}_{c\min}$, то в отчете записать «Зуб находится в пределах допуска».

4. Оформить рабочий чертеж зубчатого колеса. Образец приведен на рис. 11

Рабочий чертеж зубчатого колеса оформляется в соответствии с ГОСТ 2.403-75 (СТ СЭВ 859-68).

Чертеж зубчатого колеса должен содержать изображение зубчатого колеса и таблицу параметров.

На изображении зубчатого колеса нанести размер посадочного отверстия с допуском, согласно табл. 8 настоящего пособия; диаметр выступов с допуском как для основного вала; ширину венца и ступицы с

допуском, шероховатость рабочих поверхностей зубьев, наружного диаметра, торцевых поверхностей ступицы и посадочного отверстия. Шероховатость поверхностей зубчатого колеса наносить согласно табл. 9 пособия; допуск торцевого биения ступицы и радиального биения наружного диаметра.

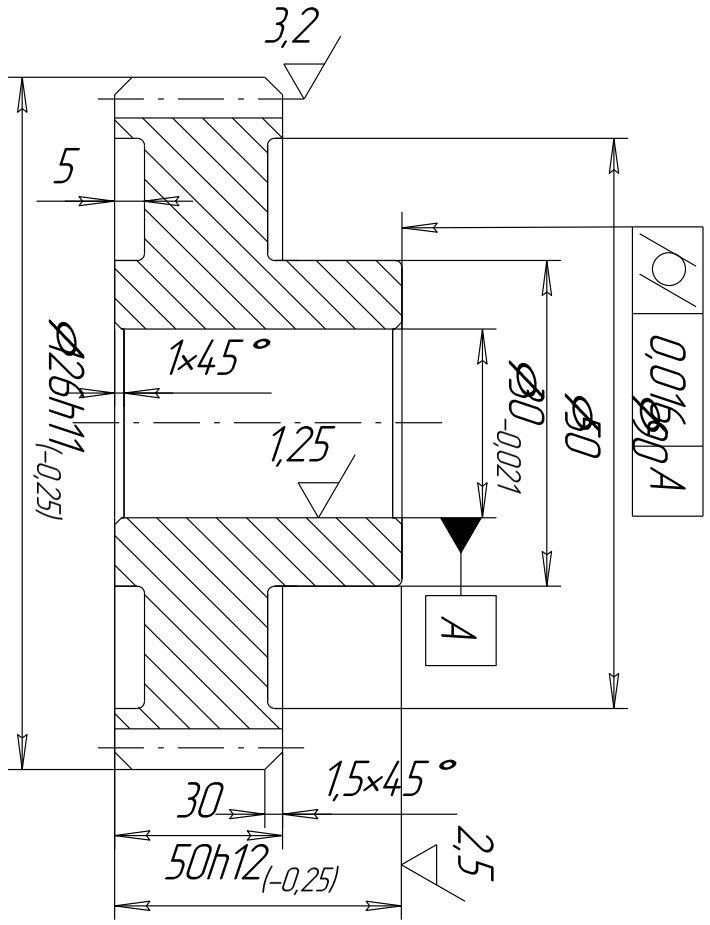
Таблица 9

Шероховатость поверхностей зубчатого колеса

Наименование поверхности	Степень точности колеса					
	5	6	7	8	9	10
	шероховатость R_a, мкм					
Рабочих поверхностей зубьев	0,63	0,63	1,25	3,2	6,3	6,3
Посадочных поверхностей отв./вал	$\frac{0,4}{0,2}$	$\frac{0,8}{0,4}$	$\frac{0,8}{0,4}$	$\frac{0,8}{0,4}$	$\frac{1,6}{0,8}$	$\frac{1,6}{0,8}$
Торцевые поверхности ступиц	1,6	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2
Диаметр ступиц	3,2	3,2	3,2	6,3	56,3	12,5

Допуск на наружный диаметр колеса назначать в зависимости и от того, что используется для контроля нормы бокового зазора у зубчатого колеса. Если наружный диаметр используется в качестве измерительной базы (контроль смещения исходного контура тангенциальным зубомером, постоянной хорды штангензубомером, окружного шага шагомером и т. д.), то в этом случае допуск на наружный диаметр и радиальное биение зубчатого венца назначать по табл. 8 настоящего пособия. Если наружный диаметр не используется в качестве измерительной базы (контроль длины нормали; контроль смещения исходного контура по роликам или межцентромером), то в этом случае допуск на наружный диаметр назначают не более $0,1m$ для зубчатых колес 5 - 8 степени, или $0,2m$ для зубчатых колес 9 - 12 степеней точности.

Рисунок 8



6,3

Модуль	m	3
Число зубьев	z	40
Угол наклоназубьев	β	0
Исходный контур		ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения исходного контура	X	0
Степень точности по ГОСТ		8-В
Длина общей нормали	W	32,678
Делительный диаметр	d	120

Неуказанные предельные отклонения размеров: H14; h14; $t_2/2$

Полученную величину допуска T_a округлять до стандартных по ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75) в меньшую сторону. Отклонение на наружный диаметр назначать как для основного вала: $h7$; $h8$; $h9$; $h10$; $h11$; $h12$; $h13$.

Допуск радиального биения назначать для диаметра, не используемого в качестве измерительной базы, не грубее $0{,}1m$.

Торцевое биение ступицы принимать по табл. 8. Допуск цилиндричности посадочного отверстия принимать не более $\frac{1}{3}T_D$ (допуска на размер отверстия). Допуск на ширину зубчатого венца для зубчатых колес 5 - 7 степеней принимать по $h11$, а для степеней точности 8 -12 - по $h12$.

Таблица параметров должна располагаться в правом верхнем углу чертежа и состоять из трех частей.

В первой части таблицы поместить основные данные, необходимые для изготовления зубчатого колеса: модуль m; число зубьев z; угол наклона зуба β; для косозубого колеса – направление зуба; исходный контур (по ГОСТ 13755-81), коэффициент смещения исходного контура χ(для некорригированных зубчатых колес $\chi = 0$); степень точности и вид бокового зазора.

Во второй части таблицы привести параметр, необходимый для контроля нормы бокового зазора, один из следующих: длина общей нормали с предельными отклонениями ($W^{-E_{wms}}_{-E_{wmi}}$); наибольшее (E_{HI}) и наименьшее (E_{HS}) смещение исходного контура; толщина зуба по постоянной хорде ($\bar{S}^{-Ecs}_{c-Eci}$) и установочная высота постоянной хорды $\bar{h}_C$; размер по ролика с предельными отклонениями (M^{-Ems}_{-Emi}).

В третьей части таблицы заносят справочные данные: делительный диаметр (d), шаг винтовой линии (P) и другие параметры, необходимые для контроля зубчатого колеса или настройки станка.

Литература к лаб. работе № 7

Ю.В.Димов Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 3-е изд.-СПб.: Питер,2010 -464 с.

Берков В. И. Технические измерения: Альбом. М.: Высшая школа, 1977. С. 152 - 159; 168 – 169.

Для защиты лаб. работы № 7 студент должен знать:

1. Как обозначаются степени и боковой зазор зубчатых колес?

2. Уметь определять исполнительные размеры длин общей нормали, постоянной хорды, предельные размеры смещения исходного контура.
3. Знать как назначается допуск на наружный диаметр.
4. Уметь измерять длину общей нормали, постоянную хорду, смещение исходного контура.
5. Учитывать погрешности измерительной базы, если в качестве измерительной базы используется нерабочая поверхность зубчатого колеса.
6. Уметь оформлять рабочий чертеж зубчатого колеса.

оглавление

Введение…….
Лабораторная работа №1……
Лабораторная работа №2……
Лабораторная работа №3……..
Лабораторная работа №4……

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Автор: Новикова Н.А.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией Факультета ГМФ
Эксплуатации горного оборудования	
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Симисинов Д.И.	В.П.Барановский
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 04.06.2018	Протокол №10 от20.06 .2018
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2018

Средства измерения и контроля

Классификация средств измерения и контроля

Средства измерения и контроля, применяемые в машиностроении, классифицируются по различным признакам: по типу и виду контролируемых физических величин; назначению — универсальные и специальные; числу проверяемых параметров при одной установке объекта измерения — одномерные и многомерные; степени механизации и автоматизации процесса измерений — ручного действия, механизированные, полуавтоматические, автоматические.

Классификация средств измерения и контроля по типу контролируемых физических величин представлена на рис.1, а по виду контролируемых физических величин — на рис. 2.

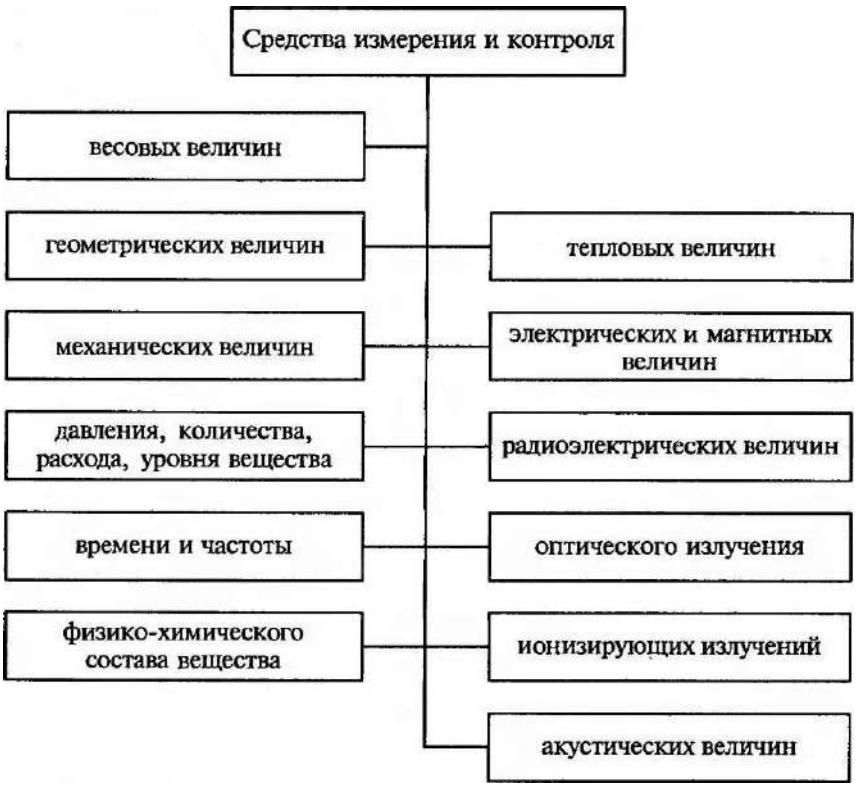


Рис. 1 Классификация средств измерения и контроля по типу физических величин

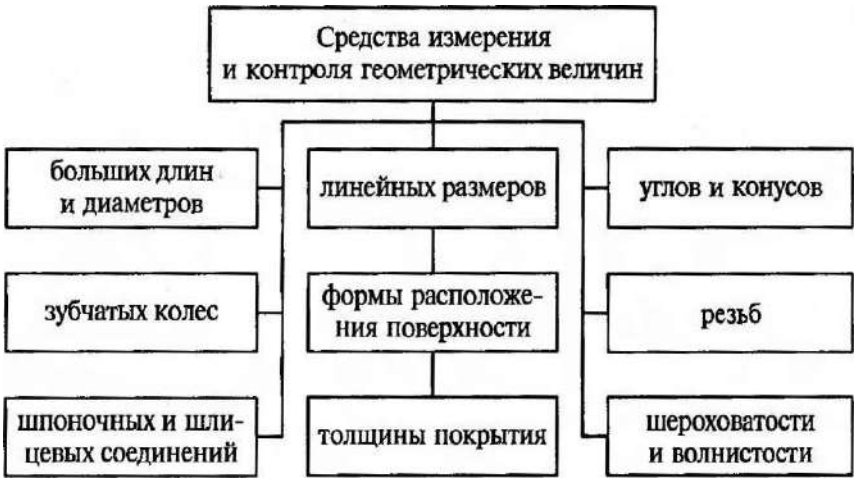


Рис. 2. Классификация средств измерения и
контроля по виду измеряемых

Универсальные измерительные инструменты и приборы нашли широкое применение в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также для определения численных величин и отклонений, отклонений от правильной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей (при отсутствии специальных приспособлений), при наладке станков, при особо ответственных измерениях во всех видах производств, включая массовое и крупносерийное.

Все средства измерения и контроля, применяемые для измерения линейных величин, можно разделить на контрольно-измерительные инструменты и измерительные приборы.

К первой группе относят:

- инструменты для контроля плоскостности и прямолинейности;

- плоскопараллельные концевые меры длины (плитки);

- штриховые инструменты, воспроизводящие любое кратное или дробное значение единицы измерения в пределах шкалы (штанген инструменты, угломеры с нониусом);

- микрометрические инструменты, основанные на действии винтовой пары (микрометры, микрометрические нутромеры и глубиномеры).

К группе измерительных приборов (вторая группа) относят:

- рычажно-механические (индикаторы, индикаторные нутромеры, рычажные скобы, миниметры);

- оптико-механические (оптиметры, инструментальные микроскопы, проекторы, интерферометры);

- электрические (профилометры и др.). Указанные выше измерительные средства являются точным, дорогостоящим инструментом, поэтому при пользовании им и хранении необходимо соблюдать правила, изложенные в соответствующих инструкциях.

Штангенинструменты

Штангенинструменты являются распространенными в машиностроении видами измерительного инструмента. Их применяют для измерения наружных и внутренних диаметров, длин, толщин, глубин и т. д.

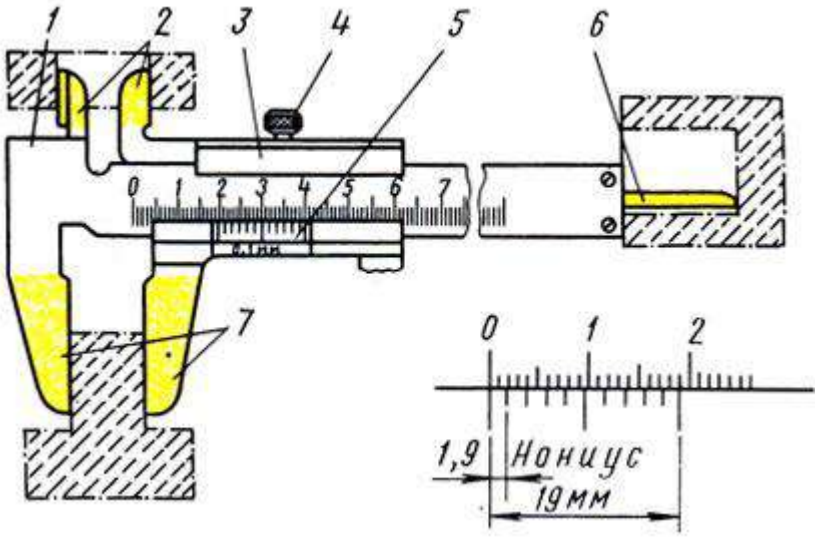


Рис. 3. Штангенциркуль ШЦ-I: 1 - штанга, 2,7 - губки, 3 - подвижная рамка, 4 - зажим, 5 - шкала нониуса, 6 - линейка глубиномера

Штангенциркули применяют трех типов: ШЦ-I, ШЦ-II и ШЦ-III. Штангенциркули изготовляют с пределами измерений 0-125 мм (ШЦ-1); 0-160 (ЩЦ-II); 0 - 400 (ШЦ-III) и с величиной отсчета 0,1 мм (ШЦ-I); 0,05 (ШЦ-II и ШЦ-III).

Штангенциркуль ШЦ-1 (рис. 3) применяют для измерения наружных, внутренних размеров и глубин с величиной отсчета по нониусу 0,1 мм. Штангенциркуль имеет штангу 1, на которой нанесена шкала с основными миллиметровыми делениями. На одном конце этой штанги имеются измерительные губки 2 и 7, а на другом конце линейка 6 для измерения глубин. По штанге перемещается подвижная рамка 3 с губками.

Рамку в процессе измерения закрепляют на штанге зажимом 4. Нижние губки 7 служат для измерения наружных размеров, а верхние 2 - для внутренних размеров. На скошенной грани рамки 3 нанесена шкала 5 с дробными делениями, называемая нониусом. Нониус предназначен для определения дробной величины цены деления штанги, т. е. для определения доли миллиметра. Шкала нониуса длиной 19 мм разделена на 10 равных частей; следовательно, каждое деление нониуса равно 19 : 10 = 1,9 мм, т. е. оно короче расстояния между каждыми двумя делениями, нанесенными на шкалу штанги, на 0,1 мм (2,0 - 1,9 = 0,1). При сомкнутых губках начальное деление нониуса совпадает с нулевым штрихом шкалы штангенциркуля, а последний - 10-й штрих нониуса - с 19-м штрихом шкалы.

При измерении губки 7 должны прилегать друг к другу без просветов. Перед измерением при сомкнутых губках нулевые штрихи нониуса и штанги должны совпадать. При отсутствии просвета между губками для наружных измерений или при небольшом просвете (до 0,012 мм) должны совпадать нулевые штрихи нониуса и штанги. При измерении деталь берут в левую руку, которая должна находиться за губками и захватывать деталь недалеко от губок (рис. 4, а). Правая рука должна поддерживать штангу, при этом большим пальцем этой руки перемещают рамку до соприкосновения с проверяемой поверхностью, не допуская перекоса губок и добиваясь нормального измерительного усилия.

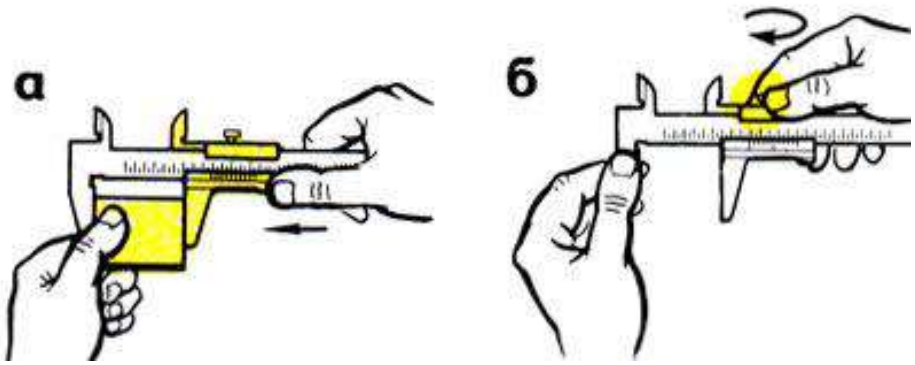


Рис. 4. Приемы измерения: а - установка инструмента на деталь, б - закрепление рамки

Рамку закрепляют зажимом большим и указательным пальцами правой руки, поддерживая штангу остальными пальцами этой руки; левая рука при этом должна поддерживать нижнюю губку штанги

(рис. 4, б). При чтении показаний штангенциркуль держат прямо перед глазами (рис. 5, а). Целое число миллиметров отсчитывают по шкале штанги слева направо нулевым штрихом нониуса. Дробная величина (количество десятых долей миллиметра) определяется умножением величины отсчета (0,1 мм) на порядковый номер штриха нониуса, не считая нулевого, совпадающего со штрихом штанги. Примеры отсчета показаны на рис. 5 б.

Штангенциркуль ШЦ-II (рис. 6, а) с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм предназначен для наружных и внутренних измерений и разметки. Это инструмент высокой точности. Верхние губки штангенциркуля заострены и используются для разметочных работ.

Для точной установки подвижной рамки относительно штанги штангенциркуль снабжен микрометрической подачей (винт и гайка).

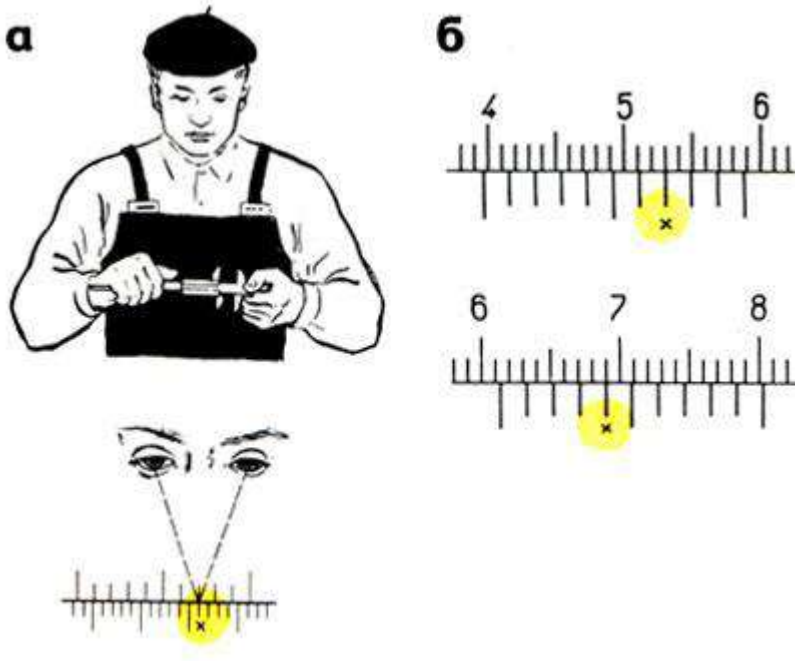


Рис. 5. Чтение показаний штангенциркуля: а - положение глаз, б - примеры отсчета размера: 39 + 0,1 × 7 = 39,7; 61 + 0,1 × 4 = 61,4

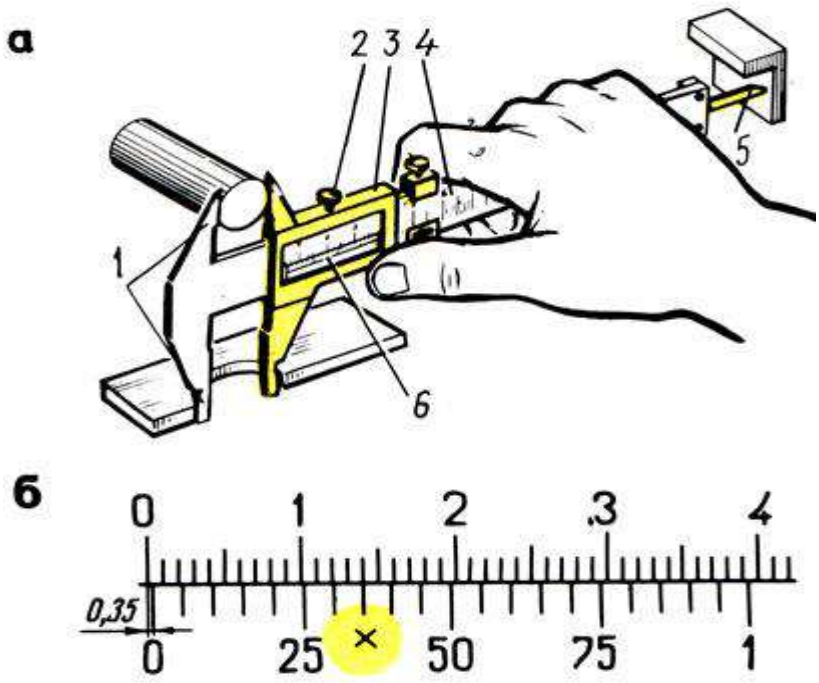


Рис. 6. Штангенциркуль ШЦ-11: а - устройство, б - пример отсчета,1 - губки, 2 - зажимы, 3 - рамка, 4 - штанга (0,05 × 7 = 0,35); 5 - глубиномер, 6 - шкала нониуса

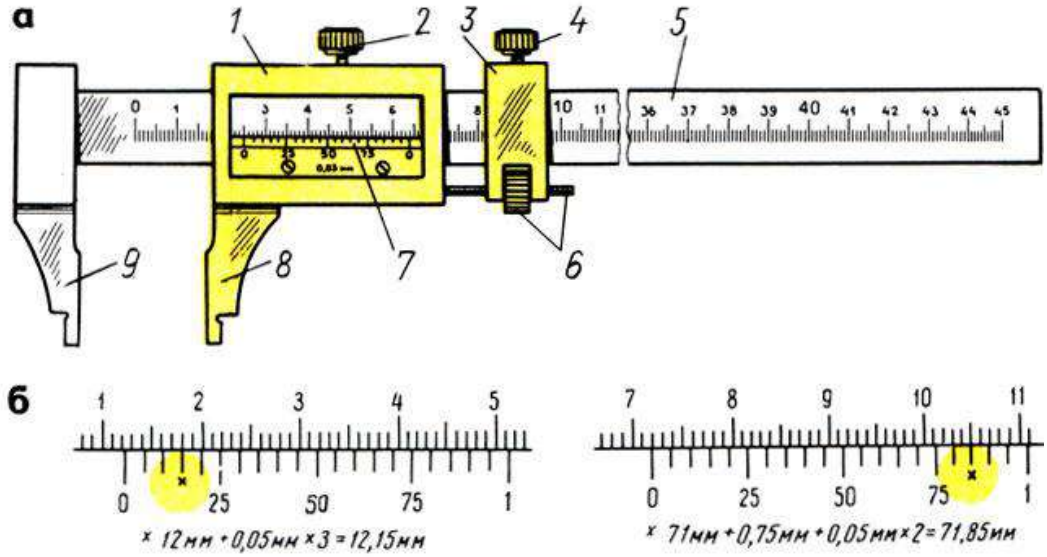


Рис. 7. Штангенциркуль ШЦ-III: а - устройство, б - примеры отсчета; 1 - подвижная рамка, 2 - зажим рамки, 3 - рамка микрометрической подачи, 4 - зажим рамки микрометрической подачи, 5 - штанга с делениями, 6 - микрометрическая подача, 7 - нониус, 8 - подвижная губка, 9 - неподвижная губка

Деления на штанге 4 нанесены через один миллиметр. Шкала нониуса 6 длиной 39 мм разделена на 20 равных частей. Следовательно, каждое деление нониуса равно 1,95 мм (39 : 20 =

1,95), т. е. короче расстояния между каждыми двумя делениями, нанесенными на шкале штанги, на 0,05 мм (2-1,95 = 0,05).

Перед измерением необходимо убедиться в совпадении нулевого штриха нониуса с нулевым штрихом штанги.

Для грубых измерений рамку 3 перемещают по штанге до плотного прилегания губок 7 к поверхности измеряемой детали и после закрепления зажимом 2 производят отсчёт. Для точной установки штангенциркуля и точных измерений пользуются микрометрической подачей.

На рис. 6, б показан пример определения доли миллиметра нониуса штангенциркуля с величиной отсчета 0,05 мм. Дробная величина 0,35 мм получена в результате умножения величины отсчета (0,05 мм) на порядковый номер штриха нониуса, т. е. седьмого (крестиком указан 7-й штрих нониуса), совпадающего со штрихом штанги, не считая нулевого деления: 0,05 мм × 7 = 0,35 мм. Для ускорения отсчета используют цифры нониуса 25, 50 и т.

д., обозначающие сотые доли миллиметра.

Штангенциркуль ШЦ-Ш (рис. 7, а) с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм предназначен для наружных и внутренних измерений. Этот штангенциркуль применяется реже.

Штангенциркуль ШЦ-III состоит из подвижной рамки 7, зажима 2 этой рамки, рамки микрометрической подачи 3, зажима рамки микрометрической подачи 4, штанги 5 с миллиметровыми делениями, гайки и винта микрометрической подачи 6, нониуса 7, подвижной измерительной губки 9 и неподвижной измерительной губки 9. Измерение и порядок отсчета выполняют так же, как и по штангенциркулю ШЦ-II (рис. 7, б).

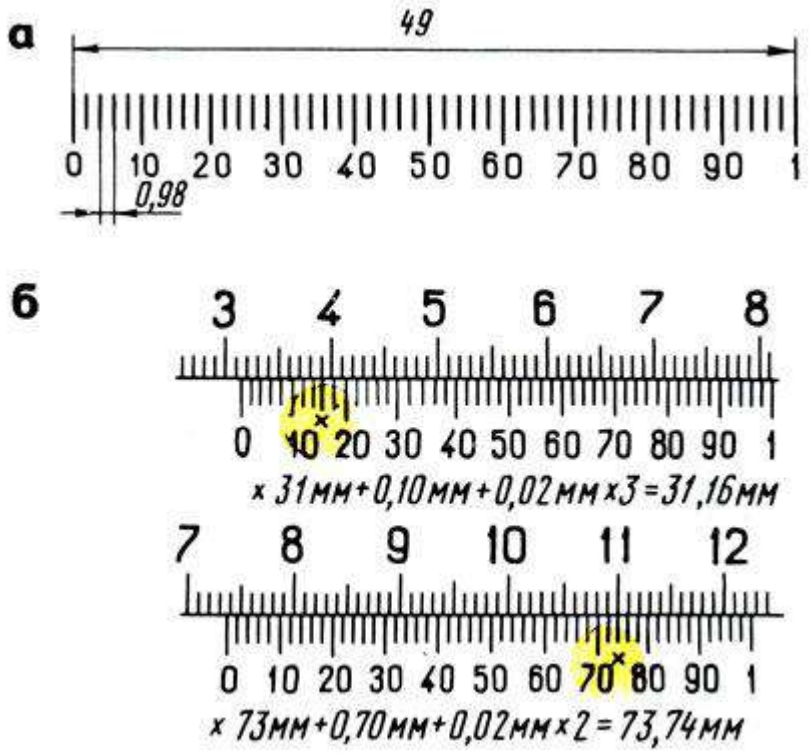


Рис. 8. Нониус штангенциркуля с величиной отсчета 0,02 мм (а), примеры отсчета (б)

Штангенциркули с величиной отсчета по нониусу 0,02 мм промышленностью не выпускаются, но на производстве еще их используют.

Нониус в этом штангенциркуле имеет длину 49 мм (рис. 8, а), разделен на 50 частей. Одно деление нониуса составляет: 49 : 50 = 0,98 мм, что на 0,02 мм меньше миллиметра. Устройство нониуса этого штангенциркуля показано на рис. 10, а, а примеры отсчета - на рис. 8, б. При измерении штангенциркулями внутренних размеров к показаниям штангенциркуля добавляется толщина губок, указанная на них.

Штангенглубиномер служит для измерения высот, глубины глухих отверстий, канавок, пазов, выступов. Штангенглубиномеры изготовляют с пределами измерений 0 - 250 (величина отсчета по нониусу 0,05 мм) и 0 - 500 мм (величина отсчета по нониусу 0,1 мм).

Штангенглубиномер (рис. 9, а) состоит из основания 9 с рамкой 8 и нониусом 1, зажима рамки 2, штанги 5 с миллиметровыми делениями, микрометрической подачи (винт 6 и гайка 7) и зажима 3. Измерительными поверхностями штангенглубиномера служит плоское основание 9 и торец 10 штанги.

Перед измерением штангенглубиномером проверяют нулевое положение инструмента. При соприкосновении измерительных поверхностей основания и штанги с плитой (рис. 9, в) или лекальной линейкой (рис. 9, б) нулевые штрихи нониуса и штанги должны совпадать.

При измерении основание 9 (рис.9, а) ставят на измеряемую поверхность (рис. 9,г) детали, от которой начинается измерение, и прижимают основание левой рукой к измеряемой поверхности, а правой рукой штангу 5 передвигают от упора в другую поверхность, до которой измеряют расстояние. В этом положении рамку 4 микрометрической подачи стопорят зажимом 3. Затем вращают гайку 7, после чего рамку 8 стопорят зажимом 2.

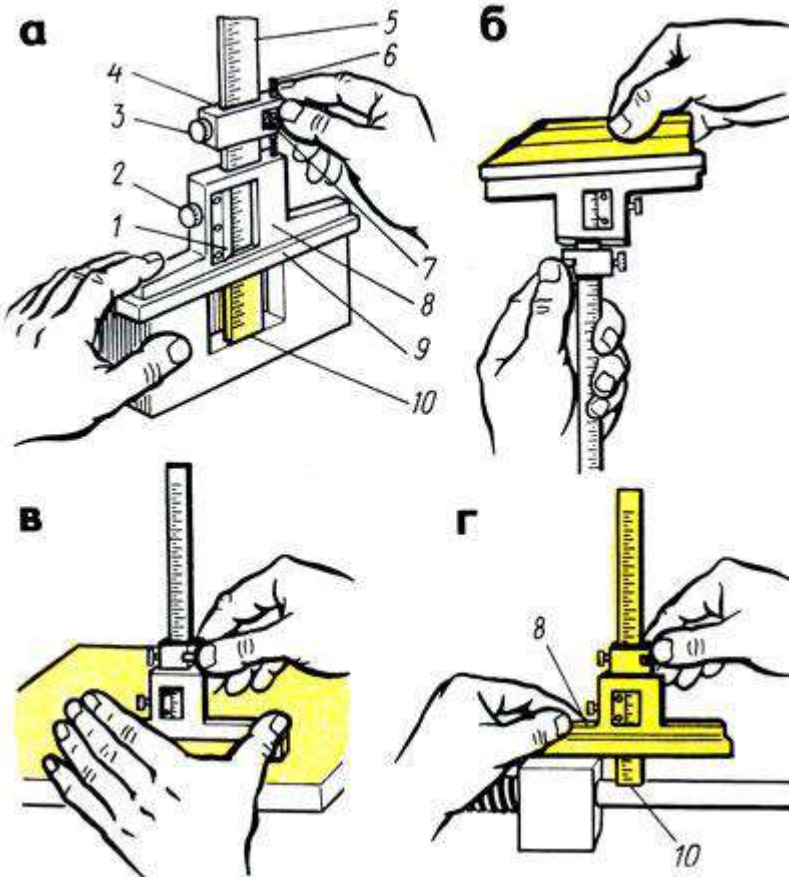


Рис. 9. Штангенглубиномер: а - устройство, б - проверка нулевого положения лекальной линейкой, в - проверка нулевого положения на плите, г - прием измерения; 1 - нониус, 2, 3 - зажимы, 4 - рамка микрометрической подачи, 5 - штанга, 6 - винт микроподачи, 7 - гайка, 8 - рамка, 9 - основание, 10 - торец штанги

Результат измерения отсчитывается так же, как и по штангенциркулю, - по основной шкале (целые миллиметры) и по нониусу 7 (дробные доли миллиметра).

В некоторых случаях для измерения труднодоступных мест применяют штанги с изогнутым концом.

Штангенрейсмасы предназначаются для измерения высот от плоских поверхностей и точной разметки.

Штангенрейсмас (рис. 10, а, б) состоит из основания 9 в котором жестко закреплена штанга 8 со шкалой; рамки 7 с нониусом 5 и стопорным винтом 6; устройства для микрометрической подачи 4, включающего движок, винт, гайку и стопорный винт; сменных ножек 7 для разметки с острием и для измерения высоты, с двумя измерительными поверхностями (нижней плоской и верхней в виде острых ребер шириной не более 0,2 мм); стопорного винта 2 для закрепления ножки 1 и державки 3 на выступе рамки 7 для игл различной длины.

Для проверки нулевого отсчета перед использованием штангенрейсмас устанавливают на поверочную плиту и рамку опускают вниз до соприкосновения измерительной поверхности ножки с плитой (рис. 11, а), при этом нулевой штрих шкалы нониуса должен совпадать с нулевым штрихом шкалы. Если штангенрейсмас имеет нижние пределы измерения выше 40 мм, то проверка производится установкой под ножку плоскопараллельных плиток (рис. 11, б). При отсутствии зазора между ножкой и плитой (или концевой мерой, равной нижнему пределу) нулевые штрихи нониуса и штанги должны совпасть.

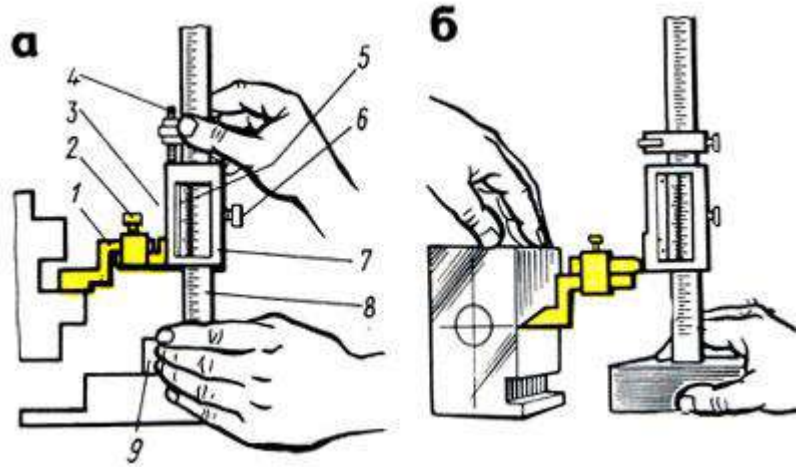


Рис. 10. Штангенрейсмас: а - прием измерения, б - прием разметки; 1 - сменные ножки для измерения, 2, 6 - стопорные винты, 3 - державка, 4 - микроподача, 5 - нониус, 7 - рамка, 8 - штанга, 9 - основание

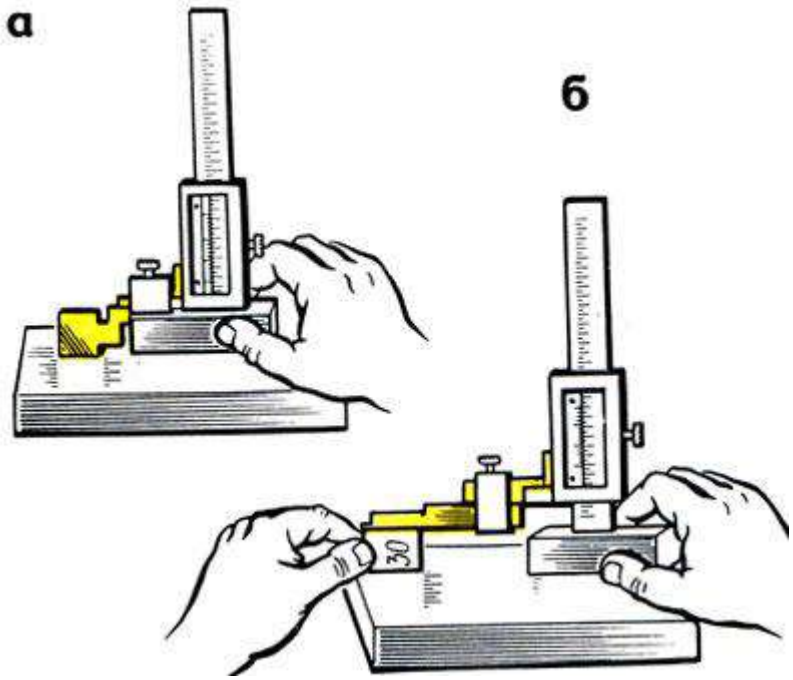


Рис. 11. Проверка нулевого положения штангенрейсмаса: а - на плите, б - при помощи плоскопараллельных концевых мер длины (плиток)

При измерении (см. рис. 10, а) левой рукой прижимают основание к плите и подводят ножку к проверяемой поверхности, затем правой рукой при помощи микрометрической подачи 4 доводят измерительную ножку до соприкосновения нижней части ножки с проверяемой поверхностью. При разметке (см. рис. 10, б) правой рукой устанавливают требуемый размер (высоту), слегка прижимают левой рукой основание к плите, перемещая штангенрейсмас относительно размечаемой детали. Острием ножки наносят риски.

Показания штангенрейсмаса читают так же, как и штангенциркуля. При измерении высоты верхней измерительной плоскостью необходимо к полученному размеру прибавить высоту ножек.

Микрометрические инструменты

Микрометр - прибор для измерения линейных размеров контактным способом. Изготовляют следующие типы микрометров:

МК - микрометры гладкие для измерения наружных размеров;

МЛ - микрометры листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент;

МТ - микрометры трубные для измерения толщины стенок труб;

МЗ - микрометры зубомерные для измерения зубчатых колес.

Микрометры типа МК выпускают с пределами: 0-5; 0-10; 0-15; 0-25; 25-50 50-75; 75-100; 100-125; 125-150; 150-175; 175-200; 200-225; 225-250 250-275; 275-300; 300-400; 400-500 500 - 600 мм.

Микрометры с верхним пределом измерений 50 мм и более снабжают установочными мерами (цилиндрические стержни, имеющие точную форму).

Микрометр (рис. 12, а) имеет скобу 1 с пяткой 2 на одном конце, втулку-стебель 5 на другом, внутрь которой ввернут микрометрический винт 3. Торцы пятки и микрометрического винта являются измерительными поверхностями. На наружной поверхности стебля проведена продольная линия, ниже которой нанесены миллиметровые деления, а выше ее - полумиллиметровые деления. Винт 3 жестко связан с барабаном 6, на конической части барабана нанесена шкала (нониус) с 50 делениями.

На головке микрометрического винта имеется устройство (трещотка) 7, обеспечивающее постоянное измерительное усилие. Трещотка соединена с винтом так, что при увеличении измерительного усилия свыше 900 гс она не вращает винт, а проворачивается. Для фиксирования полученного размера детали служит стопор 4. Шаг микрометрического винта 3 равен 0,5 мм (рис. 12, б). Так как на скосе барабан 6 по окружности разделен на 50 равных частей (рис. 12, в), то при повороте на одно деление барабана микрометрический винт 3, соединенный с барабаном 6, перемещается вдоль оси на 1/50 шага, т. е. 0,5 мм : 50 = 0,01 мм.

Перед измерением проверяют нулевое положение микрометра. При проверке микрометра с пределами измерения 0 - 25 мм

протирают замшей измерительные плоскости пятки и микрометрического винта, затем медленно сводят их до соприкосновения. Для этого медленно вращают трещотку 7, пока она не начнет проворачиваться, издавая характерный треск. Медленное вращение трещотки необходимо потому, что скорость вращения винта влияет на величину измерительного усилия.

При проверке микрометров с пределами измерения 25 - 50, 50 - 75 мм и т. д. между измерительными плоскостями микрометрического винта и пятки помещают либо установочную меру 8, либо мерительную плитку, соответствующую нижнему пределу измерения, т. е. 25, 50, 75 и т. д. Измерительные плоскости сближаются так же, как и у микрометров с пределом измерения 0 - 25 мм.

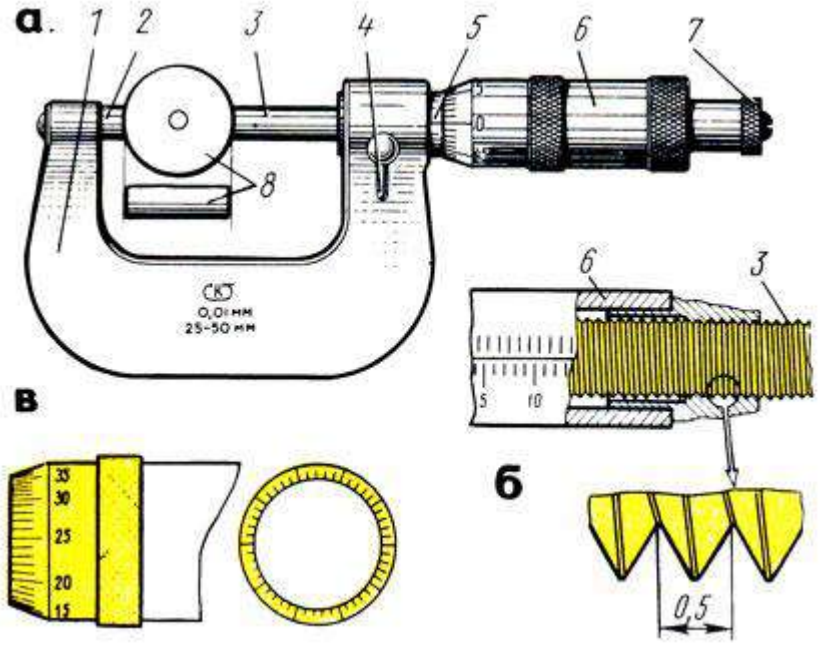


Рис. 12. Микрометр: а - устройство, б - микрометрический винт, в - барабан; 1 - скоба, 2 - пятка, 3 - винт, 4 - стопор, 5 - стебель, 6 - барабан, 7 - трещотка, 8 - установочные меры

Если при проверке окажется, что нулевое деление барабана 6 не совпадет с продольным штрихом на стебле 5, еще раз выполняют установку на нуль в таком порядке: закрепляют микровинт стопором; разъединяют барабан с микровинтом; устанавливают барабан и закрепляют его; проверяют нулевое положение.

Перекос измерительных поверхностей микрометрического винта при зажатии стопором не должен превышать у микрометров

с пределами измерения до 100 мм - 1 мкм, а для микрометров с пределами измерения более 100 мм - 2 мкм.

Перед измерением проверяемую деталь закрепляют в тисках или в приспособлении, протирают измерительные поверхности и устанавливают микрометр на размер несколько больше проверяемого, затем микрометр (рис. 13, а, в) берут левой рукой за скобу 1, а измеряемую деталь 3 помещают между пяткой 2 и торцом микрометрического винта 4. Плавно вращая трещотку, прижимают торцом микрометрического винта 4 деталь 3 к пятке 2 до тех пор, пока трещотка 5 не начнет провертываться и пощелкивать. Установка микрометра на нуль показана на рис. 15, 6.

При измерении диаметра цилиндрической детали линия измерения должна быть перпендикулярна образующей и проходить через центр (рис. 13, в).

При чтении показаний микрометра целые миллиметры отсчитывают по краю скоса барабана по нижней шкале, полу миллиметры - по числу делений верхней шкалы стебля. Сотые доли миллиметра определяют на конической части барабана по порядковому номеру (не считая нулевого) штриха барабана, совпадающего с продольным штрихом стебля.

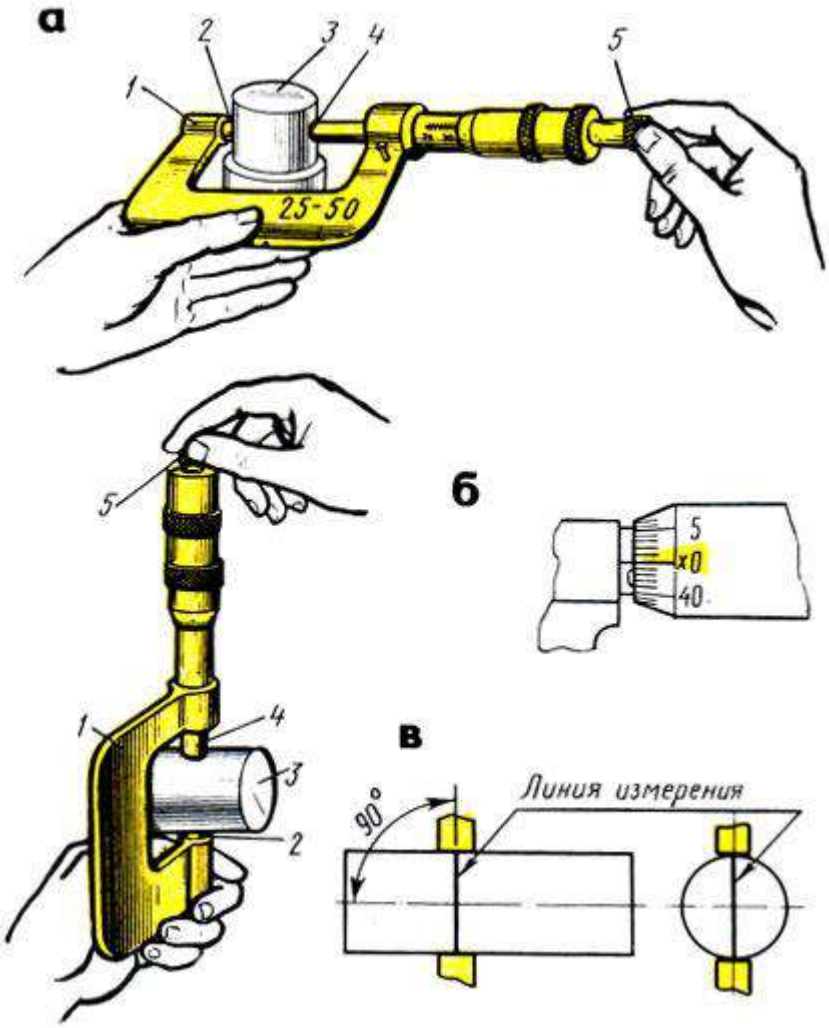


Рис. 13. Приемы использования микрометра: а - измерение деталей в вертикальном и горизонтальном положениях, б - установка микрометра на нуль, в - установка микрометра на деталь

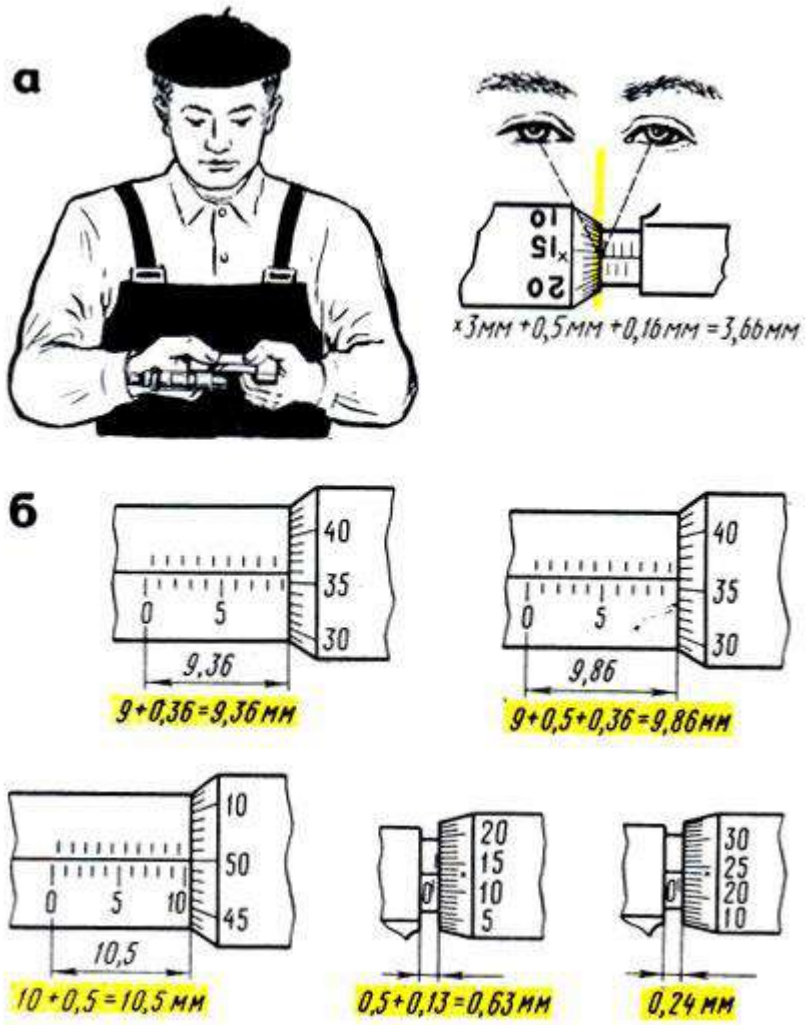


Рис. 14. Чтение показаний микрометра: а - положение глаз, б - примеры отсчета

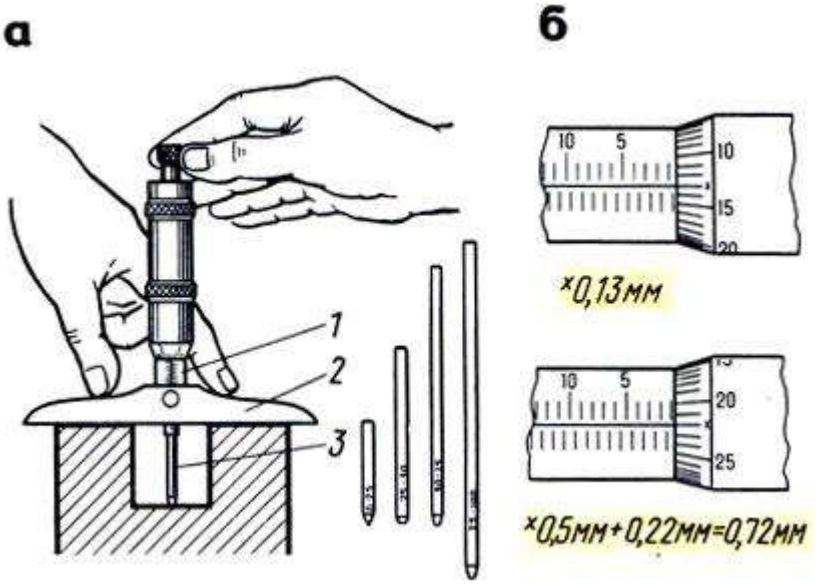


Рис. 15. Микрометрический глубиномер: а - устройство, б - примеры отсчета; 1 - стебель, 2 - основание, 3 - сменные стержни

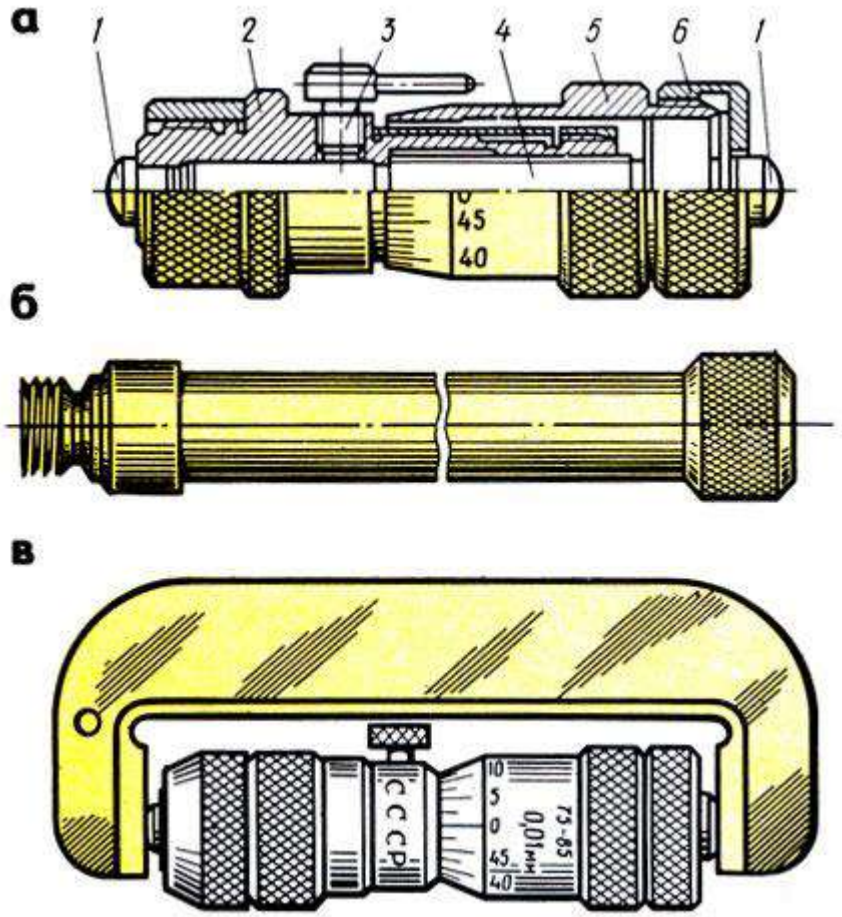


Рис. 16. Микрометрический нутромер (штихмасс): а - устройство, б - удлинительный стержень, в - проверка нулевого положения; 1 - измерительные поверхности, 2 - стебель, 3 - стопор, 4 - микрометрический винт, 5 - барабан, 6 - гайка

При чтении показаний микрометр держат прямо перед глазами (рис. 14, а). Примеры отсчета показаны на рис. 14, 6.

Микрометрический глубиномер с точностью измерения 0,01 мм (рис. 15, а) применяют для измерения глубины пазов, отверстий и высоты уступов до 100 мм. Глубиномеры изготовляют со сменными измерительными стержнями для измерений в пределах 0 - 25; 25 - 50; 50 - 75 и 75 - 100 мм. Изменение пределов измерения достигается присоединением сменных стержней. Шаг резьбы микрометрического винта 1 (стебель) - 0,5 мм. Изменение пределов измерений достигается присоединением сменных измерительных стержней 3.

Перед измерением проверяют нулевое положение глубиномера. При измерении левой рукой прижимают основание 2 глубиномера к верхней поверхности детали, а правой при помощи трещотки в конце хода доводят измерительный стержень до соприкосновения с

другой поверхностью детали. Затем стопорят микрометрический винт и читают размер.

При чтении показаний надо иметь в виду, что при ввинчивании микрометрического винта глубиномера показания не уменьшаются, как у микрометра, а увеличиваются. Поэтому цифры на шкале стебля и барабана указаны в обратном порядке: на стебле цифры увеличиваются справа налево, а на барабане - по часовой стрелке (рис. 15, б).

Микрометрический нутромер (штихмасс) с ценой деления 0,01 мм (рис. 16, а) предназначен для измерения внутренних размеров от 50 до 10 000 мм. Микрометрические нутромеры изготовляют с пределами измерений: 50-75; 75-175; 75-600; 150 - 1250; 800-2500; 1250-4000; 2500-6000; 4000-10 000 мм. Нутромеры с пределами измерений 1250 - 4000 мм и более поставляют с двумя головками: микрометрической и микрометрической с индикатором.

Шаг резьбы микрометрической винтовой пары нутромера равен 0,5 мм. Микрометрический нутромер имеет стебель 2 (рис. 16, а), в отверстие которого вставлен микрометрический винт 4. Концы стебля и микрометрический винт имеют сферические измерительные поверхности 1.

На винт насажен барабан 5 с установочной гайкой 6. В установленном положении микровинт закрепляют стопором 3.

Для измерения отверстий размером более 63 мм используют удлинительные стержни (рис. 16, б) с размерами: 25; 50; 100; 150; 200 и 600 мм. Без удлинителей можно измерять размеры от 50 до 63 мм. Перед навинчиванием удлинителя со стебля свинчивают гайку 6, после присоединения удлинителя ее навинчивают на резьбовой конец последнего стержня.

Перед измерением микрометрическую головку устанавливают по установочной мере (скобе) на исходный размер, проверяют нулевое положение, затем выбирают наименьшее количество соответствующих удлинителей.

Измерение нутромером отверстий производят по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. Левой рукой прижимают измерительный наконечник к одной поверхности, а правой рукой вращают барабан до легкого соприкосновения с другой

поверхностью (рис. 17,а,б). Отыскав наибольший размер, стопорят микровинт и читают размер.

Правильное положение микрометрического нутромера находят покачиванием головки нутромера при легком контактировании измерительных поверхностей с деталью.

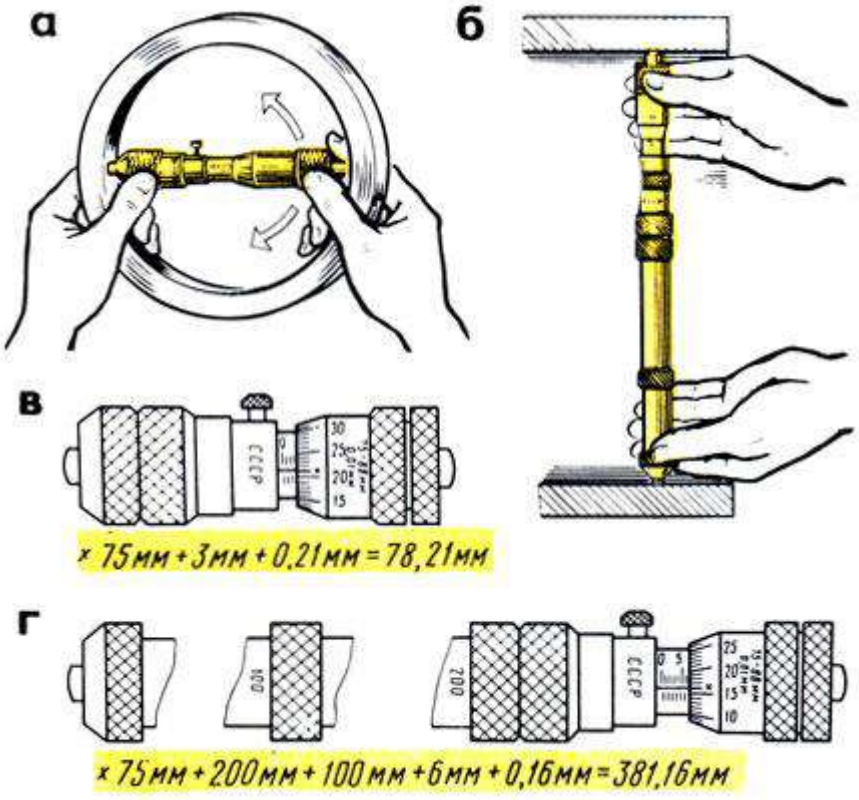


Рис. 17. Приемы измерения: а - цилиндрических отверстий, без применения и с применением удлинителей, б - параллельности деталей, в, г - примеры отсчета

Для отсчета показаний на стебле нутромера имеется шкала длиной 13 мм с полу миллиметровыми и миллиметровыми делениями. Вторая шкала нанесена на конической части барабана, она имеет 50 делений по окружности. По этой шкале и отсчитывают сотые доли миллиметра.

Показания микрометрического нутромера читают так: к предельному размеру микрометрической головки (75 мм) прибавляют показания на стебле (в данном случае 3 мм), а затем показания на скосе барабана (0,21 мм). Следовательно, показание будет 75 мм + 3 мм + 0,21 мм = 78,21 мм (рис. 17, в).

При чтении показаний с удлинителями к показанию микрометрической головки прибавляют длину удлинителей,

например: к микрометрической головке присоединены удлинители 200 и 100 мм. Показание (рис. 17,г) будет:

75 мм + 200 мм + 100 мм + 6 мм + 0,16 мм = 381,16 мм.

Рычажно-механические приборы

Принцип действия рычажно-механических приборов (инструментов) основан на использовании специального передаточного механизма, который преобразует незначительные перемещения измерительного стержня в увеличенные и удобные для отсчета перемещения стрелки по шкале.

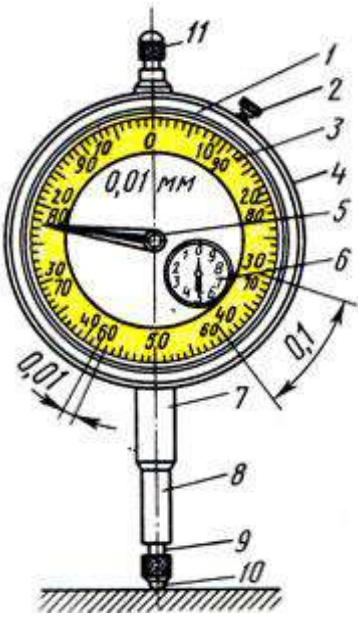


Рис. 18. Индикатор часового типа: 1 - корпус, 2 - стопор, 3 - циферблат, 4 - ободок, 5 - стрелка, 6 - указатель, 7 - гильза, 8 - измерительный стержень, 9 - наконечник, 10 - рабочий конец, 11 - головка

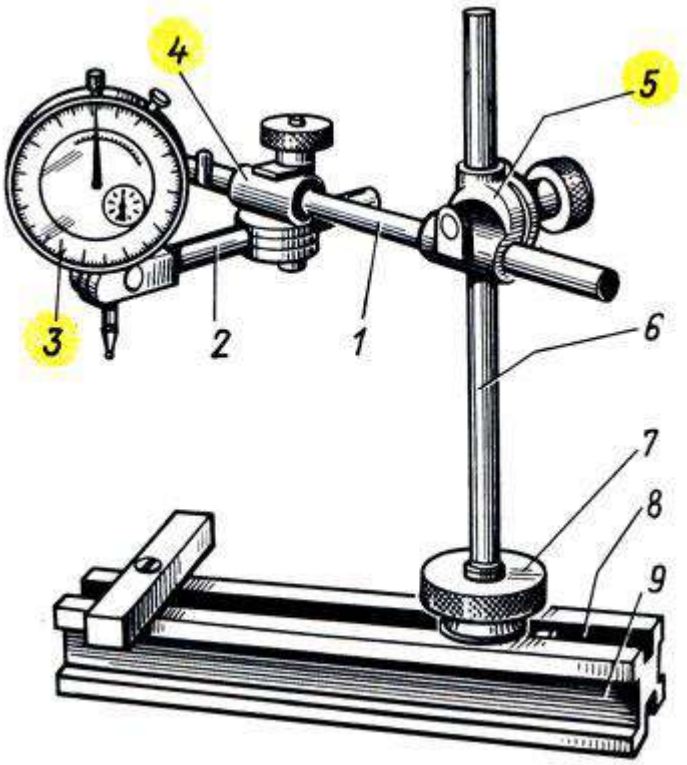


Рис. 19. Универсальная индикаторная стойка: 1,2 - стержни, 3 - индикатор, 4,5 - муфты, 6 - вертикальный стержень, 7 - гайка, 8 - паз, 9 - призма

Индикаторы предназначаются для относительного, или сравнительного, измерения и проверки отклонений от формы, размеров, а также взаимного расположения поверхностей детали. Этими инструментами проверяют горизонтальность и вертикальность положения поверхностей отдельных деталей (столов, станков и т. п.), а также овальность, конусность валов, цилиндров и др. Кроме того, индикаторами проверяют биение зубчатых колес, шкивов, шпинделей и других вращающихся деталей (рис. 18).

Индикаторы бывают часового и рычажного типов; шире применяют индикаторы часового типа, которые в сочетании с нутромерами, глубиномерами и другими инструментами используются для измерения внутренних и наружных размеров, параллельности, плоскостности и т. д.

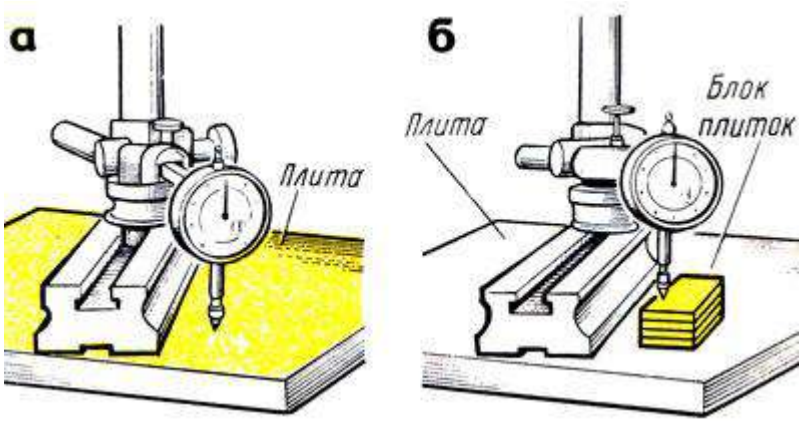


Рис. 20. Установка индикатора в начальное положение: а - соприкосновением с поверхностью стола (плиты), б - с поверхностью установочной меры

Конструкцию индикатора часового типа с зубчатой передачей с ценой деления 0,01 мм изготовляют двух типов: ИЧ - с перемещением измерительного стержня параллельно шкале; ИТ - торцовые с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале.

Индикаторы типа ИЧ изготовляют следующих типоразмеров: с пределами измерений 0 - 2, 0 - 5 и 0 - 10 мм.

Индикаторы типа ИТ изготовляют с пределами измерений 0 - 2 мм.

Широко применяемый индикатор ИЧ (часового) типа (рис. 18) имеет металлический корпус 1 в форме часов, в котором заключен механизм прибора. Через корпус индикатора проходит измерительный стержень В с выступающим наружу наконечником 9, всегда находящимся под воздействием пружины. Если нажать на стержень снизу вверх, он переместится в осевом направлении и при этом повернет стрелку 5, которая передвинется по циферблату, имеющему шкалу в 100 делений, каждое из которых соответствует перемещению стержня на 1/100 мм. При перемещении стержня на 1 мм стрелка 5 сделает по циферблату полный оборот. Для отсчета целых оборотов служит стрелка указателя 6.

При измерениях индикатор должен быть закреплен жестко относительно исходной измеряемой поверхности.

На рис. 19 изображена универсальная стойка для крепления индикатора. Индикатор 3 при помощи стержней 1 и 2, муфт 4 и 5 закрепляется на вертикальном стержне 6, укрепленном в пазу 8

призмы 9 гайкой 7 с накаткой. При помощи муфт индикатор может быть установлен в любом положении и под разными углами.

При абсолютном (рис. 20, а) или относительном (рис. 20, 6) измерении показание индикатора приводят в некоторое начальное положение. При измерении относительным методом закрепленный на стойке индикатор настраивают по блоку плоскопараллельных концевых мер. Для этого измерительный наконечник 9 (см. рис.18) со съемным шариком 10 (он имеет форму проверяемой поверхности) приводят в соприкосновение с поверхностью стола - плиты (см. рис. 20, а) или установочной меры (см. рис. 20, 6). Индикатор подводят так, чтобы стрелка его сделала один-два оборота. Таким образом, стержню индикатора дается натяг, чтобы в процессе измерения индикатор мог показать как отрицательные, так и положительные отклонения от начального положения установочной меры. Стрелка при этом устанавливается против какого-либо деления шкалы. Дальнейшие отсчеты ведут от этого показания стрелки, как от начального. Для облегчения отсчетов индикатор устанавливают на нуль поворотом циферблата 3 (см. рис. 18) за рифленый ободок 4 или поворотом головки 11 (при неподвижном циферблате). Установку ободка относительно стрелки фиксируют стопором 2.

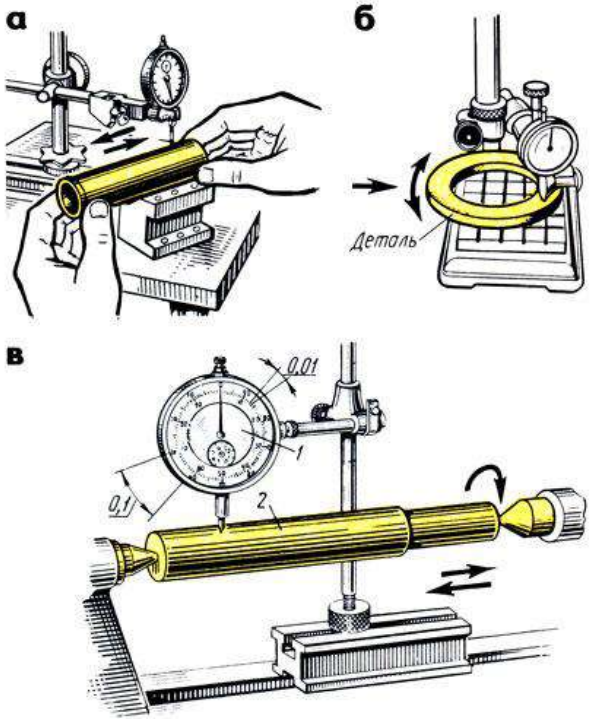


Рис. 21. Приемы проверки индикатором: а, б - перемещением деталей, в - в центрах; 1 - индикатор, 2 - деталь

Для измерения отклонения от заданного размера к детали подводят наконечник индикатора до соприкосновения с измеряемой поверхностью и замечают начальное показание стрелки 5 и указателя 6 на циферблате. Затем перемещают индикатор относительно измеряемой поверхности или измеряемую поверхность относительно индикатора (рис. 21,а,6).

Отклонение стрелки 5 (см. рис. 18) от начального положения покажет величину отклонения в сотых долях миллиметра, а отклонение стрелки указателя 6 - в целых миллиметрах. Для более точной проверки деталь 2 устанавливают в центрах (рис. 21,в) или других приспособлениях.

Индикаторные нутромеры предназначены для внутренних измерений деталей.

Индикаторный нутромер (рис. 22,а) имеет корпус 4, в который вставлена направляющая втулка 2. С одной стороны втулки помещен неподвижный измерительный стержень 7, а с другой - подвижный измерительный стержень 3.

В процессе измерения стержень 3 перемещается и его движение через толкатель 5 передается установленному в трубку 7 вертикальному штоку 6, к которому прижимается наконечник 8 индикатора 9. Прибор снабжается комплектом сменных неподвижных стержней 10.

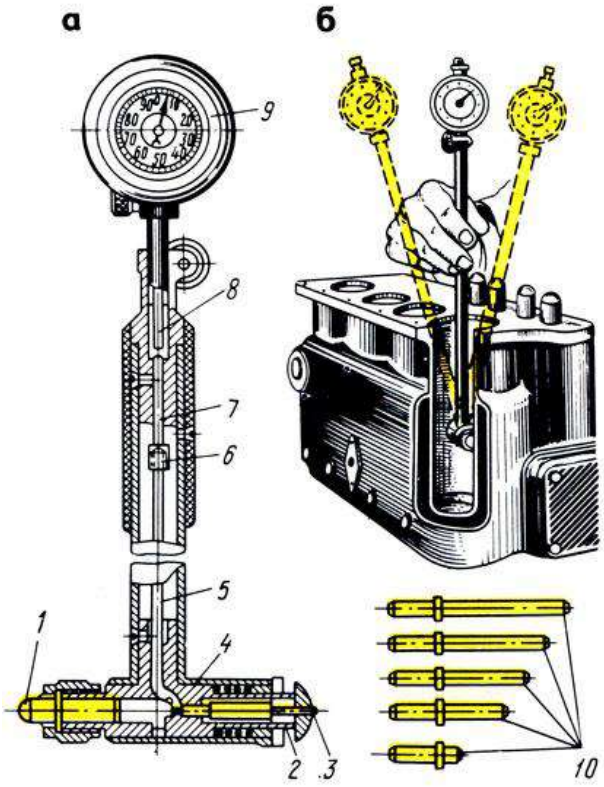


Рис. 22. Индикаторный нутромер: а - устройстве, б - прием измерения; 1,3 - измерительные стержни, 2 - направляющая втулка, 4 - корпус, 5 - толкатель, 6 - шток, 7 - трубка, 8 - наконечник, 9 - индикатор, 10 - сменные стержни

При измерении в зависимости от размера проверяемой детали нутромер ориентировочно настраивают по микрометру, блоку плоскопараллельных концевых мер или установочному кольцу, устанавливают показание на нуль.

Настроенный нутромер правой рукой берут за трубку, вводят в измеряемое отверстие и небольшим покачиванием (рис. 22,б) определяют отклонение от размера, на который был установлен индикаторный нутромер. Допустим, что нутромер был настроен на размер 68 мм (рис. 23,а). Положительные отклонения (0,06), полученные при прямом ходе, отнимают (рис. 23,а), а отрицательные (0,17) - прибавляют (рис. 23,б).

Индикаторные глубиномеры с ценой деления 0,01 мм (рис. 24,а) предназначены для измерения глубины пазов, отверстий, высоты уступов и т. д. Они снабжены набором измерительных стержней.

Измерительные стержни выбирают в зависимости от проверяемого размера и устанавливают в глубиномере. Затем устанавливают индикаторный глубиномер на нуль вращением ободка до совпадения большой стрелки с нулевым штрихом

циферблата. При измерении левой рукой слегка нажимают основание 1 (рис. 24,6) глубиномера, а правой рукой опускают измерительный стержень 4 и после его прикосновения ко дну проверяемой детали определяют отклонение. Отсчет производят так же, как у индикаторных нутромеров: положительное отклонение, полученное при прямом ходе, отнимают от размера, по которому была произведена установка глубиномера, а отрицательное - прибавляют.

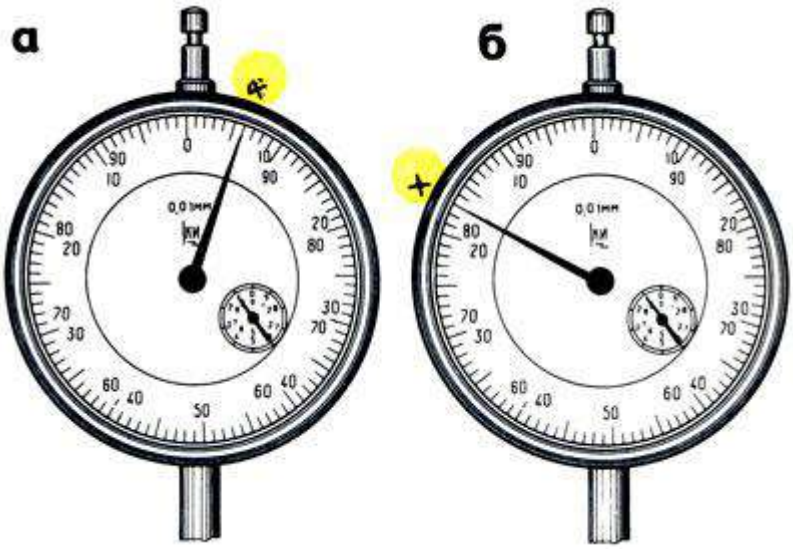


Рис. 23. Примеры отсчета на индикаторном нутромере: а - положительное отклонение, б - отрицательное отклонение

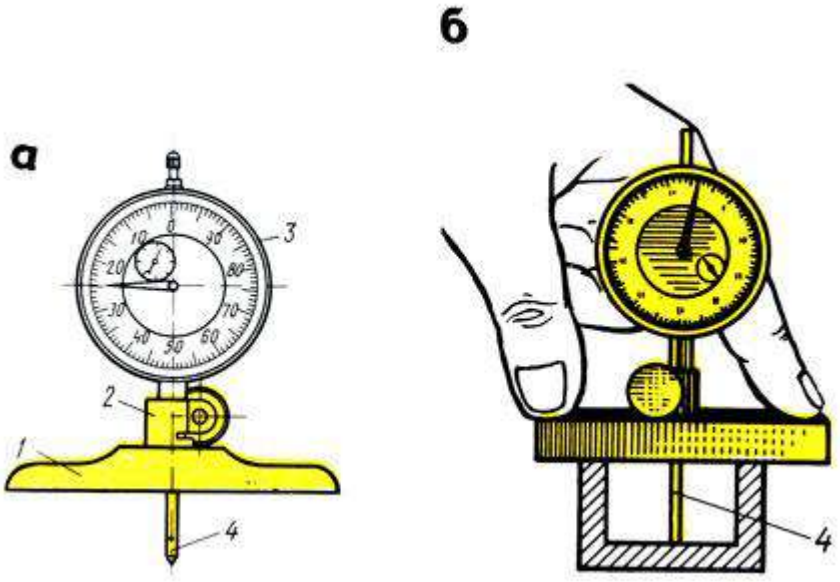


Рис. 24. Индикаторный глубиномер: а - устройство, б - прием проверки; 1 - основание, 2 - державка, 3 - индикатор, 4 - измерительный стержень

. Инструменты для измерения углов

Для измерения наружных и внутренних углов в слесарном деле применяют угольники, угломеры и угломерные плитки.

Угольники поверочные изготовляют следующих типов: УЛ - лекальные плитки (рис. 25,а), УЛП - лекальные плоские (рис. 25,6), УЛШ - лекальные с широким основанием (рис. 394,а), УЛЦ - лекальные цилиндрические (рис. 25,г), УП - слесарные плоские (рис. 25,д), УШ - слесарные с широким основанием (рис. 25,е).

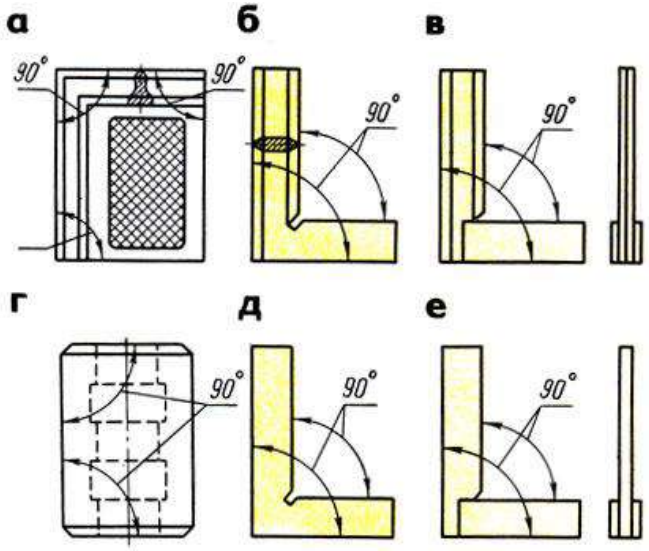


Рис. 25. Угольники: а - УП - лекальные плитки, б - УЛП - лекальные плоские, в - УЛШ - лекальные с широким основанием, г - УЛЦ - лекальные цилиндрические, д - УП - слесарные плоские, е - УШ - слесарные с широким основанием

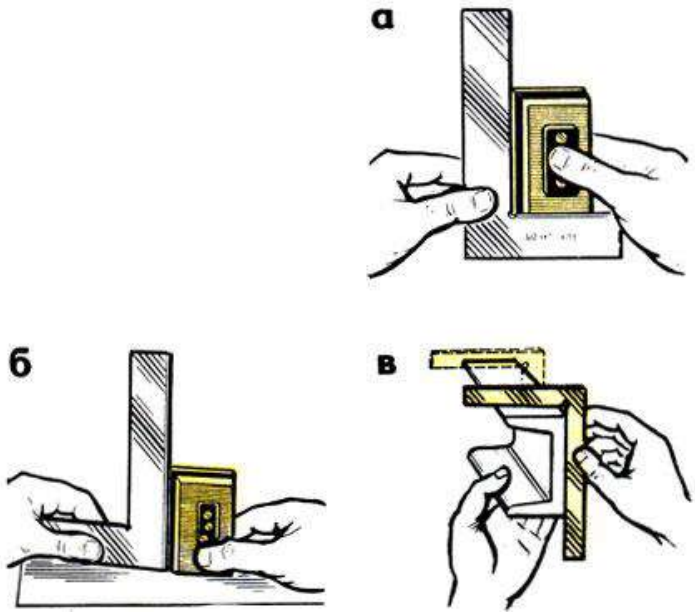


Рис. 26. Проверка углов: а - внутренней части угольника, б - наружной части, в - проверка в нескольких местах

Угольники с широким основанием (аншлажные) отличаются тем, что короткое их основание толще длинной полки. Таким угольником удобно определять отклонения в углах проверяемого изделия способом световой щели (на просвет) при установке изделия на поверочной плите.

Угольники цилиндрические применяют для этой же цели!

Для проверки прямых углов угольник накладывают на проверяемую деталь внутренней частью (рис. 26,а), а для проверки внутреннего угла - наружной частью (рис. 26,б). Наложив и слегка прижимая угольник, совмещают другую сторону угольника с проверяемой стороной детали и по просвету (иногда щупом) судят о точности прямого угла. Измерение производится в нескольких местах (рис. 26, в).

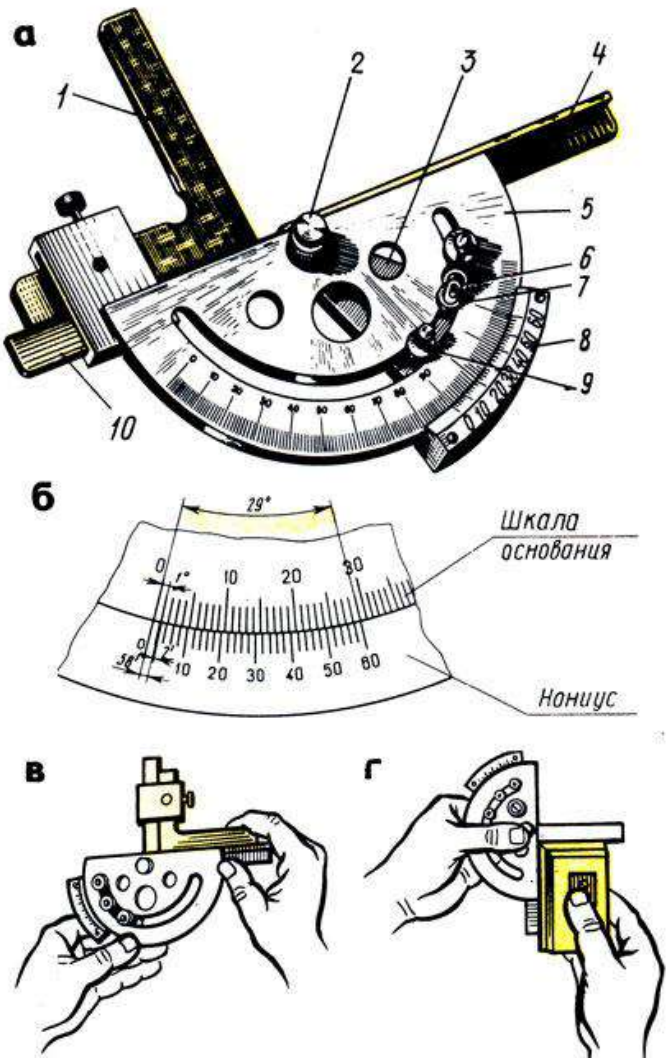


Рис. 27. Угломер УМ и его проверка : а - общий вид, б - устройство нониуса; проверка нулевого положения угломера; в - соединением измерительных поверхностей, г - лекальным угольником; 1 - угольник, 2 - ось, 3 - сектор, 4 - линейка съемная, 5 - основание (полудиск) с градуированной шкалой, 6 - микрометрическая подача, 7 - гайка, 8 - нониус, 9 - стопор, 10 - линейка подвижная

Угломеры предназначаются для измерения углов. Изготовляют следующих типов:

УН - для измерения наружных углов от 0 до 180° и внутренних углов от 40 до 180°, УМ - для измерения наружных углов от 0 до 180°.

Угломер типа УМ (рис. 27,а) с величиной отсчета по шкале нониуса 2' (2 угловых минуты) предназначен для измерения наружных углов от 0 до 180°. Угломер имеет полукруглое основание (полудиск) 5 со шкалой угловых градусов, соединенное

со съемной линейкой 4 и подвижной линейкой 10, вращающейся на оси 2 вместе с сектором 3. Точность установки подвижной линейки 10 осуществляется при помощи микрометрической подачи 6 вращением гайки 7 и фиксированием стопором 9.

На секторе 3 закреплен лимб нониуса В, на лимбе сектора - шкала угловых минут. Угол между крайними штрихами шкалы нониуса, равный 29°, разделен на 30 частей (рис. 27,6). Угол между соседними штрихами нониуса 60 × 29:30 = 58, т. е. на 2' меньше 1°.

Перед применением угломер протирают и проверяют нулевое положение: нулевые штрихи основания и нониуса должны совпадать.

При совпадении штрихов нониуса и основания между измерительными поверхностями угломера не должно быть просвета. Это проверяется соединением измерительных поверхностей (рис. 27,в) или при помощи лекального угольника (рис. 27,г).

При измерении угломер накладывают на проверяемую деталь так, чтобы линейки 4 и 10 были совмещены со сторонами измеряемого угла. Прижимая слегка правой рукой деталь к измерительной поверхности линейки основания, перемещают деталь постепенно, уменьшая просвет до полного соприкосновения. После этого (если нет просвета)фиксируют положение стопором и читают показание. Целое число градусов отсчитывают по шкале основания слева направо нулевым штрихом нониуса.

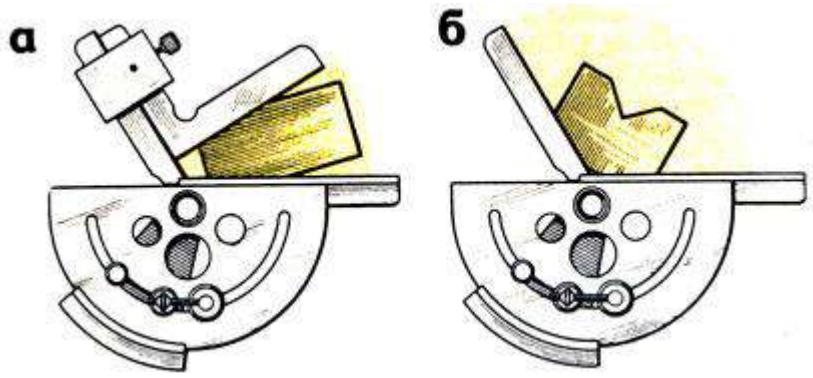


Рис. 28. Измерение углов: а - от 0° до 90°, б - от 90° до 180°

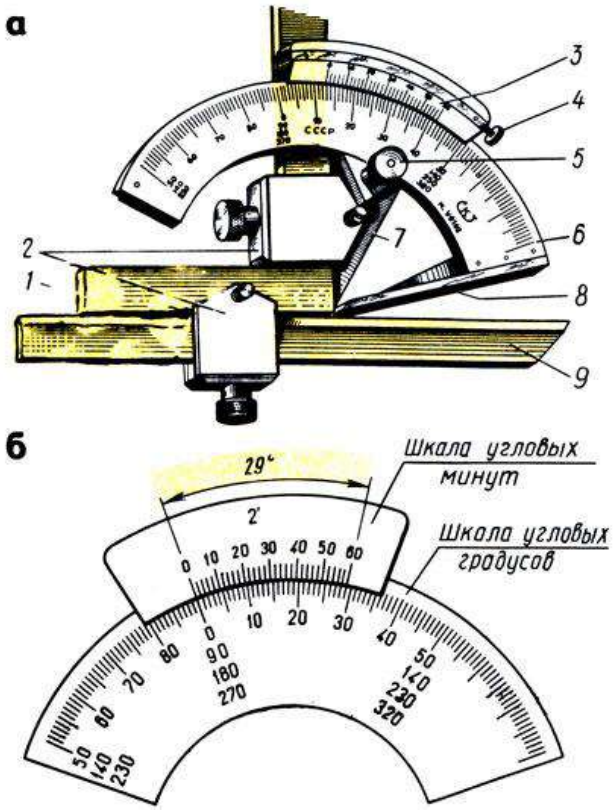


Рис. 29. Углометр УН: а - общий вид, б - устройство шкалы нониуса; 1 - угольник, 2 - державки, 3 - нониус, 4 - винт нониуса, 5 - стопор, 6 - основание, 7 - сектор, 8 - линейка основания, 9 - линейка съемная

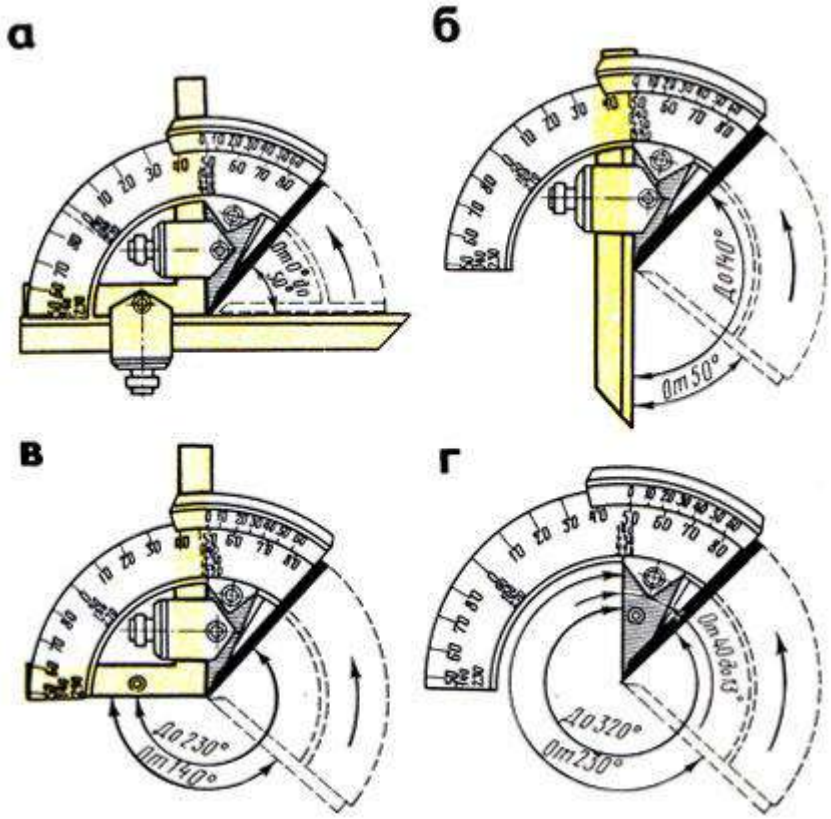


Рис. 30. Установка угломера для измерения углов: а - от 0 до 50°, б - от 50 до 140°, в - от 140 до 230°, г - от 230 до 320°

После этого находят штрих нониуса, совпадающий со штрихом шкалы основания, и ближайшую к нему слева цифру нониуса. К этой цифре прибавляют результат умножения величины отсчета на порядковый номер совпадающего штриха нониуса, считая его от найденной цифры нониуса. При чтении угломер держат прямо перед глазами. Например, нулевой штрих нониуса прошел 34-е деление шкалы основания, но не дошел до 35-го, при этом со штрихом основной шкалы совпадает 20-й (не считая нулевого) штрих шкалы нониуса. Следовательно, измеряемый угол составляет 34 + 20х 2 = 34°40'.

Для измерения углов от 0 до 90° угломер соединяют с угольником (рис. 28,а), а для измерения углов от 90 до 180° угломер применяют без угольника (рис. 28,6) и к его показаниям прибавляют 90°.

Угломер типа УН с величиной отсчета по нониусу 2 или 5'(угловых минут, рис. 29,в,6) конструкции Семенова, выпускаемый заводом "Калибр", является наиболее удобным для измерения наружных углов от 0 до 180° и внутренних углов от 40 до 180°. Угломер имеет полукруглое основание 6, на котором закреплена линейка 8 основания. Сектор 7 с нониусом 3 перемещается по основанию 6 и после установки закрепляется стопором 5. Микрометрическая подача нониуса осуществляется вращением микрометрического винта 4. К сектору 7 при помощи державок 2 крепится угольник 1, а к нему присоединяется съемная линейка 9.

У угломера типа УН, так же как и угломера УМ, угол между крайними штрихами нониуса равен 29° и разделен на 30 частей, но он в отличие от угломера УМ построен на дуге большего радиуса, следовательно, расстояние между штрихами больше, что облегчает чтение показаний (рис. 29,6). На дуге нанесена основная шкала для отсчета целых градусов, которая построена несколько иначе, чем у угломера УМ. Слева направо на шкале нанесены сначала деления от 50 до 90°, затем от 0 до 50°. Ниже расположены цифры, позволяющие по этой шкале производить отсчеты от 140 до 230°, а еще ниже - от 230 до 320°.

Если на угломере установлены угольник и линейка (рис. 30,а), то можно измерять углы от 0 до 50°. Если убрать угольник и на его месте закрепить линейку, можно измерять углы от 50 до 140°

(рис. 30,б), если убрать линейку и оставить только угольник (рис. 30,в), можно измерять углы от 140 до 230°. При отсутствии линейки и угольника (рис. 30,г) можно измерять углы от 230 до 320°.

Точность отсчета, полученного при измерении угловых величин или при установке заданного угла, проверяют по градусной шкале и нониусу. По шкале градусов, размещенной на дуге основания, определяют, на каком целом делении (или между ними) остановилось нулевое деление нониуса, которое соответствует числу целых градусов угловой величины. По шкале нониуса определяют, какое из его делений совпало с делением шкалы градусов, по цифрам нониуса определяют число минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макиенко Н.И., Общий курс слесарного дела: Учебник. – 2-е изд., доп. – М.: Высш.шк., 1984. – 176 с., ил. – (Профтехобразование).

2. Слесарное дело: иллюстрированное учеб.пособие / сост. Б.С. Покровский, В.А. Скакун. – 5-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 30 плакатов.

СОДЕРЖАНИЕ

Средства измерений и контроля……..3

Штангенинструменты……...5

Микрометрические инструменты…… 14

Рычажно-механические приборы…… 22

Инструменты для измерения углов……. 29

Литература……..36

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ
«Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-
методическому комплексу
С.А.Упоров

Н.А.Новикова

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

Учебное пособие
по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности – 21.05.04«Горное дело», направления 15.03.01 «Машиностроение» ,15.03.02. «Технологические машины и оборудование» ***заочного обучения***

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией Факультета ГМФ
Эксплуатации горного оборудования	
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Симисинов Д.И.	В.П.Барановский
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 04.06.2018	Протокол №10 от20.06 .2018
(Дата)	*(Дата)*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……4

1. Основные понятия и определения в области взаимозаменяемости…….... 5

2. Понятие о размерах допусках и посадках……...7

3. Единая система допусков и посадок……..14

3.1.Закономерности построения допусков……...15

3.2 Системы допусков и посадок……...18

3.3. Ряды основных отклонений……22

3.4. Поля допусков……...24

3.5.Образование посадок……25

3.6. Обозначение полей допусков, предельных отклонений и посадок на чертежах…….26

Контрольная работа……28

Приложение №1……

Приложение №2……

Список литературы…….

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» является одной из важнейших инженерных дисциплин, так как неразрывно связана с главной задачей современного машиностроения – обеспечение высокого качества выпускаемой продукции. Качество изделий машиностроения, как и любого другого вида продукции, является физической категорией, зависящей от множества конструкторских, технологических и организационно-технологических факторов, проявляющихся на этапах жизненного цикла изделия. Установлено, что до 90% эксплуатационных свойств деталей изделий машиностроения может быть достигнуто за счет соответствующего нормирования точностей геометрических параметров элементов деталей и их поверхностей. К таким эксплуатационным свойствам следует отнести взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц, износостойкость трущихся поверхностей, долговечность, герметичность и прочность соединений и др.

Знания , умения и навыки, полученные в результате изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» помогут студентам пользоваться государственными стандартами при нормировании точности геометрических параметров гладких цилиндрических и типовых деталей и сборочных единиц, обозначать их на рабочих чертежах.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Взаимозаменяемость – свойство независимо изготовленных деталей и сборочных единиц занимать свое место в изделии без дополнительной механической или ручной обработки при сборке, обеспечивая при этом нормальную работу собираемых узлов, механизмов, машин. Взаимозаменяемость не обеспечивается только точностью геометрических параметров, Взаимозаменяемыми должны быть форма, механические, электрические и другие количественные и качественные характеристики деталей и сборочных единиц. Такая взаимозаменяемость называется полной. Полную взаимозаменяемость экономически целесообразно применять для деталей, изготовленных с допусками не точнее 6-го квалитета.

При полной взаимозаменяемости:

- упрощается процесс сборки – он сводится к простому соединению деталей рабочими преимущественно невысокой квалификации;

- появляется возможность точно нормировать процесс сборки во времени, устанавливать необходимый темп работы и применять поточный метод;

- создаются условия для автоматизации процессов изготовления и сборки изделий;

-упрощается и удешевляется ремонт изделий, гак как любая изношенная или поломанная деталь или сборочная единица может

быть заменена новой (запасной).

Иногда для удовлетворения эксплуатационных требований необходимо изготовлять детали и сборочные единицы с малыми экономически неприемлемыми или технологически трудно выполнимыми допусками. В этих случаях для получения требуемой точности сборки применяют групповой подбор деталей (селективную сборку), компенсаторы, регулирование положения некоторых частей машин и приборов, пригонку и другие дополнительные технологические мероприятия при обязательном выполнении требовании к качеству сборочных единиц и изделий. Такую взаимозаменяемость называют неполной (ограниченной). Ее можно осуществлять не по всем, а только по отдельным геометрическим или другим параметрам.

Внешняя взаимозаменяемость — это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий (монтируемых в другие более сложные изделия) и сборочных единиц по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей. Например, в электродвигателях внешнюю взаимозаменяемость обеспечивают по частоте вращения вала и мощности, а также по размерам присоединительных поверхностей; в подшипниках качения — по наружному диаметру наружного кольца и внутреннему диаметру внутреннего кольца.

Внутренняя взаимозаменяемость распространяется на детали, сборочные единицы и механизмы, входящие в изделие. Например, в подшипнике качения внутреннюю групповую взаимозаменяемость имеют тела качения и кольца.

2. ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРАХ, ДОПУСКАХ И ПОСАДКАХ

Под размером понимают числовое значение линейной или угловой величины в выбранных единицах измерения. Различают номинальный, действительный и предельные размеры.

Номинальный размер — это размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений. Номинальный размер, общий для отверстия и вала, образующих соединение, называется номинальным размером соединения. Это основной размер, полученный на основе кинематических, динамических и прочностных расчетов или выбранный из конструктивных, технологических, эксплуатационных, эстетических и других соображений и указанный на чертеже. Полученный, таким образом номинальный размер должен быть округлен до ближайшего стандартного из ряда нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69 «Нормальные линейные размеры».

Действительный — это размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Величина допускаемой погрешности измерения, по которой выбирается необходимое средство измерения, регламентируется ГОСТ 8.051-81 в зависимости от точности изготовления, заданной на чертеже.

Предельные размеры — это два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Больший из двух предельных размеров

называется *наибольшим предельным размером,* а меньший- *наименьшим предельным размером.*

Принято обозначать номинальный, действительный и предельные размеры для отверстий - D, D_r, D_{max}, D_{min};

для валов – d, d_r, d_{max}, d_{min}..

При выходе действительного размера за предельные – деталь считается бракованной.

Условие годности для отверстий: $D_{min} \le D_r \le D_{max}$;

для валов $d_{min} \le d_r \le d_{max}$.

Для упрощения простановки размеров на чертежах вместо предельных размеров проставляют предельные отклонения. Предельные отклонения подразделяют на верхнее и нижнее.

Верхнее — это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами, *нижнее отклонение* — это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

В ГОСТ 25346-89 приняты условные обозначения: верхнее отклонение отверстия —*ES*, вала — *es*, нижнее отклонение отверстия — *El*, вала — *ei*.

Согласно определениям:

Для отверстий

$$ES = D_{max} - D; \qquad El = D_{min} - D;$$

Для валов

$$es = d_{max.} - d\ ; \qquad ei = d_{min} - d\ ;$$

Предельные отклонения могут иметь положительные и отрицательные значения, или одно из них может быть равным нулю.

Допуск размера — это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск обозначается IT или T_D – допуск отверстия и T_d – допуск вала.

Согласно определениям:

Допуск отверстия

$$T_D = D_{max} - D_{min}\ ;$$

Допуск вала

$$T_d = d_{max} - d_{min}\ .$$

Допуск размера всегда положительная величина.

Поле допуска - это поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Для графического изображения полей допусков, позволяющего понять соотношения номинального и предельных размеров, предельных отклонений и допуска, введено понятие нулевой линии.

Нулевая линия — это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются предельные отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. При горизонтальном расположении нулевой линии положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные — вниз (рис. 2.1 и 2.2).

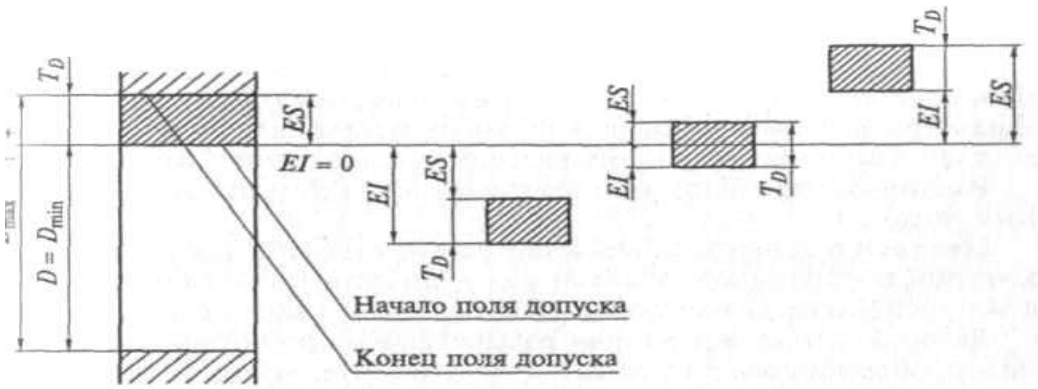


Рис.2.1 Схемы расположения полей допусков в системе отверстия

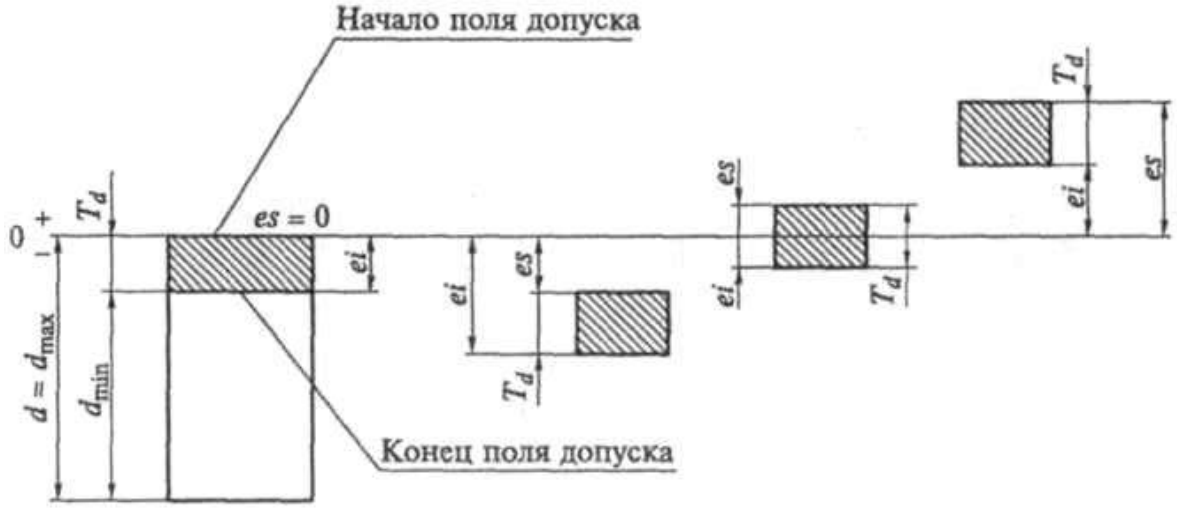


Рис.2.2 Схемы расположения полей допусков в системе вала

В машинах и механизмах детали не находятся обособленно друг от друга, они собираются в определенные узлы, комплекты, группы. Поверхности деталей, по которым

происходит сопряжение одной детали с другой называют сопрягаемыми поверхностями.

Остальные поверхности называются свободными. Поверхности могут быть как цилиндрическими (ось вагона, подшипник скольжения), так и плоскими (шпонка, шпоночный паз). В терминологии по допускам и посадкам: *вал* - все охватываемые наружные поверхности, о*тверстие* - внутренние охватывающие поверхности.

Посадкой – называется характер соединения деталей, определяемый разностью действительных размеров вала и отверстия. Различают три вида посадок: с зазором, с натягом и переходные посадки.

Посадкой с зазором называют такое соединение, у которого действительный размер отверстия больше действительного размера вала. Поле допуска отверстия располагается над полем допуска вала. (рис. 2.3). Основными характеристиками посадки с зазором являются:

Наименьший зазор $S_{min} = D_{min} - d_{max}$;

наибольший зазор $S_{max} = D_{max} - d_{min}$;

средний зазор $S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$;

действительный зазор $S_д = D_д - d_d$;

допуск зазора (допуск посадки с зазором) $T_s = S_{max} - S_{min} = T_D + T_d$

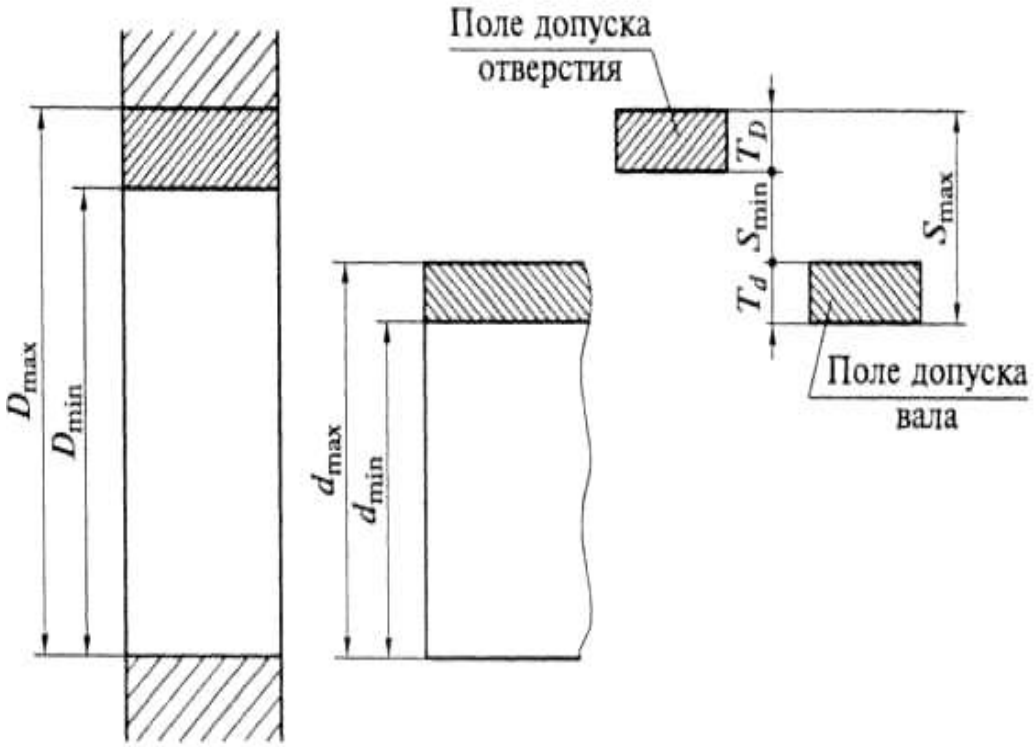


Рис.2.3 Схемы расположения полей допусков при посадках с зазором

посадкой с натягом называется посадка, у которой при любых условиях сборки, действительный размер вала больше действительного размера отверстия (поле допуска вала расположено над полем допуска отверстия) (рис. 2.4). Натяг обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки. Основными характеристиками посадки с натягом являются:

наименьший натяг $N_{min} = d_{min} - D_{max}$;

наибольший натяг $N_{max} = d_{max} - D_{min}$;

средний натяг $N_m = \frac{N_{max} + N_{min}}{2}$;

действительный натяг $N_д = d_d - D_д$

допуск натяга (допуск посадки с натягом) $T_N = N_{max} - N_{min} = T_D + T_d$.

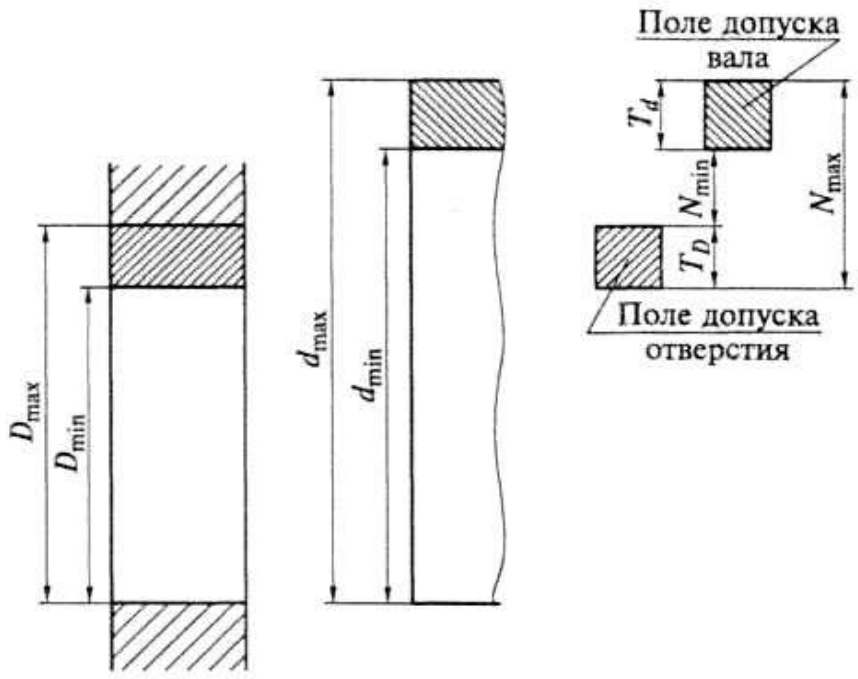


Рис.2.4 Схемы расположения полей допусков при посадках с натягом

Переходной посадкой называется посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга (поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью) (рис.2.5). Переходные посадки используются для неподвижных соединений, когда при эксплуатация необходима частая разборка и сборка, а также когда к центрированию деталей предъявляются повышенные требования.

Основными характеристиками переходных посадок являются:

наибольший натяг $N_{max} = d_{max} - D_{min}$;

наибольший зазор $S_{max} = D_{max} - d_{min}$;

действительный натяг $N_д = d_d - D_д$

действительный зазор $S_д = D_д - d_d$;

допуск посадки $T_{N(S)} = N_{max} + S_{max} = T_D + T_d$.

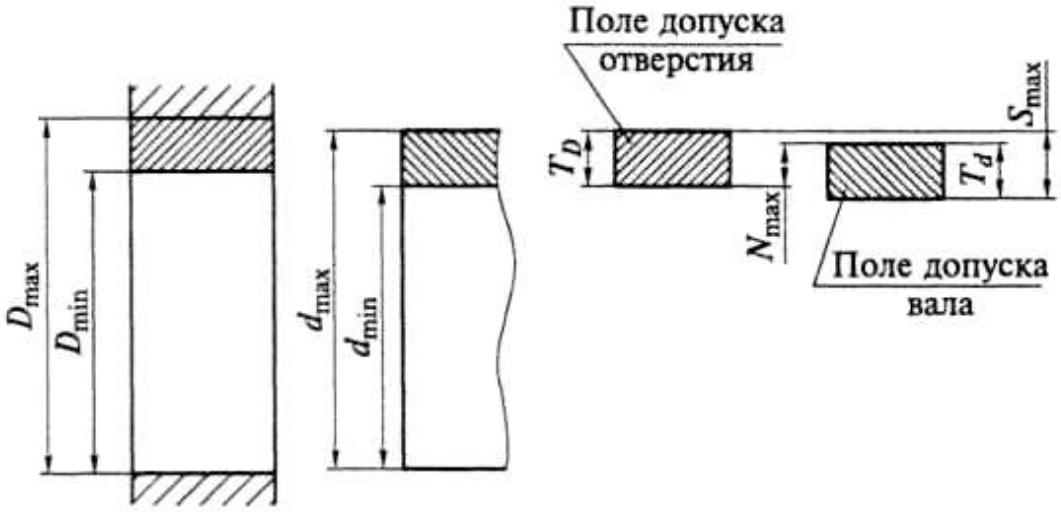


Рис.2.5 Схемы расположения полей допусков при переходных посадках

3. ЕДИНАЯ СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

Системой допусков и посадок называют совокупность допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин. Единая система допусков и посадок (ЕСДП) гладких соединений изложена в

стандартах: ГОСТ 25346-89; ГОСТ 25347-82; Согласно стандартам в ЕСДП установлены допуски и посадки для размеров до 1 мм; свыше 1 мм до 500 мм; свыше 500 мм до 3150 мм. Детали, размеры которых входят в каждый из этих диапазонов, имеют свои особенности при проектировании, обработке и контроле. Так, размеры диапазона свыше 0 до 1 мм наиболее часто реализуются в микроэлектронике с использованием нанотехнологий, размеры свыше 1 до 500 мм – в машиностроении, а размеры свыше 500 мм – в станкостроении, тяжелом машиностроении. Рассмотрим построение системы допусков и посадок для размеров от 1 до 500 мм.

3.1 Закономерности построения допусков

Основная закономерность построения допусков размеров *IT*, имеет вид

$$IT\ (T) = a\ i \qquad (1.1)$$

Где a – число единиц допуска; i- единица допуска, мкм

Единица допуска функционально связана с номинальным размером и является масштабом для измерения допуска в закономерности (1.1).

На основании исследований точности механической обработки установлены следующие зависимости единиц допуска для размеров до 500 мм

$$i = 0{,}45\sqrt[3]{D} + 0{,}001D, \qquad (1{,}2)$$

где i — единица допуска, мкм; D — среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала размеров, мм.

Каждый диапазон размеров разбивается на *интервалы* — основные и промежуточные. В пределах каждого интервала основные отклонения и допуски неизменны. Основные интервалы используются для определения всех допусков системы. В СДП для номинальных размеров от 1 до 500 мм предусмотрено 13 основных интервалов размеров. Для полей допусков, образующих посадки с большими величинами зазоров или натягов, введены дополнительные промежуточные интервалы, что позволяет уменьшить колебание зазоров и натягов и делает посадки более определенными.

Интервалы подразделяются на основные и промежуточные. Диапазон размеров до 500 мм разбит на 13 основных интервалов:

свыше1 до З мм;	свыше 30 до 50 мм;	свыше 250 до 315 мм;
свыше З до б мм;	свыше 50 до 80 мм;	свыше 315 до 400 мм;
свыше б до10 мм;	свыше 80 до 120 мм;	свыше 400 до 500мм.
свыше 10 до 18 мм;	свыше 120 до 180 мм;	
свыше 18 до 30 мм;	свыше 180 до 250 мм;	

Промежуточные интервалы введены для номинальных размеров свыше 10 мм и делят каждый основной интервал на две, а в некоторых случаях – на три части. В пределах каждого интервала по зависимости (1.2.) установлена единица допуска.

Значения единицы допуска для каждого интервала приведены в табл.1.

Таблица 1

Единица допуска для размеров от 1 до 500 мм

Интервалы диаметров	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
Единица допуска i, мкм	0,54	0,73	0,90	1.09	1,30	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89	3.23	3,54	3,89

Детали разного назначения в различных машинах и механизмах должны быть изготовлены с различной точностью. Нормирование требуемых уровней точности осуществляется с помощью квалитетов. Под ***квалитетом*** понимается совокуп-ность допусков, изменяющихся в зависимости от номинального размера так, что уровень точности для всех но-минальных размеров остается одинаковым. Допуск, характери-зующий точность, в пределах одного квалитета зависит только от номинального размера, входящего в единицу допуска *i*.

В ЕСДП предусмотрено 20 квалитетов, которые обозначают-ся арабскими цифрами (01; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; …;18).

С увеличением номера квалитета точность понижается (до-пуск увеличивается).

Самые точные квалитеты (01, 0, 1, 2, 3, 4), как правило, применяются при изготовлении образцовых мер и калибров.

Квалитеты с 5-го по 12-й, как правило, применяются для сопрягаемых элементов деталей при образовании посадок.

Квалитеты с 12-го по 18-й применяют для несопрягаемых элементов деталей.

Допуск по квалитету обозначается буквами *IT* с указанием номера квалитета, например *IT*8 - допуск по 8 квалитету.

Квалитеты отличаются друг от друга коэффициентом точности *a* (количеством единиц допуска) В табл. 2 приведено количество единиц допуска для каждого квалитета, начиная с 5 по 18.

Таблица 2

Число единиц допуска

квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
«a»	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

3.2 Системы допусков и посадок

Стандарты предусматривают две равноправные системы посадок: систему отверстия и систему вала.

Система отверстия – система допусков и посадок, при которой для данного номинального размера и данного квалитета предельные отклонения отверстия остаются постоянными, а требуемые посадки достигаются за счет изменения предельных размеров вала (рис.3.1). В системе

отверстия основной деталью является *основное отверстие,* которого нижнее отклонение $El=0$, а верхнее $ES = + T_D$.

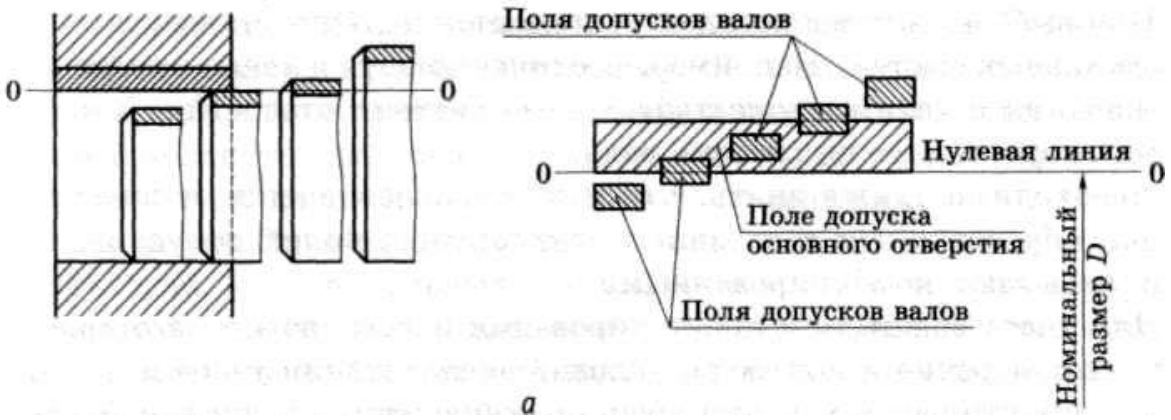


Рис.3.1 Посадки в системе отверстия

Система вала – система допусков и посадок, при которой для данного номинального размера и данного квалитета предельные отклонения вала остаются постоянными, а требуемые посадки достигаются за счет изменения предельных размеров отверстия (рис.3.2). В системе вала основной деталью является *основной вал* у которого верхнее отклонение $es=0$, а нижнее $ei = - T_d$.

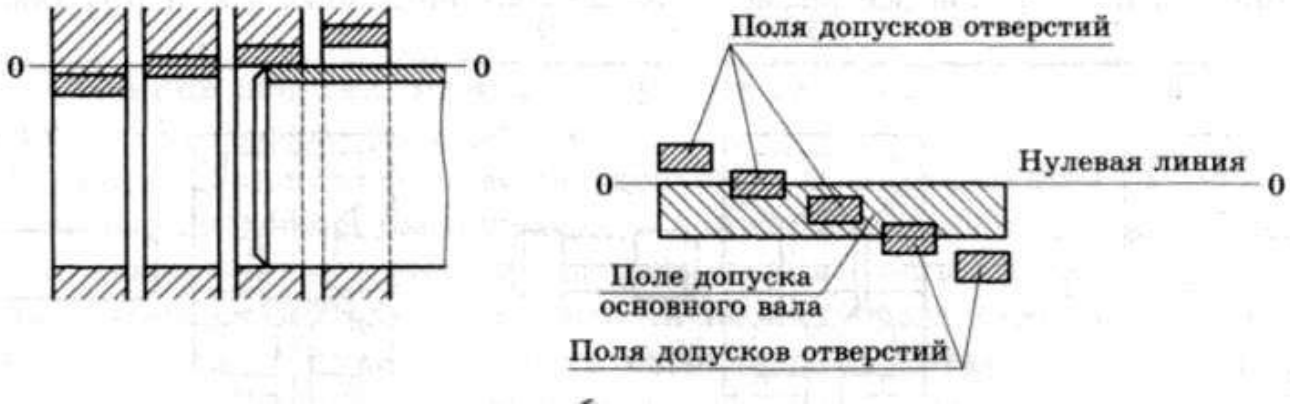
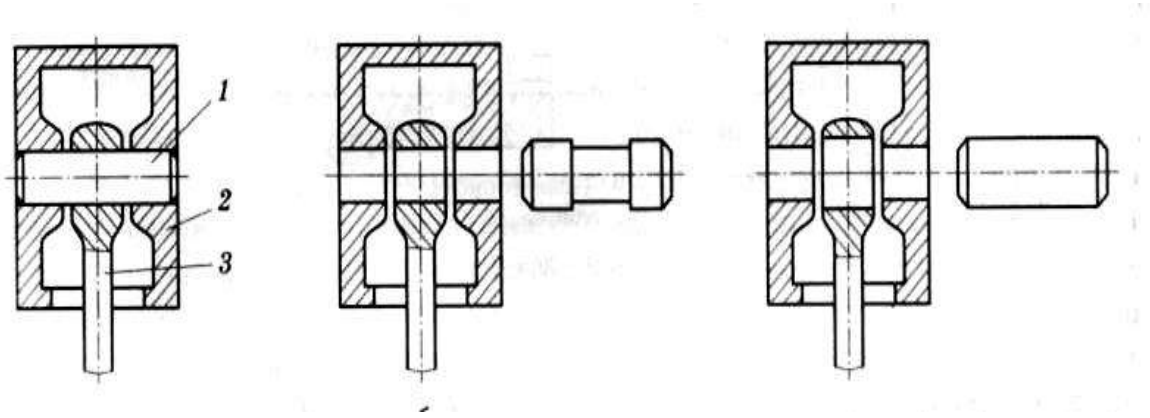


Рис.3.2. посадки в системе вала

Выбор системы посадки (отверстия или вала) определяют исходя из конструктивных, технологических и экономических соображений.

Предпочтительной является система отверстия. Это связано с тем, что отверстия обрабатываются дорогостоящим режущим инструментом (сверлом, протяжкой, зенкером, разверткой и т.п.), предназначенным для обработки только одного размера с определенным полем допуска. Вал, независимо от размера, в большинстве своем обрабатывается одним и тем же инструментом (резцом, шлифовальным кругом). Таким образом, количество типоразмеров инструмента для обработки отверстий будет значительно меньше при назначении посадки в системе отверстия. Система вала применяется в следующих случаях:

- когда на одном валу необходимо чередовать соединения нескольких отверстий одного номинального размера с различными посадками. На рис. 3.3, *а* представлено соединение поршневого пальца *1* с поршнем *2* и шатуном *3*. Для нормальной работы этого узла соединение поршня и пальца должно быть выполнено по неподвижной посадке, а шатуна с пальцем — по подвижной посадке. Назначение посадок в системе отверстия (рис. 3.3, *б)* привело бы к неудобствам при обработке ступенчатого пальца и, главное, к порче отверстия шатуна при сборке. При назначении посадок в системе вала (рис. 3.3, *в*) эти недостатки исключаются.



а *б* *в*

Рис.3.3 Соединение поршневого пальца с поршнем и шатуном двигателя автомобиля;

а – общий вид соединения: 1 – поршневой палец; 2- поршень; 3- шатун; *б*- соединение в системе отверстия*; в*- соединение в системе вала

- система вала также применяется в случаях, когда детали типа валиков или осей изготавливаются из калиброванных холоднотянутых прутков, дополнительная механическая обработка которых не предусматривается.

- и, наконец, посадка в системе вала назначается в случаях, когда вал является стандартной деталью или сборочной единицей (штифт, шплинт, шпонка, наружное кольцо подшипника и т.п.).

Необходимо также отметить, что возможно назначение и внесистемных посадок, образованных сочетанием стандартных полей допусков, которые иногда называют комбинированными.

3.3 Ряды основных отклонений

Основное отклонение- это одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), по величине и знаку которого определяется положение поля допуска относительно нулевой линии.

По ЕСДП таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Стандарт предусматривает 28 рядов основных отклонений для валов и столько же основных отклонений для отверстий. Отклонения валов обозначаются строчными буквами латинского алфавита от *a* до *z* , а отверстия прописными буквами от *A* до *Z*.

Схематично ряды основных отклонений показаны на рис.3.4 Каждому основному отклонению на схеме соответствуют горизонтальная черта, от которой начинается поле допуска. Штриховкой показано направление поля допуска, а второе отклонение зависит от того, по какому квалитету будет выполнено данное предельное отклонение.

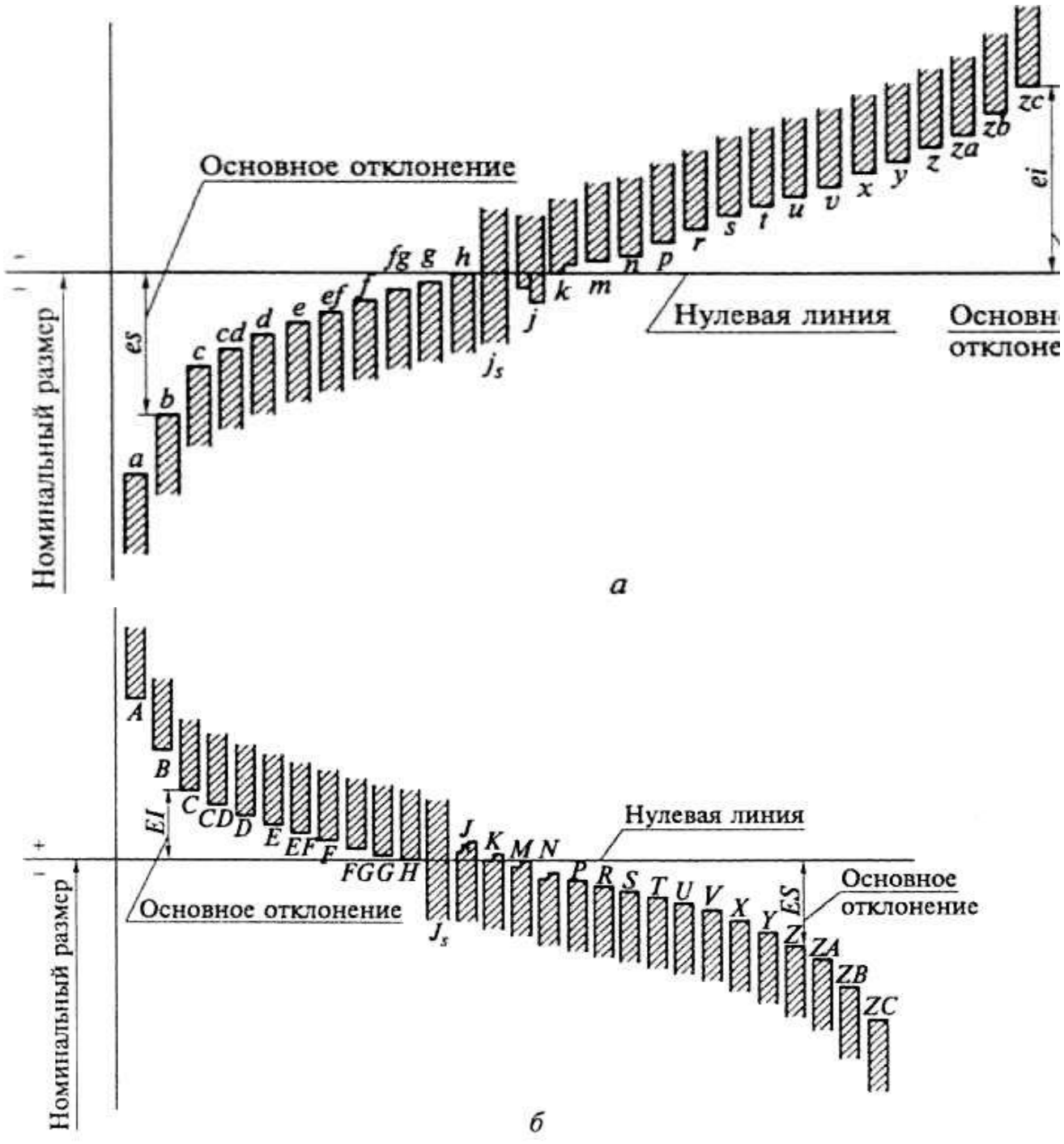


Рис.3.4. основные отклонения для валов (а), для отверстий (б)

3.4 Поля допусков

Поле допуска в ЕСДП образуется сочетанием одного из основных отклонений с допуском по одному из квалитетов. В соответствии с этим поля допусков обозначаются буквой основного отклонения и номерами квалитетов, например

для валов $h6$, $d11$, $b12$, $s8$ и т.д.;

для отверстий $A11$, $H8$, $S7$ и т.д.

По основному отклонению и допуску вычисляют второе предельное отклонение, ограничивающее данное поле допуска.

Если основное отклонение - верхнее, то нижнее отклонение определяют по зависимости:

для вала $ei = es - IT$;

для отверстия $El = ES - IT$.

Если основное отклонение – нижнее, то верхнее отклонение :

для вала $es = ei + IT$;

для отверстия $ES = El + El$.

В системе ЕСДП можно образовывать поля допусков для любого квалитета, что позволяет получить более 500 полей допусков для валов и столько же полей допусков для отверстий. Однако не все возможные поля допусков могут найти применение даже в перспективе, на которую ориентирован стандарт, так как одновременное применение на практике всех полей допусков неприемлемо по экономическим соображениям (затрудняет унификацию изделий, различных инструментов и калибров). В ЕСДП для диапазона размеров от 1 до 500 мм применяется отбор полей допусков, которые делятся на основные и дополнительные .

Основные поля допусков включают в себя предпочтительные (имеющие первоочередное применение) и рекомендуемые. Дополнительные поля допусков являются полями ограниченного применения и используются тогда, когда применение основных полей допусков не позволяет выполнить требования, предъявляемые к изделию.

3.5 Образование посадок

Посадки в системе ЕСДП образуются сочетанием полей допусков отверстия и вала.

Принципиально допускается любое сочетание полей допусков отверстия и вала. Предпочтение следует отдавать посадкам, образованным в системе отверстия или в системе вала. ГОСТ 25347 -82 устанавливает ряд стандартных посадок в системе отверстия и в системе вала. В каждой системе выделяются предпочтительные посадки, выделенные рамочками. Рекомендуемые посадки приведены в Приложении 1 к ГОСТ 25347-82.

Допускается применение комбинированных посадок, в которых отверстие и вал выполнены в разных системах. Например, посадка *F8/f7*.

Допуски и отклонения, установленные стандартами, относятся к деталям, размеры которых определены при нормальной температуре, которая во всех странах принята равной $+20\ ^{0}C$.

3.6. Обозначение полей допусков, предельных отклонений и посадок на чертежах

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными (буквенными) обозначениями полей допусков или числовыми значениями предельных отклонений, а также буквенными обозначениями полей-допусков с одновременным указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений (рис. 3.5, а и б).

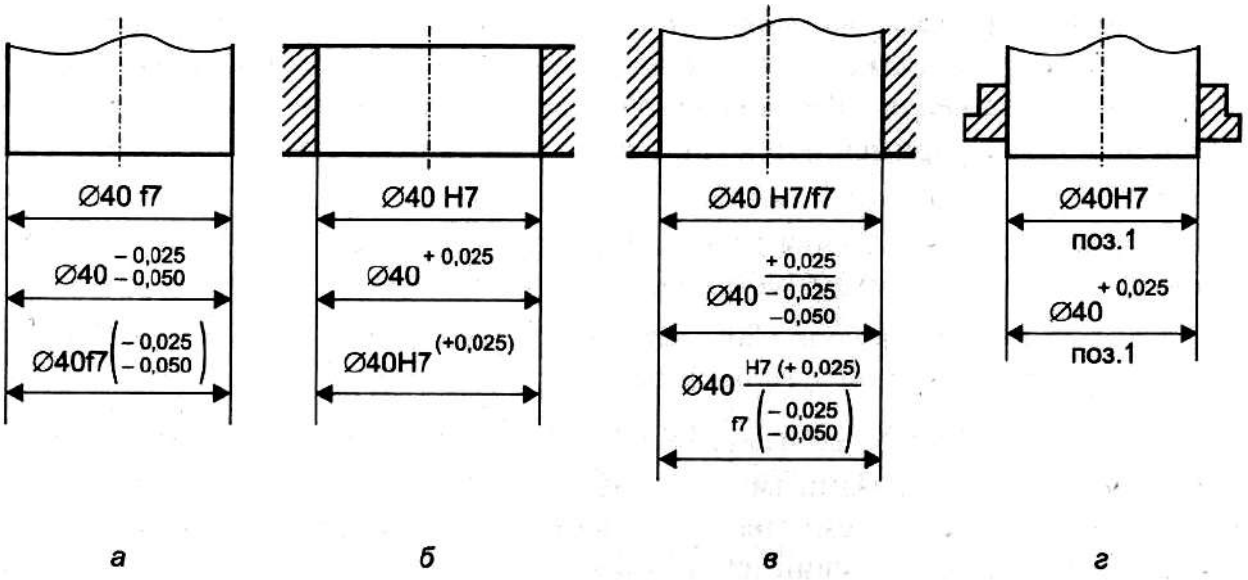


Рис.3.5. Примеры обозначения полей допусков и посадок на чертежах

На конструкторских и технологических чертежах номинальные и предельные размеры, а также их отклонения по ГОСТ 2.307-68 указываются в миллиметрах без обозначения единицы измерения (например, $50^{+0,025}$; $50_{-0,025}$; $85^{-0,013}_{-0,024}$). Угловые размеры и их предельные отклонения указываются в градусах, минутах или секундах с указанием единицы измерения (например, 30°15'40").

При равенстве абсолютных значений отклонений они указываются один раз со знаком «±» рядом с номинальным размером (например,85±0,02). Отклонение, равное нулю, на

чертежах не проставляется. Наносят только одно отклонение — положительное на месте верхнего предельного отклонения, отрицательное — на месте нижнего предельного отклонения (например, $60_{-0,022}$; $89^{+0,02}$).

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в собранном виде, указывают дробью: в числи-теле — буквенное обозначение или числовые значения предель-ных отклонений отверстия либо буквенное обозначение с указа-нием справа в скобках их числовых значений, в знаменателе — аналогичное обозначение поля допуска вала (рис. 3.5, *в*). Иногда для обозначения посадки указывают предельные отклонения только одной из сопрягаемых деталей (рис 3.5,г).

Предельные отклонения могут назначаться для размеров, не указанных на чертеже детали, включая несопрягаемые и неответственные размеры. Например, в технических требованиях дается указание: «Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий Н14, валов hl4, остальных $\pm\frac{IT14}{2}$» или «Неуказанные предельные отклонения размеров: диаметров Н12, hl2, остальных $\pm\frac{IT14}{2}$».

В целях закрепления основных положений по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» студенты самостоятельно выполняют контрольную работу.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Работа заключается в анализе допусков и посадок гладких соединений. Анализируются все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета и заданного номинального размера и все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета и размера.

Работа выполняется на специальном бланке и подлежит защите. Бланк заполняется карандашом, с соблюдением требований ГОСТ 2.307-68.

Для выполнения данной контрольной работы студенту необходим для определения полей допусков ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75). (Приложение1 и 2)

1.Последовательность выполнения работы

1.1. Для выполнения работы студент получает бланк с заданием.

1.2. Из таблицы ГОСТ 25347-82 или по приложению 1 данного руководства выписать в графу 1 бланка работы все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета, а по таблице приложения 2 выписать все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета.

1.3 Посадки записываются в соответствии с ГОСТ на условные обозначения полей допусков: предельные отклонения отверстия записываются в числителе, а вала – в знаменателе,

например: 50 $\frac{H7}{e8}$ или 50 *H7/e8*. Где: 50 – номинальный размер соединения; *H7*- условное обозначение поля допуска отверстия; *e8*- поле допуска вала.

Аналогично по заданному квалитету и номинальному размеру выписываются все стандартные посадки в системе вала.

1.4. В графы 2 и 3 каждой системы посадки (система отверстия, система вала) заносятся числовые значения предельных отклонений для всех полей допусков.

Числовые значения предельных отклонений принимаются по ГОСТ25347-82 (СТ СЭВ 144-75). При отсутствии указанного стандарта предельные отклонения находят расчетным путем с помощью ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75).

1.5. В графы 4 и 5 каждой системы посадок записываются исполнительные размеры для отверстий и валов с указанием условного обозначения предельных отклонений, а в графы 6 и 7 – исполнительные размеры, но уже в числовых величинах предельных отклонений, мм.

1.6. Проводится математический анализ зазоров и натягов для каждого сопряжения в обеих системах. Величины зазоров и натягов по абсолютной величине, в мкм, заносятся в графы отчета 8, 9, 10 и 11 соответственно каждой системы посадок.

Предельные зазоры и натяги определяются:

посадки с зазором:

$$S_{max} = ES - ei\ , \qquad S_{min} = EI - es\ ;$$

посадки с натягом:

$$N_{max} = es - EI, \qquad N_{min} = ei - ES ;$$

переходные посадки:

$$S_{max} = ES - ei, \qquad N_{max} = es - EI,$$

где S_{max} и S_{min} - наибольший и наименьший зазор;

N_{max} и N_{min} - наибольший и наименьший натяг;

ES и *EI* - верхнее и нижнее отклонение отверстия;

es и *ei* - верхнее и нижнее отклонение вала.

1.7. Определяется для посадок в системе отверстия и в системе вала допуск посадки исходя из предельных зазоров или натягов.

Для посадок с зазором $T_n = S_{max} - S_{min} = IT_D + IT_d$;

Для посадок с натягом $T_n = N_{max} - N_{min} = IT_D + IT_d$;

Для переходных посадок $T_n = S_{max} + N_{max} = IT_D + IT_d$;

При этом IT_D – допуск отверстия,

IT_d – допуск вала.

Результаты расчета заносятся в графу 12 бланка отчета соответственно каждой посадке, мкм.

1.8. Строятся схемы полей допусков для всех посадок в системе отверстия и в системе вала. Для построения полей допусков следует принять определенный масштаб.

1.9. Для одной (любой) посадки в системе отверстия и для одной посадки в системе вала оформляются эскизы сопряжений.

При этом на эскизах сопряжений указать исполнительные размеры на двух размерных линиях: на одной указать номинальный размер и условное обозначение предельных отклонений, на второй - номинальный размер с числовыми предельными отклонениями.

Образец контрольной работы №1 приведен в таблице 1.1 и Рис.1.1, Рис.1.2.

Таблица 1.1

Дать анализ всех стандартных посадок в системе вала с валом h5 номинального размера 20 мм

Посад-ка	Отклоне-ние в мкм.		Наносимый размер на чертежах деталей (в мм)				Натяги в мкм		Зазоры в мкм		Допуск посадки в мкм
	Отв	Вал	Условно		С числовыми отклонениями		max	min	max	min	
	ES EJ	es ej	Отв	Вал	Отв.	Вал					
20F7/h5	+41 +20	0 -9	20F7	20h5	$20^{+0,041}_{+0,020}$	$20_{-0,009}$	-	-	50	20	30
20G6/h5	+20 +7		20G6		$20^{+0.020}_{+0,007}$		-	-	29	7	22
20H6/*h*5	+13 0		20H6		$20^{+0,013}$		-	-	22	0	22
20I_s6/h5	+6,5 - 6,5		20I_s6		$20 \pm 0{,}0065$		6,5	-	15,5	-	22

Схема полей допусков для размера 20 мм с полем допуска основного вала h5

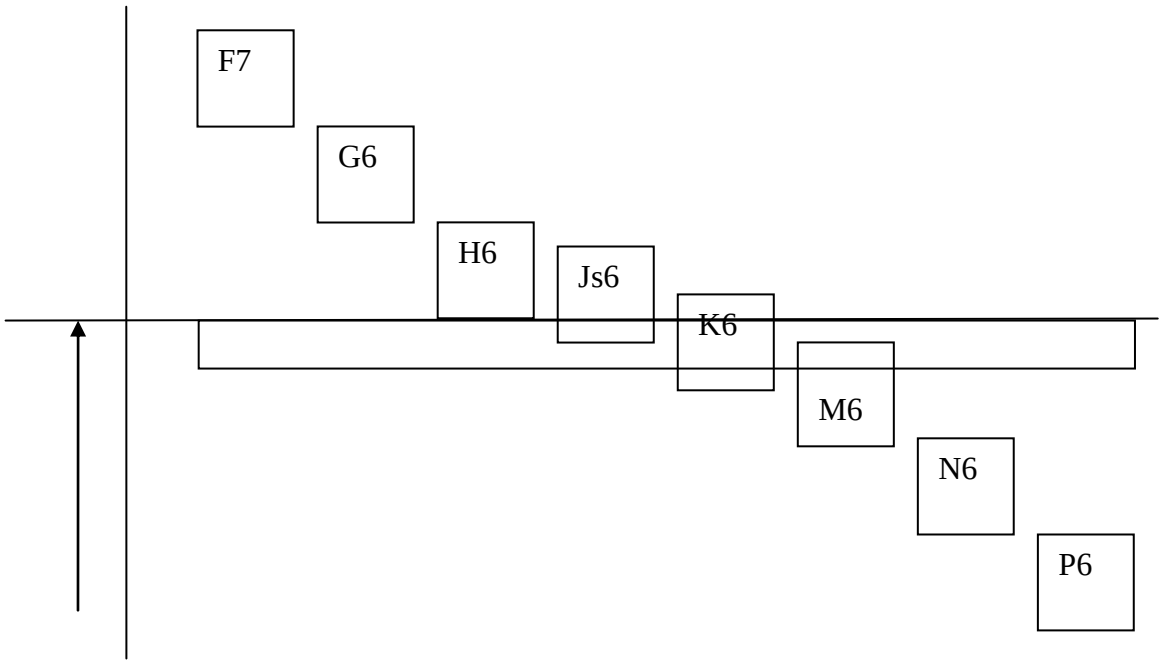


Рис 1.1 Эскизы деталей и сопряжения для посадки с полем допуска h5 в системе вала

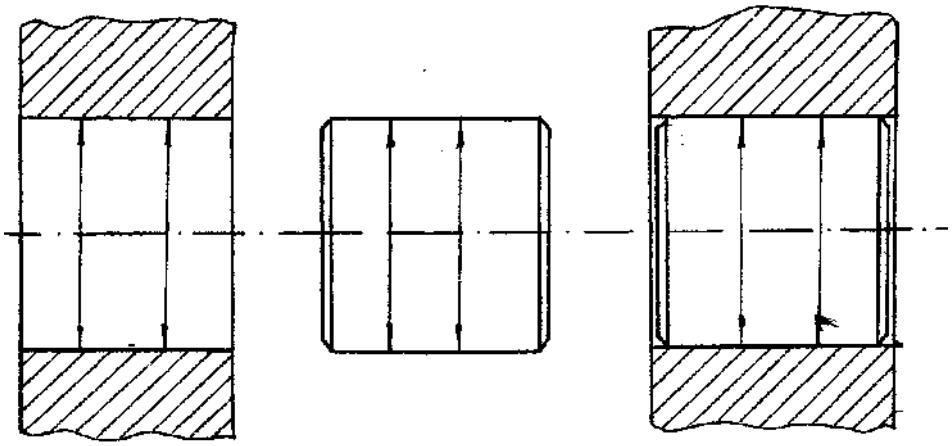


Рис.1.2.Схема обозначения посадок на чертежах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация.- Питер, 2010.-463 с.

Аристов А.И. Метрология, стандартизация т сертификация.- М.:Издательский цент «Академия»,2007. - 384 с.

ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75) Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор УГГУ
по учебно-методическому комплексу

_____С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.1.33 ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 9
Горные машины и оборудование

форма обучения: очная, заочная

Автор: Бекчурина Е. А., доц., к.т.н.

Одобрена на заседании кафедры
Обогащения полезных ископаемых
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Козин В. З.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 17.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В. П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы – закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

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.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

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 контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса:

для овладения знаниями:

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям:

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

– рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям:

для овладения знаниями:

– изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
– изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– составление плана проведения эксперимента;
– составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
– аналитическая обработка результатов экспериментов.

для формирования навыков и умений:

– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе:

для овладения знаниями:

– чтение основной и дополнительной литературы;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– работа с конспектом лекций;
– ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

– решение задач по образцу и вариативных задач;
– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы.

Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией – это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

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;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя:

для овладения знаниями:

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) – форма контроля для демонстрации обучающимся умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту):

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест – это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца 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 выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

Теоретический вопрос – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность

одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор УГГУ
по учебно-методическому комплексу

С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.1.34 АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 9
«Горные машины и оборудование»

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: ст. преподаватель Мухин Д.В.

Одобрена на заседании кафедры

Безопасность горного производства
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Елохин В.А.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 8 от 17.04.2019
(Дата)

Рассмотрено методической комиссией
горно-технологического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Колчина Н. В.
(Фамилия И. О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы – закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

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.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

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 контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса:

для овладения знаниями:

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям:

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

– рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям:

для овладения знаниями:

– изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
– изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– составление плана проведения эксперимента;
– составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
– аналитическая обработка результатов экспериментов.

для формирования навыков и умений:

– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе:

для овладения знаниями:

– чтение основной и дополнительной литературы;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– работа с конспектом лекций;
– ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

– решение задач по образцу и вариативных задач;
– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы.

Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией – это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

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;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя:

для овладения знаниями:

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) – форма контроля для демонстрации обучающимся умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту):

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест – это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца 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 выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

Теоретический вопрос – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность

одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор УГГУ
по учебно-методическому комплексу

С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.1.34 АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 12
«Технологическая безопасность и горноспасательное дело»

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: ст. преподаватель Мухин Д.В.

Одобрена на заседании кафедры

Безопасность горного производства
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Елохин В.А.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 8 от 17.04.2019
(Дата)

Рассмотрено методической комиссией
горно-технологического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Колчина Н. В.
(Фамилия И. О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)
(дата)

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы – закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

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.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

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 контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса:

для овладения знаниями:

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям:

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

– рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям:

для овладения знаниями:

– изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
– изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– составление плана проведения эксперимента;
– составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
– аналитическая обработка результатов экспериментов.

для формирования навыков и умений:

– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе:

для овладения знаниями:

– чтение основной и дополнительной литературы;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– работа с конспектом лекций;
– ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

– решение задач по образцу и вариативных задач;
– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы.

Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией – это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

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;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя:

для овладения знаниями:

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) – форма контроля для демонстрации обучающимся умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту):

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест – это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца 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 выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

Теоретический вопрос – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность

одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

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.Б.1.36 КУЛЬТУРОЛОГИЯ

Специальность подготовки

21.05.04 Горное дело

Специализация № 9
Горные машины и оборудование

формы обучения: очная
год набора: 2016

Автор: Гладкова И. В., доцент, канд. филос. н.

Одобрена на заседании кафедры
Философии и культурологии
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Беляев В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 8 от 17.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург
2019

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 подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	17
	Заключение	20
	Список использованных источников	21

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].

---

[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

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. Объем временина на подготовку к устному опросу зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

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-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 тсоответствовать 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 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.

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горномеханического факультета
17 октября 2018 г.
Председатель комиссии
_____доц. В. П. Барановский

В. Я. ПОТАПОВ, А. В. ДОЛГАНОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ГОРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие
для студентов специальностей: 21.05.04 – «Горное дело»,
15.03.02 – «Технологические машины и оборудование»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2018

УДК 622.44:621.1075.81
П 64

Рецензент: *Н. М. Суслов*, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «УГГУ».

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры горной механики 6 июля 2018 г. (протокол № 171) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Утверждено Учебно-методическим советом
Уральского государственного горного университета.

Потапов В. Я., Долганов А. В.

П 64 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ГОРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ: учебное пособие / В. Я. Потапов, А. В. Долганов; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 173 с.

ISBN 978-5-8019-0450-4

В учебном пособии приведены основные термины и определения в области компрессорного оборудования, дана его классификация, описаны схемы, принципы действия и устройства поршневых и винтовых, осевых и центробежных компрессоров. Изложены теоретические основы рабочего процесса компрессоров.

Учебное пособие может быть использовано студентами других специальностей УГГУ очной и заочной форм обучения при изучении соответствующих разделов горномеханических дисциплин.

Учебное пособие составлено в соответствии с требованиями Государственного стандарта высшего образования к обязательному минимуму содержания по направлению подготовки студентов всех форм обучения специальностей: 21.05.04 – «Горное дело», 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование».

УДК 622.44:621.1075.81

© Уральский государственный
горный университет , 2018

ISBN 978-5-8019-0450-4

© Потапов В. Я., Долганов А. В., 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ВИДЫ КОМПРЕССОРОВ 6

§ 1.1. Виды компрессорных машин 6

§ 1.2. Термодинамика компрессорного процесса 9

§ 1.3. Мощность и КПД компрессора 16

§ 1.4. Охлаждение. Ступенчатое сжатие 21

Глава 2. ЛОПАСТНЫЕ КОМПРЕССОРЫ 25

§ 2.1. Характеристики лопастных компрессоров. Пересчёт характеристик 25

§ 2.2. Особенности регулирования лопастных компрессоров 28

§ 2.3. Центробежные компрессоры. Принцип действия и устройство 30

§ 2.4. Рабочий процесс в динамическом компрессоре 40

§ 2.5. Внутренний политропический КПД неохлаждаемого компрессора 43

§ 2.6. Газодинамические характеристики 46

§ 2.7. Безразмерные и приведенные характеристики 49

§ 2.8. Основы расчёта ступени центробежного компрессора 52

§ 2.9. Осевые компрессоры 59

§ 2.10. Основы расчёта осевого компрессора 66

Глава 3. ОБЪЁМНЫЕ КОМПРЕССОРЫ 76

§ 3.1. Поршневые компрессоры. Принцип действия, устройство, классификация 76

§ 3.2. Рабочие органы и системы поршневых компрессоров 82

§ 3.3. Типовые конструкции поршневых компрессоров 90

§ 3.4. Компрессоры, применяемые на нефтяных и газовых промыслах. Газомотокомпрессоры (ГМК) 93

Глава 4. ОДНОСТУПЕНЧАТОЕ СЖАТИЕ В ПОРШНЕВОМ КОМПРЕССОРЕ 100

§ 4.1. Рабочий процесс в цилиндре компрессора 100

§ 4.2. Объёмный расход газа на входе одноступенчатого компрессора 102

§ 4.3. Мощность одноступенчатого компрессора 105

§ 4.4. Характеристики одноступенчатого компрессора 108

Глава 5. СТУПЕНЧАТОЕ СЖАТИЕ ГАЗА В ПОРШНЕВОМ КОМПРЕССОРЕ 113

§ 5.1. Назначение и схема ступенчатого сжатия 113

§ 5.2. Мощность компрессора при ступенчатом сжатии 115

§ 5.3. Промежуточные давления 117

§ 5.4. Расчёт основных размеров ступеней компрессора 120

Глава 6. РОТОРНЫЕ КОМПРЕССОРЫ 123
§ 6.1. Общие сведения 123
§ 6.2. Пластинчатые компрессоры 124
§ 6.3. Жидкостно-кольцевые компрессоры 127
§ 6.4. Другие одновальные компрессоры 129
§ 6.5. Коловратный компрессор 131
§ 6.6. Винтовые компрессоры 132
§ 6.7. Винтовые компрессорные установки, применяемые в нефтяной и газовой промышленности 140
Глава 7. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПРЕССОРОВ 142
§ 7.1. Области применения и функции компрессорных машин 142
§ 7.2. Выбор компрессоров 143
§ 7.3. Регулирование компрессорных машин 146
§ 7.4. Испытания компрессоров 154
§ 7.5. Основные сведения об эксплуатации компрессоров 158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 165
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 167
ЛИТЕРАТУРА 170

ВЕДЕНИЕ

Цель предлагаемого учебного пособия – изложить основы теории и расчета, охарактеризовать конструктивные особенности и эксплуатационные условия компрессоров различных типов и помочь студенту в самостоятельном решении вопросов выбора и использования оптимального типа компрессора для конкретных требований горной промышленности.

В пособии рассматриваются принципы действия, указываются рабочие параметры и области применения компрессорных машин.

Рассматриваются термодинамические основы процессов сжатия газов в машинах различных типов. Значительное внимание уделяется теории объемных и лопастных машин, их конструктивному исполнению, методам современного расчета и проектирования. Приводятся рекомендации по монтажу, организации пусконаладочных и ремонтно-профилактических работ при эксплуатации и обслуживании работающего компрессора, анализируется экономичность работы на нерасчетных режимах.

При работе над текстом пособия авторы руководствовались убеждением, что основой инженерных знаний является понимание физической сущности явлений, происходящих в изучаемых машинах, и поэтому в тексте приводится лишь самый необходимый математический аппарат, способствующий усвоению принципа действия компрессоров различных конструкций и достаточный для проведения достоверных расчетов рабочих элементов машин. В конце книги для самопроверки усвоенного материала приведены контрольные вопросы.

Настоящие учебное пособие предназначено студентам, обучающимся по направлению подготовки специальностей: 21.04.05 – «Горное дело», 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование».

В пособии отражены требования учебной программы дисциплины «Стационарные машины» для студентов специальности «Горные машины и оборудование (ГМО)», но может использоваться студентами других направлений и специальностей УГГУ очного и заочного обучения при выполнении аналогичных разделов курсового и дипломного проектирования.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ВИДЫ КОМПРЕССОРОВ

§ 1.1. Виды компрессорных машин

Собирательный термин «компрессорная машина» относится к компрессорам, вентиляторам и вакуумным насосам. Все эти машины предназначены для нагнетания газа из области низкого давления в область высокого давления.

К о м п р е с с о р ы действуют в оптимальном режиме при $\varepsilon > 1{,}15$. Неохлаждаемые компрессоры ($\varepsilon < 2{,}5$-3) называют воздуходувками, нагнетателями или продувочными насосами.

В е н т и л я т о р ы в отличие от других компрессорных машин работают почти без повышения давления (в оптимальном режиме $\varepsilon = 1$-1,15).

В а к у у м н ы е н а с о с ы предназначены для удаления газов и паров из сосудов при давлении в них ниже атмосферного. Степень повышения давления может быть высокой, хотя конечное давление обычно равно атмосферному.

Компрессоры соответственно способу действия можно разделить на три основные группы: объёмные, лопастные и струйные. При классификации по конструктивному признаку объёмные компрессоры подразделяют на поршневые и роторные, а лопастные – на центробежные и осевые.

Кроме того, все компрессоры различаются:

– п о к о н е ч н о м у д а в л е н и ю – низкого давления (до 1 МПа), среднего (до 10 МПа), высокого (до 100 МПа) и сверхвысокого (более 100 МПа);

– р о д у п е р е к а ч и в а е м о г о г а з а – воздушные, кислородные, аммиачные, для природного газа и др.;

– у с л о в и я м э к с п л у а т а ц и и: стационарные (с массивным фундаментом и постоянным обслуживанием); передвижные (перемещаемые при эксплуатации, иногда без постоянного обслуживания); автономные (с собственными вспомогательными системами, включенными в состав агрегата);

– с и с т е м е о х л а ж д е н и я: без искусственного охлаждения, с воздушным охлаждением, с внутренним водяным охлаждением, с внешним охлаждением в одном, двух и т. д. промежуточных охладителях, охлаждаемые впрыскиванием жидкости.

Основными параметрами, характеризующими работу компрессора, являются объёмная подача $\overline{V}$ (исчисляется обычно при условиях всасывания), начальное p_1 и конечное p_2 давления или степень повышения давления $\varepsilon = p_2 / p_1$,

частота вращения n и мощность N на валу компрессора. Ориентировочные значения основных параметров компрессорных машин различных типов, применяемых в промышленности, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Основные характеристики компрессорных машин

Тип	Назначение	Подача $м^3$ / мин	Степень повышения давления	Частота вращения n, об/мин
Поршневые	Вакуум-насосы	0 – 100	1 – 50	60 – 1500
	Компрессоры	0 – 500	2,5 –1000	100 – 3000
Роторные	Вакуум-насосы	0 – 100	1 – 50	250 – 6000
	Газодувки	0 – 500	1,1 – 3	300 – 15000
	Компрессоры	0 – 500	3 – 12	300 – 15000
Центробежные	Вентиляторы	0 – 6000	1 – 1,15	300 – 3000
	Газодувки	0 – 5000	1,1 – 4	300 – 3000
	Компрессоры	100 – 4000	3 – 20	1500 – 45000
Осевые	Вентиляторы	50 – 10000	1 – 1,04	750 – 10000
	Компрессоры	100 – 15000	2 – 20	500 – 20000

Ниже рассмотрены принципиальные конструктивные схемы компрессорных машин.

Поршневой компрессор (однопоршневой, с одной ступенью сжатия) приведен на рис. 1.1. При возвратно-поступательном движении поршня осуществляются фазы процесса: расширение, всасывание, сжатие и выталкивание. Способ действия поршневого компрессора, основанный на вытеснении газа поршнем, позволяет строить конструкции с малым диаметром и ходом поршня, развивающие высокое давление при относительно малой подаче.

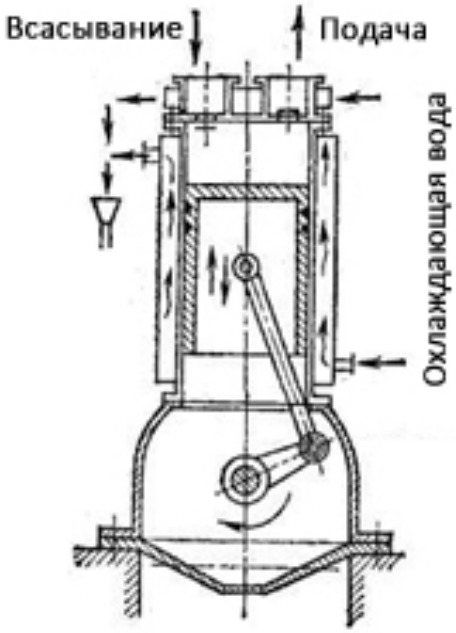


Рис. 1.1. Конструктивная схема поршневого компрессора

Роторный компрессор пластинчатого типа представлен на рис. 1.2. При вращении массивного ротора *2*, в продольных пазах которого могут свободно перемещаться стальные пластины *3*, газ захватывается в межлопастные пространства, переносится от всасывающего патрубка *4* к напорному *5* и вытесняется в трубопровод. Вал роторного компрессора может соединяться с ва-

лом приводного двигателя, без редуктора. Это обусловливает компактность и малую массу установки в целом.

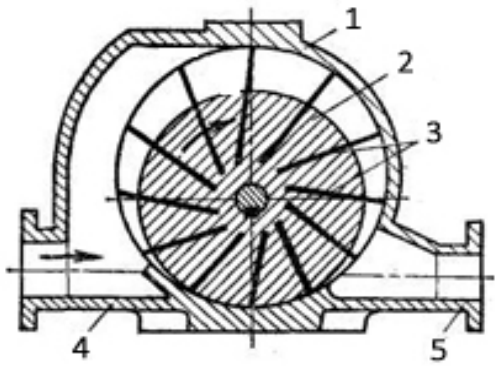


Рис. 1.2. Конструктивная схема роторного компрессора:

1 – корпус; *2* – ротор; *3* – пластины; *4* – всасывающий патрубок; *5* – подающий патрубок

Центробежный компрессор (рис. 1.3) действует аналогично центробежному насосу. Вал центробежного компрессора соединяется с валом приводного двигателя (электродвигатель, паровая турбина) или непосредственно, или через механическую передачу, повышающую частоту вращения вала компрессора, чем достигается уменьшение размеров компрессора, снижаются его масса и стоимость.

Осевой компрессор схематически изображен на рис. 1.4. Конструкция состоит из массивного ротора с несколькими венцами рабочих лопастей и корпуса, несущего венцы неподвижных направляющих лопастей. Газ всасывается в приемный патрубок и, двигаясь в осевом направлении, сжимается последовательно в лопастных ступенях компрессора. Через напорный патрубок газ вытесняется в трубопровод, ведущий к потребителям.

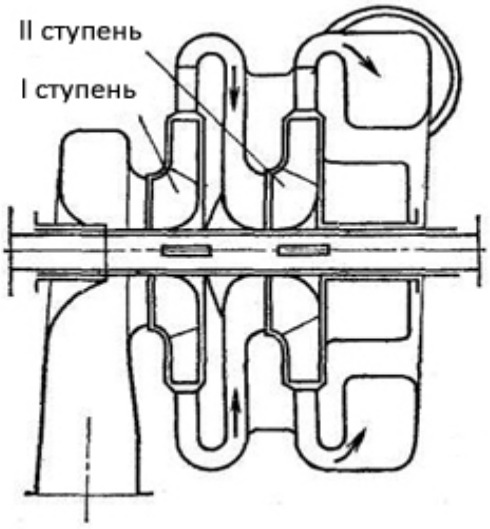


Рис. 1.3. Конструктивная схема двухступенчатого центробежного компрессора

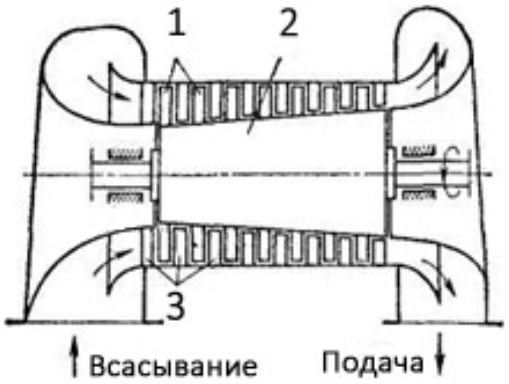


Рис. 1.4. Схема осевого компрессора (семиступенчатого):

1 – рабочие лопасти; *2* – ротор; *3* – направляющие лопасти

Привод осевых компрессоров – от электродвигателей, паровых и газовых турбин.

§ 1.2. Термодинамика компрессорного процесса

Простейшая теория компрессорных машин, обладающая практически приемлемой точностью, основывается на термодинамике идеального газа, подчиненного уравнению

$$p = \rho RT. \tag{1.1}$$

При конечном давлении воздушного компрессорного процесса более 10 МПа следует пользоваться уравнением состояния реального газа

$$p = z\rho RT, \tag{1.2}$$

где z– коэффициент сжимаемости. Опытные значения его в зависимости от безразмерных величин $p/p_{кр}$ и $T/T_{кр}$ приведены в технической справочной литературе (например: Шерстюк А. Н. Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Высшая школа, 1972. 342 с.).

Основные уравнения. Совместное использование первого закона термодинамики и уравнения состояния идеального газа приводит к следующим уравнениям процессов сжатия и расширения, происходящих в компрессорах:

политропный процесс $\left.\begin{matrix} p/\rho^n = \text{const} \\ p \cdot v^n = \text{const} \end{matrix}\right\}$ (1.3)

адиабатный процесс $\left.\begin{matrix} p/\rho^k = \text{const} \\ p \cdot v^k = \text{const} \end{matrix}\right\}$ (1.4)

изотермический процесс $\left.\begin{matrix} p/\rho = \text{const} \\ p \cdot v = \text{const} \end{matrix}\right\}$ (1.5)

Политропный процесс является общим видом термодинамического процесса и протекает в компрессорах в зависимости от внешних и внутренних условий с показателем n = 1,15 – 1,80.

Адиабатным называют процесс без теплообмена с внешней средой; в таком процессе возможно внутреннее образование теплоты за счет работы газового трения и вихреобразования. Строго адиабатный процесс в компрессорах получить нельзя вследствие невозможности полной тепловой изоляции газового потока от окружающей среды.

Кроме процессов (1.3) – (1.5) в теории компрессоров рассматривают процесс изоэнтропный, характеризующийся постоянством энтропии в результате отсутствия теплообмена с окружающей средой и внутреннего тепловыделения, обусловленного газовым трением в потоке. В реальных компрессорах, очевидно, изоэнтропный процесс невозможен.

Диаграммы *TS* и *pv*. Указанные процессы удобно изображать графически в координатах *T*-*S* (рис. 1.5).

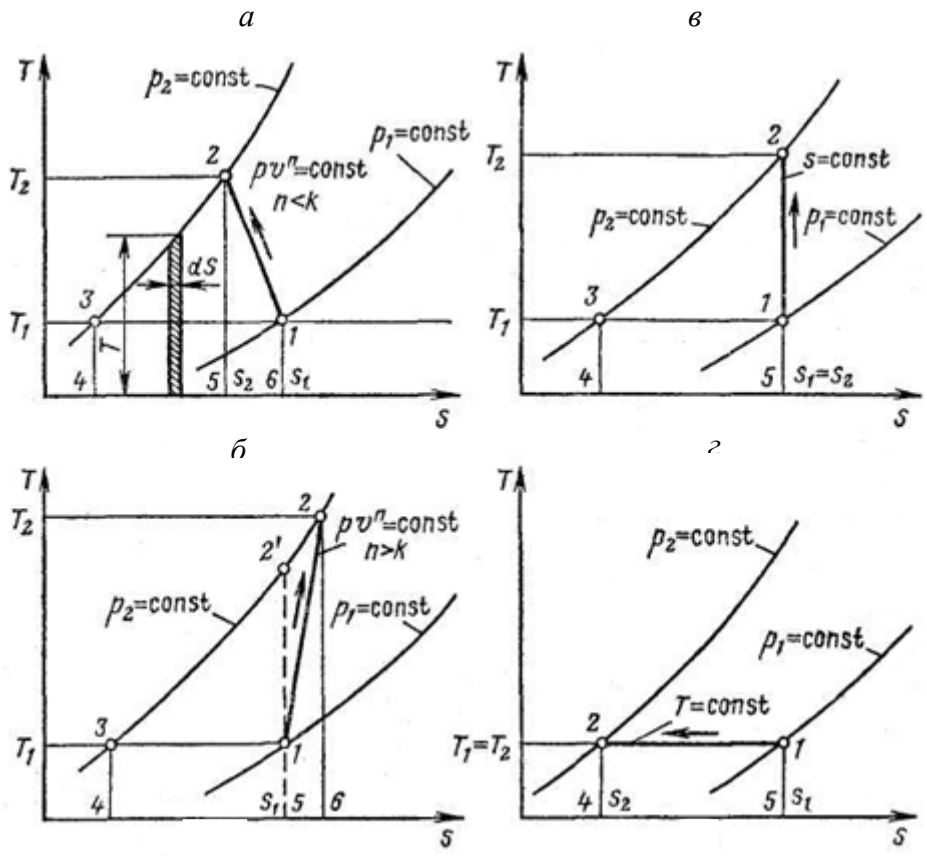


Рис. 1.5. *T-S* – диаграммы компрессорных процессов, описываемых формулами (1.3) – (1.5)

Здесь представлены основные виды компрессорных процессов: политропный $n < k$, свойственный компрессорам с интенсивным водяным охлаждением (см. рис. 1.5, *а*);

политропный $n > k$, типичный для лопастных (центробежных и осевых) компрессоров (см. рис. 1.5, *б*);

изоэнтропный с S = const (см. рис.1.5, *в*);

изотермический с T = const (см. рис. 1.5, *г*).

Процессы на рис. 1.5, *в* и *г* в компрессорах неосуществимы, первый – потому что образование теплоты за счет внутреннего газового трения проявляется весьма существенно, второй – по причине невозможности выполнить конструкцию охлаждающей системы компрессора так, чтобы она обеспечивала сжатие газа при постоянной температуре. Как будет показано ниже, эти два процесса используются для оценки энергетической эффективности компрессоров.

Отметим свойства термодинамических диаграмм компрессорных процессов, показанных на рис. 1.5.

Процесс сжатия во всех случаях представляется линиями *1-2*. На рис. 1.5, *а* и *б* сжатие (повышение давления) сопровождается изменением энтропии и повышением температуры газа. При этом увеличивается энтальпия газа.

В политропном компрессорном процессе при $n < k$ линия *1-2* представляет собой процесс сжатия, протекающий в рабочей полости (цилиндре, каналах колеса и корпуса) компрессоров; линия *2-3* – процесс изобарного охлаждения сжатого газа, уходящего из компрессора. Этот процесс протекает в охладителе компрессора и трубопроводной сети.

Соответственно закону сохранения энергии, работа, затрачиваемая компрессором на сжатие и выталкивание газа (без учета механических потерь), представляется суммой теплот, отводимых от газа в процессах сжатия и изобарного охлаждения.

Воспользуемся основным определением энтропии в элементарном тепловом процессе:

$$dS = dQ/T.$$

Для процессов *1-2* и *2-3*

$$Q_{1-2} = \int_1^2 TdS; Q_{2-3} = \int_2^3 TdS.$$

Подынтегральные произведения являются элементарными площадями процессов сжатия и охлаждения, изображенных в *T-S*-диаграмме. Следовательно, количество энергии в тепловых единицах, подводимое к газу для осуществления компрессорного процесса, представляется суммой площадей диаграммы*1-2-5-6* и *2-3-4-5*.

При сжатии газа по политропе с показателем $n > k$ (см. рис. 1.5), что характерно для компрессоров с воздушным или неинтенсивным водяным охлаждением, площадь *1-2-6-5* под политропой *1-2* процесса сжатия представляет собой количество теплоты, образующейся в потоке вследствие газового трения и вихреобразования.

Энергия, подводимая к компрессору, расходуется на проведение компрессорного процесса (сжатие и проталкивание) и работу газового трения в проточной полости. Работа компрессорного процесса представляется площадью *1-2-3-4-5*. Следовательно, полная энергия, расходуемая компрессором (без энергии, идущей на покрытие механических и объемных потерь), выражается площадью *2-3-4-6*.

Если бы процесс в компрессоре протекал по изоэнтропе*1-2′*, то полная затрата энергии была бы равна площади *1-2′-3-4-5*, т. е. была бы меньше на раз-

мер площади *1-2'-2-6-5*. Следовательно, увеличение энергии, расходуемой компрессором, при переходе от изоэнтропного процесса к реальному политропному с $n > k$ сопровождается увеличением потребления энергии, равным площади *2'-2-6-5-1*. Очевидно, площадь *1-2'-2* представляет собой энергию, затрачиваемую дополнительно на сжатие и проталкивание объема, появляющегося в результате нагрева газа в процессе трения и вихреобразования.

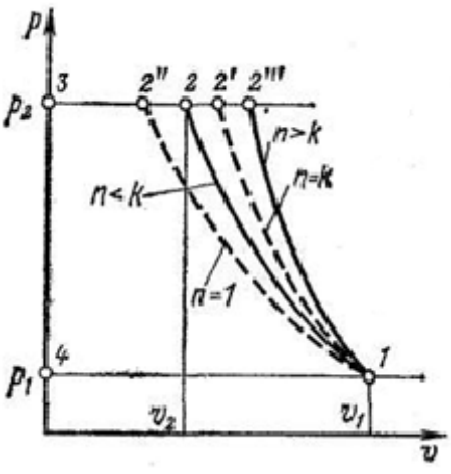


Рис. 1.6. p, υ-диаграммы компрессорных процессов, описываемых формулами (1.3) – (1.5)

Изложенные соображения применимы и к рассмотрению *T-S*-диаграмм изоэнтропного и изотермического процессов (см. рис. 1.5, *в* и *г*).

Наименьшее количество энергии затрачивается в компрессорном процессе с изотермическим сжатием (см. рис. 1.5, *г*). Эта энергия представляется площадью *1-2-4-5*.

В некоторых случаях удобно изображать компрессорные процессы на p, υ -диаграмме (рис. 1.6). Здесь сплошной линией *1-2* показан процесс при политропном сжатии с $n < k$, протекающий в проточной полости компрессора. Процесс охлаждения *2-3* теоретически проходит по изобаре $p_2 = \text{const}$, в действительных условиях несколько отклоняется от изобары.

Изотермическое сжатие изображается штриховой линией *1-2''*, изоэнтропное – *1-2'*, адиабатное при $n > k$ – линией *1-2'''*.

Уравнения работы компрессорных процессов. Поскольку компрессоры, как и насосы, служат для перемещения текущих тел, к ним формально применимы понятия, используемые в качестве технических показателей насосов: удельная полезная работа или напор, полезная мощность, КПД.

Действительно, выражение работы, переданной потоку газа рабочими органами компрессора, полученное из баланса работ в проточной машине, выглядит так же, как для насосов:

$$-L^{*}_{1-2} = \left[\int_1^2 V dp + mg(z_2 - z_1) + m\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}\right] + L^{**}_{1-2},$$

отличаясь тем, что работа изменения давления ($-W_{1\text{-}2}$) определена не по разности конечного и начального давлений $V(p_2 - p_1)$, а интегралом.

Переходя к удельным величинам, отделяя потери и пренебрегая вследствие малости слагаемым $g(Z_2 - Z_1)$, получим выражения удельной полезной работы и напора:

$$l = \int_1^2 \upsilon dp + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2);$$

$$H = l/g,$$

где υ – удельный объём ($\upsilon = V/m$); $\upsilon = 1/\rho$.

Понятие «давление» в том смысле, которое оно имеет для насосов, для компрессоров не существует, так как V и ρ – переменные.

Поэтому определения l и H – формальные. Дело в том, что для вычисления интеграла главной части полезной работы (работы изменения давления $\int_1^2 Vdp$) необходимо проследить за всеми особенностями сложного процесса сжатия газа в компрессоре. Сложность в том, что, во-первых, зависимость $V = f(p)$ в интеграле работы определяется условиями теплообмена (его направлением и интенсивностью), которые, в свою очередь, зависят от системы охлаждения машины и, кроме того, изменяются с температурой сжимаемого газа на его пути от всасывающего до нагнетательного патрубка. Во-вторых, газовый поток неоднороден в том смысле, что состояние газа в различных частях потока изменяется по-разному. Некоторая часть потока газа (перетекания или остатки газа в компрессорной камере) имеет параметры, отличающиеся от параметров основной части потока. Определение средних параметров неоднородного потока сопряжено с большими трудностями.

Вследствие этого понятие полезной работы и производные его (т. е. l, H, p, N_n) как количественные показатели действия компрессора практического значения не имеют. Их функции (выражать нагрузку на машину и определять КПД) выполняют другие величины.

На графике характеристики компрессора указывают непосредственно конечное p_2 и начальное давления p_1 (средние их значения) или **степень повышения давления** $\varepsilon = p_2 / p_1$.

Удельная работа l, затрачиваемая в компрессорном процессе при сжатии и выталкивании 1 кг массы газа, выражается площадью $p - \upsilon$ – диаграммы, ограниченной изобарами начального p_1 и конечного p_2 давлений, политропой сжатия и осью ординат (см. рис. 1.5, *б*).

Для процесса с $n < k$

$$l = -\int_1^2 pd\upsilon + p_2\upsilon_2 - p_1\upsilon_1.$$

Из уравнения политропного сжатия $pv^n = p_1v_1^n$ имеем $p = p_1v_1^n/v^n$, и, следовательно,

$$l = -p_1v_1^n \int_1^2 \frac{dv}{v^n} + p_2v_2 - p_1v_1 ,$$

После интегрирования и алгебраических преобразований получим:

$$l = \frac{n}{n-1} p_1v_1 \left[(p_2/p_2)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] . \quad (1.6)$$

Связь между давлениями и температурами в политропных процессах определяется соотношением

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} . \quad (1.7)$$

Поэтому

$$l = \frac{n}{n-1} p_1v_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right). \quad (1.8)$$

Присоединив к формуле (1.8) уравнение состояния, записанное для начальных параметров $p_1\upsilon_1 = RT_1$, получим:

$$l = \frac{n}{n-1} R(T_2 - T_1). \quad (1.9)$$

Уравнения политропного и изоэнтропного процессов (1.3) и (1.4) совершенно идентичны и разнятся только значением показателей. Поэтому для изоэнтропного компрессорного процесса можно записать следующие соотношения:

$$l_a = \frac{k}{k-1} p_1v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]; \quad (1.10)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_{2a}}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}; \quad (1.11)$$

$$l_a = \frac{k}{k-1} p_1v_1 \left(\frac{T_{2a}}{T_1} - 1\right); \quad (1.12)$$

$$l_a = \frac{k}{k-1} R(T_{2a} - T_1). \quad (1.13)$$

Последние с помощью известных соотношений $R = c_p - c_v$ и $k = c_p/c_v$ легко преобразуются в уравнение

$$l_a = c_p(T_{2a} - T_1) = i_{2a} - i_1, \quad (1.14)$$

выражающее работу изоэнтропного компрессорного процесса через начальную и конечную энтальпии сжимаемого газа.

Для изотермического компрессорного процесса $pv = p_1v_1 = p_2v_2$ из p, υ – диаграммы имеем:

$$l_{из} = -\int_1^2 pdv + p_2v_2 - p_1v_1 = -\int_1^2 pdv.$$

Имея в виду, что $p = p_1\upsilon_1 / \upsilon$, получаем:

$$l_{из} = -\int_1^2 p_1 v_1 \frac{dv}{v},$$

или

$$l_{из} = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (1.15)$$

Приведенные соотношения (1.6) – (1.15) позволяют определять затраты энергии на проведение компрессорного процесса, но не дают открытого ответа на вопрос о распределении израсходованной энергии на изменение отдельных параметров процесса.

Последнее может быть выполнено использованием условия сохранения энергии: энергия, расходуемая в компрессорном процессе, идет на изменение энтальпии и кинетической энергии газа и покрытие потерь в окружающую среду. Это условие можно записать в самом общем виде как уравнение баланса энергии компрессорного процесса:

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} + l = i_2 + \frac{c_2^2}{2} \pm q \quad (1.16)$$

или

$$l = c_p(T_2 - T_1) + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \pm q. \quad (1.17)$$

В теории и расчетах компрессорных процессов принято использовать *параметры торможения*. Напомним сущность этого понятия.

Если изоэнтропный газовый поток с температурой T и скоростью c полностью затормаживается, то его кинетическая энергия превращается в теплоту и температура газа повышается до T^*, называемой *температурой торможения*. Очевидно, соотношение баланса энергии

$$c_p T + \frac{c^2}{2} = c_p T^*;$$

$$T^* = T + \frac{c^2}{2c_p}. \quad (1.18)$$

Следовательно, в соответствии с выражением (1.17), удельная энергия изоэнтропного процесса может быть выражена через температуры торможения:

$$l = c_p(T_2^* - T_1^*). \quad (1.19)$$

Давления и температуры в изоэнтропных процессах связаны соотношением (1.11). Поэтому параметр давления торможения может быть определён из этого уравнения:

$$p^* = p\left(\frac{T^*}{T}\right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (1.20)$$

Подача компрессора. Расход газа на входе в компрессор и выходе из него различен не только по объёму, что обусловлено сжатием перекачиваемого газа, но и по массе. Последнее объясняется:

а) негерметичностью машины (внешние утечки и подсасывание воздуха из атмосферы через уплотнения вала и (или) штока);

б) выпадением из поступающего газа различных жидкостей (воды, смазочного масла, газового конденсата);

в) неполным отделением впрыскиваемой (для охлаждения, уплотнения зазоров смазки) жидкости.

Поэтому различают следующие величины:

1. **Объёмный расход газа на входе в компрессор** $\overline{V}_{\text{н}}$. Соответствующий массовый расход $\overline{m}_{\text{н}} = \rho_{\text{н}} \overline{V}_{\text{н}}$, где $\rho_{\text{н}}$ – начальная плотность газа.

2. **Массовая подача компрессора** $\overline{m}_{\text{к}}$ – массовый расход газа в контрольном сечении на выходе из компрессора. При измерении объёмного расхода газа $\overline{V}_{\text{к}}$ в том же сечении массовая подача определяется по формуле $\overline{m}_{\text{к}} = \rho_{\text{к}} \overline{V}_{\text{к}}$, где $\rho_{\text{к}}$ – конечная плотность газа.

3. **Объёмная подача сухого газа** $\overline{V}_0$ – объёмный расход на выходе, пересчитанный на условия состояния газа, соответствующие стандарту.[1]

Объёмный расход $\overline{V}_{\text{н}}$ зависит от размеров компрессора, частоты циклов действия и режима работы, в меньшей степени – от состава и температуры всасываемого газа. В отличие от $\overline{V}_{\text{н}}$, массовый расход зависит также от плотности поступающего газа, вследствие чего значение $\overline{V}_0$ привязано к определённым начальным условиям (см. примечание[1] на предыдущей странице).

§ 1.3. Мощность и КПД компрессора

Мощность и КПД компрессора. Мощность компрессора:

$$N = \frac{\rho \overline{V} l}{\eta_0 \eta_{\text{м}}}, \qquad (1.21)$$

где ρ – плотность газа, поступающего в компрессор, кг/м^3; $\overline{V}$ – объёмная подача компрессора, м^3/с; l – удельная работа компрессорного процесса, Дж/кг; $\eta_{\text{о}}$ –

---

[1] По ГОСТ 2939 – 63:20 °С, 760 мм рт. ст., относительная влажность = 0.

Черта над символами здесь и ниже означает расход (в отличие от объёма или массы – без черты).

объёмный коэффициент, учитывающий потери объёма газа вследствие перетекания через зазоры уплотнений компрессора; $\eta_м$ – механический КПД компрессора, учитывающий расход энергии на преодоление механического трения и привод вспомогательных механизмов (масляных насосов, вентиляторов и насосов системы охлаждения, если они приводятся от вала компрессора).

Числовые значения $\eta_о$ и $\eta_м$ для компрессоров различных типов приведены в соответствующих разделах учебного пособия.

Что касается КПД, то вместо истинного его значения используется значение, получаемое при замене реального рабочего процесса схематизированным. Принимают, что процесс сжатия происходит по политропе с постоянным показателем *n*:

$$pv^n = idem,$$

считая, что газовый поток однородный.

Удельная работа изменения давления при таком процессе

$$w_{1-2} = -\int_1^2 vdp = -\frac{n}{n-1}(p_2v_2 - p_1v_1).$$

Используя понятие «характеристика сжатия»:

$$\tau_{1,2} = \frac{p_2v_2}{p_1v_1} = \varepsilon^{\frac{n-1}{n}} \qquad (1.22)$$

получим следующие варианты предыдущей формулы:

$$w_{1-2} = -p_1v_1\frac{n}{n-1}\left(\tau_{1,2} - 1\right) = -p_1v_1\left(\varepsilon^{\frac{n-1}{n}} - 1\right) = -p_1v_1y(\varepsilon, n). \qquad (1.23)$$

Вспомогательную функцию двух аргументов

$$y(\varepsilon, n) = \frac{n}{n-1}\left(\varepsilon^{\frac{n-1}{n}} - 1\right) \qquad (1.24)$$

можно определить по графику (рис. 1.7).

Показатель политропы *n* выбирают применительно к реальному процессу.

Если процесс близок к адиабатическому, принимают $n = k$, где *k* – показатель адиабаты (для идеального газа), определяемый по составу газа.

Из формулы (1.23) и формулы для определения *l* вытекают выражения адиабатической удельной работы, адиабатической мощности и внутреннего адиабатического КПД:

$$l_{ад} = p_1v_1y_{ад} + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2); \quad N_{ад} = l_{ад}\overline{m}; \quad \eta_{ад.в} = \frac{N_{ад}}{N_к}.$$

Здесь $N_к$ – внутренняя мощность компрессора. Как и для насоса, это мощность взаимодействия рабочих органов с потоком текучей среды, в данном случае – газа.

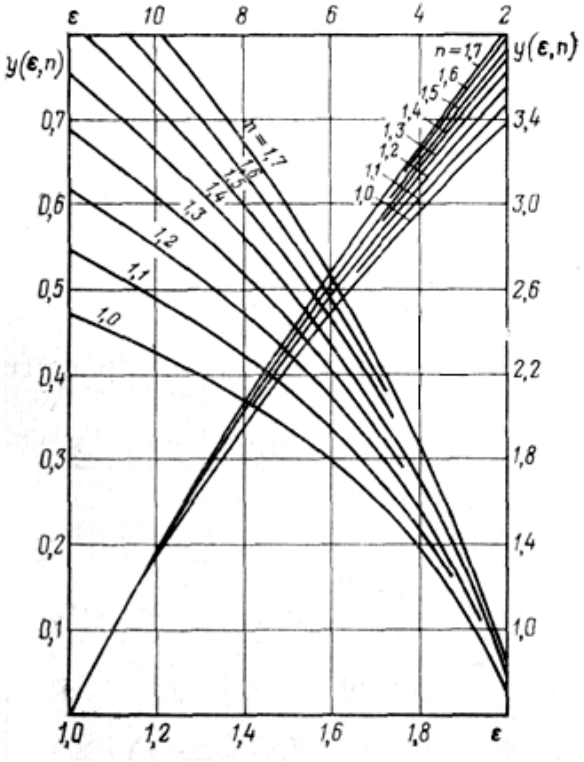


Рис. 1.7. График вспомогательной функции $y(\varepsilon, n)$

Заметим, что для учёта влияния на КПД внешних утечек с массовым расходом $\overline{m}_y$ адиабатическая мощность подсчитывается по «полезной» части массового расхода на входе в компрессор:

$$\bar{m} = \overline{m_1} - \overline{m_y}.$$

Если пренебречь изменением кинетической энергии газа, то формулу адиабатической мощности можно представить так:

$$N_{\text{ад}} = p_1 \bar{V} y_{\text{ад}},$$

где $\bar{V} = v_1 \bar{m}$.

Аналогичные выражения получают для изотермического процесса сжатия, который служит эталоном для такого реального процесса, в котором текущая температура газа мало отличается от начальной.

При $n = 1$ (изотерма идеального газа) выражение (1.24) приводит к неопределённости. Используя условие $p\upsilon = idem$ для вычисления интеграла $w_{1\text{-}2}$, видим, что $y_{\text{из}} = ln\varepsilon$. Изотермическая мощность и внутренний изотермический КПД:

$$N_{\text{из}} = l_{\text{из}} \bar{m} \ln \varepsilon \approx p_1 \bar{V} \ln \varepsilon; \quad \eta_{\text{из.в}} = N_{\text{из}} / N_{\text{к}}.$$

Подобным же образом для других числовых значений n формулируются понятия политропической мощности и внутреннего политропического КПД:

$$N_{\text{пол}} = l_{\text{пол}} \bar{m} \eta_{\text{пол.в}} = N_{\text{пол}} / N_{\text{л}}.$$

Приведенные формулы можно использовать:

1) при испытании действующего компрессора с целью построения графика его характеристики;

2) для определения потребной мощности проектируемой компрессорной установки.

В первом случае измеряют расход газа и мощность компрессора, а затем вычисляют тот или другой КПД. Об определении значения n для внутреннего политропического КПД говорится далее. Относительный КПД[2] в данном случае является, как и внутренний КПД насоса, показателем режима, а при сравнении однотипных машин – также критерием эффективности затраты энергии на сжатие газа в одинаковых условиях.

Чем ближе реальный процесс к выбранному эталонному, тем меньше относительный КПД отличается от внутреннего КПД.

Во втором случае внутреннюю мощность можно вычислить так:

$$N_{\text{к}} = N_{\text{ад}}/\eta_{\text{ад.в}} = N_{\text{из}}/\eta_{\text{из.в}} = N_{\text{пол}}/\eta_{\text{пол.в}}$$

Вариант формулы выбирают в зависимости от того, какой КПД известен по статистическим данным испытаний компрессоров данного типа. Здесь относительный КПД выполняет другую роль: он служит коэффициентом мощности, т. е. поправкой, позволяющей перейти от теоретической мощности $N_{\text{ад}}$ (или $N_{\text{из}}$, или $N_{\text{пол}}$), рассчитываемой по условиям перекачивания газа, к реальной внутренней мощности компрессора.

Мощность компрессора – сумма внутренней мощности и мощности механического трения (потери мощности в частях машины, изолированных от потока газа): $N = N_{\text{к}} + N_{\text{м}}$.

Механический КПД $\eta_{\text{м}} = N_{\text{к}}/N$.

Изотермический КПД $\eta_{\text{из}} = N_{\text{из}}/N = \eta_{\text{из.в}}\eta_{\text{м}}$.

Аналогичны определения для адиабатического и политропического КПД.

Мощность на валу компрессора $N_{\text{в}} = N_{\text{всп}} + N$, где $N_{\text{всп}}$ – мощность вспомогательных механизмов (масляного насоса, вентилятора и др.).

Совершенство компрессорного процесса оценивают при помощи относительных термодинамических КПД – изотермического $\eta_{\text{из}}$ и изоэнтропного $\eta_{\text{а}}$.

Если действительный политропный процесс протекает в компрессоре с показателем n при удельной энергии l, то изотермический и изоэнтропный КПД

$$\eta_{\text{из}} = l_{\text{из}}/l\ ; \qquad (1.25)$$

---

[2] Собирательный термин для величин $\eta_{\text{ад.в}}$, $\eta_{\text{из.в}}$, $\eta_{\text{пол.в}}$.

$$\eta_{\text{а}} = l_{\text{а}}/l. \tag{1.26}$$

Здесь $l_{\text{из}}$ и $l_{\text{а}}$ – удельные работы изотермического и изоэнтропного процессов, определяемые формулами (1.13) и (1.15).

Изотермический КПД $\eta_{\text{из}}$ применяют для оценки компрессоров с интенсивно действующим водяным охлаждением (поршневых и роторных). Для этих компрессоров изотермический процесс, обладающий наименьшей удельной энергией, является эталонным.

Компрессоры с неинтенсивным охлаждением (центробежные и осевые) оцениваются при помощи изоэнтропного КПД $\eta_{\text{а}}$. Это объясняется тем, что для компрессоров этого типа изоэнтропный процесс является эталонным, наиболее совершенным.

Значения $\eta_{\text{из}}$ и $\eta_{\text{а}}$ для компрессоров различных типов приведены далее.

Установим основные, важные в расчётной практике соотношения, связывающие относительный изоэнтропный КПД с термодинамическими параметрами торможения процесса.

Из формул (1.1) и (1.10) следует:

$$l_{\text{а}} = \frac{k}{k-1} R T_1^* \left[\left(p_2^* \Big/ p_1^* \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right].$$

Действительный процесс является политропным, и для него формулу (1.17) можно записать в параметрах торможения при условии $q = 0$ так:

$$l = c_p (T_2^* - T_1^*); \tag{1.27}$$

Из этих соотношений следует:

$$\eta_{\text{а}} = \frac{\left(p_2^* \Big/ p_1^* \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\frac{T_2^*}{T_1^*} - 1}. \tag{1.28}$$

Формула для расчёта относительного изотермического КПД для оценки объёмных одноступенчатых компрессоров с интенсивным охлаждением получается из выражений (1.15) и (1.25):

$$\eta_{\text{из}} = \frac{R \ln \frac{p_2}{p_1}}{c_p \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}. \tag{1.29}$$

Расчёт с использованием параметров торможения здесь не имеет смысла, потому что в начале и конце процесса сжатия скорости газового потока незначительны.

§ 1.4. Охлаждение. Ступенчатое сжатие

Давления, создаваемые компрессорами, работающими в технологических схемах производств, достигают больших значений. Однако получение высокого давления в одной ступени компрессора (в одном компрессорном процессе) затруднительно. Причиной этого в объемных компрессорах (поршневых и роторных) является чрезмерное повышение температуры в конце сжатия, обусловленное невозможностью создания конструкции компрессора с достаточно интенсивным отводом теплоты от сжимаемого газа. В компрессорах лопастных (центробежных и осевых) причина кроется в недопустимости таких скоростей рабочих лопастей, выполненных из материала с определенной прочностью, которые обеспечили бы требуемое высокое давление при достаточно высоком КПД процесса. Поэтому следует, во-первых, применять возможно более интенсивное охлаждение газа в процессе сжатия его и, во-вторых, производить сжатие в последовательно соединенных ступенях, осуществляя понижение температуры газа в охладителях, включенных в поток между ступенями.

Общая схема компрессора со ступенчатым сжатием представлена на рис. 1.8.

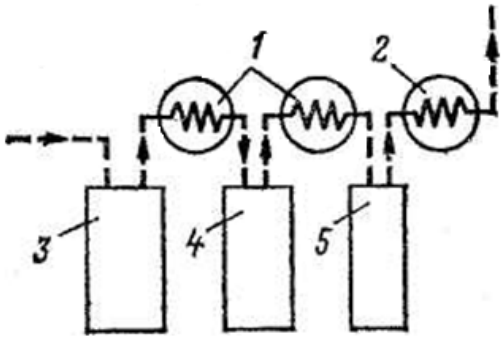


Рис. 1.8. Схема компрессора со ступенчатым сжатием:

1 – охладители I и II ступеней;
2 – конечный охладитель;
3, *4*, *5* – охладители соответственно I, II и III ступеней

Применение ступенчатого сжатия с охлаждением газа в охладителях между ступенями дает большую экономию в энергии, расходуемой на привод компрессора. Это отчетливо видно на *T-S*- и *p-υ*-диаграммах двухступенчатого компрессора (рис. 1.9).

Если сжатие производить в одной ступени, то линия сжатия изобразится политропой *1'-2* с показателем $n > k$. При сжатии для того же интервала давлений в двух ступенях процесс изобразится ломаной линией *1'-2'-1"-2"*, состоящей из двух политроп – *1'-2'* и *1"-2"* и изобары *2'-1"*, представляющей собой охлаждение в промежуточном охладителе при давлении $p_{пр}$ = const. В обеих диаграммах экономия энергии от сжатия в двух ступенях с промежуточным охлаждением выражается заштрихованными площадками *1"-2'-2-2"*.

В современных компрессорах применяют:

1. *Охлаждение компрессора подачей воды в специально выполненные полости в отливке корпуса* (*внутреннее охлаждение*). Этот способ существенно

улучшает условия смазки поршневых компрессоров. Добиться этим способом существенной экономии энергии, приближая процесс сжатия к изотермическому, не удается. Причина этого – затрудненные условия теплообмена между потоками газа и охлаждающей водой.

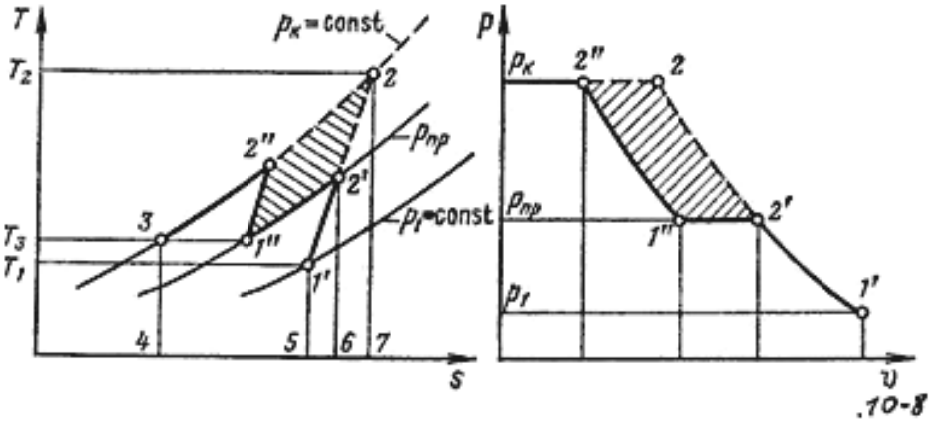


Рис. 1.9. *S*-, *T*- и *p*-, *υ*-диаграммы двухступенчатого компрессора:

1'-2' – политропное сжатие в первой ступени; *2'-1''*– изобарное охлаждение в промежуточном охладителе; *1''-2''* – сжатие до конечного давления во второй ступени. Площадь *1''-2'-2-2''* – экономия энергии от применения двухступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением

2. *Охлаждение газа в охладителях, устанавливаемых между отдельными ступенями* (*выносное охлаждение*). При этом способе охлаждения, используя трубчатые охладители с большой площадью поверхности, можно получить существенную экономию в расходе энергии. В центробежных компрессорах охладители располагают обычно между группами ступеней, получая таким образам более простую конструкцию установки. Известны уникальные конструкции компрессоров с охладителями после каждой центробежной ступени. Такие компрессоры называют *изотермическими*. Они экономичны в эксплуатации, но конструктивно сложны, и стоимость их велика.

3. *Комбинированное* (*внутреннее и выносное*) *охлаждение*. Этот способ наиболее эффективен и широко применяется, несмотря на конструктивное усложнение и увеличение стоимости установки.

4. *Охлаждение впрыском охлаждающей воды в поток газа перед первой ступенью компрессора*. При этом способе теплота газа частично расходуется на испарение охлаждающей воды и температура конца сжатия существенно понижается. Недостатком способа является увлажнение газа, что во многих случаях недопустимо.

Количество ступеней. Промежуточное давление

Самым выгодным компрессорным процессом, обусловливающим наименьший расход энергии на привод, является изотермический процесс (см. рис. 1.5).

По указанным ранее причинам такой процесс практически неосуществим. Приближение к изотермическому процессу при заданном общем повышении давления компрессора возможно путем увеличения количества ступеней компрессора при выносном охлаждении и, следовательно, уменьшения степени повышения давления одной ступени. При этом уменьшается мощность привода, но усложняется конструкция компрессорной установки и увеличивается ее стоимость.

В компрессоростроении выработаны нормативы по определению необходимого числа ступеней:

для поршневых и роторных компрессоров – в зависимости от температуры вспышки паров смазочного масла;

для лопастных – в зависимости от допустимых, по условиям прочности, окружных скоростей концов лопастей и минимума потерь энергии в проточной полости машины.

Рассмотрим вопрос о распределении работы по ступеням компрессора и вычислении промежуточного давления. Из термодинамических диаграмм ступенчатого сжатия видно, что промежуточное давление влияет на распределение затрат работы между ступенями компрессора.

Если полная степень повышения давления компрессора $\varepsilon_к = p_к/p_1$ и число ступеней z заданы, то минимум затрат энергии достигается при вполне определенном соотношении энергий отдельных ступеней.

Определение условий минимума энергии, затрачиваемой в компрессорном процессе, может быть произведено с помощью известного математического метода отыскания минимума функции.

Если пренебречь незначительными газовыми сопротивлениями охладителей и полагать, что относительные термодинамические КПД ступеней сжатия одинаковы, то можно, пользуясь указанным приемом, обнаружить, что минимум затрат энергии обеспечивается равенством энергий отдельных ступеней процесса:

$$l_1 = l_2 = l_3 = \cdots = l/z,$$

где l – полная удельная работа многоступенчатого компрессора;

z – число ступеней компрессора.

Полагая, что охлаждение в промежуточных охладителях проводится до начальной температуры компрессорного процесса и показатели политроп сжатия в отдельных ступенях одинаковы, можем записать:

$$T_2' = T_2'' = T_2''' = \cdots = T_2 \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}},$$

где n = const для всех ступеней.

Следовательно, для отдельных ступеней

$$\frac{T_2'}{T_1} = \varepsilon_1^{\frac{n-1}{n}}; \quad \frac{T_2''}{T_1} = \varepsilon_2^{\frac{n-1}{n}}; \quad \frac{T_2'''}{T_1} = \varepsilon_3^{\frac{n-1}{n}}.$$

Поэтому $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \cdots = \varepsilon$ (1.30)

где ε – степень повышения давления одной ступени.

Минимум затрат энергии в ступенчатом компрессорном процессе имеет место при равенстве ступеней повышения давления во всех ступенях.

Очевидны соотношения

$$\left.\begin{array}{c} p_2' = \varepsilon p_1 \\ p_2'' = \varepsilon p_2' = \varepsilon^2 p_1 \\ p_2''' = \varepsilon p_2'' = \varepsilon^3 p_1 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ p_k = \varepsilon^z p_1 \end{array}\right\} \quad (1.31)$$

Отсюда следует, что оптимальная степень повышения давления ступени компрессора

$$\varepsilon = \sqrt[z]{p_к / p_1} = \sqrt[z]{\varepsilon_к}, \quad (1.32)$$

где $p_к$ – конечное давление (за последней ступенью компрессора);

$\varepsilon_к$ – степень повышения давления компрессора в целом;

z – число ступеней компрессора.

При определенной степени повышения давления ступени промежуточные давления определяются формулами (1.31).

В практике компрессоростроения обычно отступают от принципа равномерного распределения затраты энергии по ступеням и относят на ступени высокого давления несколько меньшие степени повышения давления.

В лопастных компрессорах ступень сжатия состоит из совокупности венцов рабочих и направляющих лопастей и число ступеней может быть большим (до 40). В этом случае ступени разбивают на группы (секции) и холодильники ставят между секциями. В пределах группы ступени не охлаждают.

В объемных компрессорах ступень давления состоит из замкнутого герметичного корпуса, в котором перемещается рабочее тело (поршень, двигающийся в цилиндре поршневого компрессора), камер всасывания и нагнетания.

Число ступеней современных компрессоров различных конструкций указано далее.

Глава 2. ЛОПАСТНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

§ 2.1. Характеристики лопастных компрессоров. Пересчёт характеристик

Характеристиками лопастной компрессорной машины называют графически изображенные зависимости между подачей и основными параметрами – конечным давлением (или степенью повышения давления $\varepsilon = p_к/p_1$), мощностью, внутренним (политропным или изотермическим) КПД при определенных свойствах газа и заданной частоте вращения. Аргументом, как правило, считают подачу машины при условии всасывания.

Характеристики получают испытанием на стенде завода-изготовителя при нескольких постоянных частотах вращения; испытание ведут на воздухе.

Характеристики изображают обычно на одном графике для нескольких частот вращения с обязательным указанием начальных температуры и давления и названия перемещаемого газа.

В соответствии с требованиями производства компрессор может работать при частоте вращения, отличающейся от таковой при стендовом испытании. Кроме того, в производственных условиях компрессоры работают с параметрами всасывания, отличающимися от параметров на стенде, и могут служить для подачи газов с физическими свойствами, существенно отличающимися от свойств воздуха. Поэтому компрессорная машина в производственных условиях будет работать иначе, чем на стенде, и характеристики ее будут другими. Отсюда возникает задача пересчета стендовых характеристик на новую частоту вращения, другие условия всасывания и иные физические параметры газа. Точных методов пересчета характеристик с учетом всех влияющих факторов не существует.

Применительно к объему настоящего курса ограничимся рассмотрением приближенного способа пересчета, основанного на следующих допущениях:

1) вследствие больших скоростей газа в проточной полости компрессора значения Re высоки и режимы движения лежат в области автомодельности;

2) число Маха существенно ниже критического, и влияние его при переходе от одного режима к другому не проявляется;

3) параллелограммы скоростей при разных режимах остаются геометрически подобными (сохраняется кинематическое подобие);

4) КПД компрессора в подобных режимах остаются постоянными;

5) охлаждение компрессора неинтенсивное, процесс сжатия близок к изоэнтропному.

Пересчет при изменении частоты вращения. Заданы характеристики компрессора при частоте вращения n_a.

Требуется перестроить характеристики на новую частоту n_b, большую или меньшую n_a, при неизменных составе газа и начальных параметрах.

Объемная подача компрессора определяется по уравнению неразрывности значением абсолютной скорости (радиальной в центробежных машинах и осевой в осевых), которая по условию кинематического подобия пропорциональна окружной скорости и, следовательно, частоте вращения. Поэтому при небольших степенях сжатия для пересчета подачи можно пользоваться обычной формулой пропорциональности:

$$\overline{V_b} = \overline{V_a}\,\frac{n_b}{n_a}\,. \tag{2.1}$$

Пересчёт подачи по (13.1) даёт тем большую неточность, чем выше степень повышения давления.

Из уравнения энергетического баланса компрессорного процесса, связывающего механическую энергию, подводимую к лопастям, с энергией газового потока компрессора, следует, что в изоэнтропном процессе

$$\left(\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1\right) \equiv n^2,$$

где n – частота вращения вала компрессора. Поэтому для двух частот вращения, заданной n_a и назначенной для пересчёта n_b, может быть принята следующая зависимость:

$$\frac{\varepsilon_a^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\varepsilon_b^{\frac{k-1}{k}} - 1} = \frac{n_a^2}{n_b^2}\,. \tag{2.2}$$

Следовательно, степень повышения давления при частоте вращения n_b

$$\varepsilon_b = \left[1 + \left(\frac{n_b}{n_a}\right)^2 \left(\varepsilon_a^{\frac{k-1}{k}} - 1\right)\right]^{\frac{k}{k-1}}\,. \tag{2.3}$$

Для воздушных компрессоров формула (2.3) приближённо записывается:

$$\varepsilon_b \approx \left[1 + \left(\frac{n_b}{n_a}\right)^2 \left(\sqrt[3]{\varepsilon_a} - 1\right)\right]^3. \tag{2.4}$$

По рассчитанным для разных подач значениям ε_b вычисляются давления $p_b = p_1\varepsilon_b$ и строится характеристика для режима b.

При допущениях, указанных ранее, и имея в виду, что мощность компрессора пропорциональна плотности газа, пересчёт мощности можно вести по приближённой формуле

$$N_b = \frac{\rho_b}{\rho_a}\left(\frac{n_b}{n_a}\right)^3 N_a. \qquad (2.5)$$

Пересчёт при изменении физических свойств газа. Физические свойства газа применительно к рассматриваемой задаче характеризуются величинами R, $k = c_p / c_\upsilon$, ν.

Даны характеристики компрессора при начальных температуре T_{1a} и давлении p_{1a} и работе с частотой вращения n_a на газе с константами R_a, k_a, ν_a. Требуется пересчитать характеристики для работы компрессора при неизменной частоте вращения, но на газе с константами R_b, k_b, ν_b и при начальных параметрах T_{1b} и p_{1b}.

Наиболее часто встречаются случаи работы компрессоров на двухатомных газах. Поэтому полагаем $k_a = k_b = 1{,}41$.

Влияние числа Re исключено условием автомодельности, и поэтому влияние вязкости при пересчёте можно не учитывать.

Условие подобия даёт постоянство коэффициента подачи. Поэтому

$$c_{1a}/u_{1a} = c_{1b}/u_{1b} \text{ или } c_{1a} = c_{1b}.$$

Отсюда следует, что $\Omega_1 c_{1a} = \Omega_1 c_{1b}$ или $\overline{V}_{1a} = \overline{V}_{1b}$.

Изменения газовых констант и начальной температуры не влияют на объёмную подачу компрессора.

Полагая удельную энергию изоэнтропного компрессорного процесса не зависящей от начальных условий, можно записать:

$$\frac{k}{k-1} R_a T_{1a}\left(\varepsilon_a^{\frac{k-1}{k}} - 1\right) = \frac{k}{k-1} R_b T_{1b}\left(\varepsilon_b^{\frac{k-1}{k}} - 1\right).$$

Отсюда следует:

$$\varepsilon_b = \left[1 + \frac{R_a T_{1a}}{R_b T_{1b}}\left(\varepsilon_a^{\frac{k-1}{k}} - 1\right)\right]^{\frac{k}{k-1}} \qquad (2.6)$$

или в упрощённой форме при $k = 1{,}41$

$$\varepsilon_b = \left[1 + \frac{R_a T_{1a}}{R_b T_{1b}}\left(\sqrt[3]{\varepsilon_a} - 1\right)\right]^3. \qquad (2.7)$$

Выбирая на заданной характеристике при произвольных $\overline{V}_a$ значения p_a и определяя $\varepsilon_a = p_a / p_{1a}$, по (1.7) рассчитываем $\varepsilon_b = p_b / p_{1b}$, откуда будем

иметь $p_b = \varepsilon_b p_{1b}$. По полученным значениям p_b строится искомая характеристика давления.

Пересчёт характеристики мощности проводится аналогично указанному в предыдущем случае.

§ 2.2. Особенности регулирования лопастных компрессоров

В зависимости от вида потребителей сжатого воздуха компрессорные установки разделяют на две основные группы:

1. Потребители требуют подачи постоянного количества воздуха при переменном давлении (доменные печи, вагранки, специальные аппараты химической технологии).

2. Потребители требуют подачи воздуха с постоянным давлением при изменяющейся подаче (пневматический инструмент, отбойные молотки, пневматический привод, вибраторы различных типов).

В первом случае изменение режима работы компрессора называют *регулированием на постоянную подачу*, во втором – *на постоянное давление*.

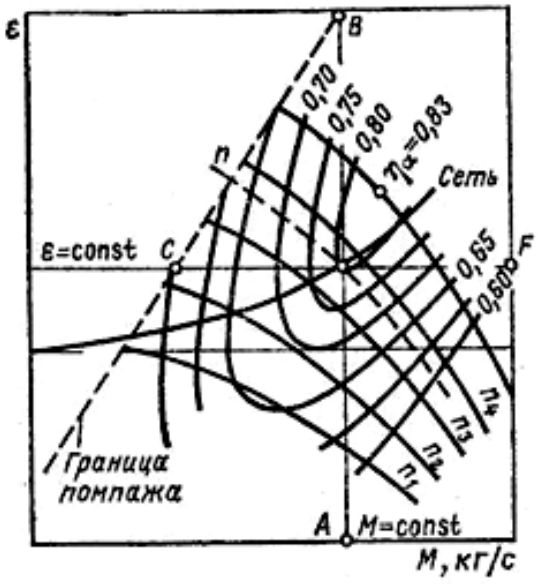


Рис. 2.1. График регулирования компрессора двумя способами: на M = const; на n = const

Рассмотрим характеристику $\varepsilon = f(M)$ компрессора совместно с характеристикой сети (рис. 2.1).

Последняя в случае воздушных сетей высокого давления довольно полога.

Пусть нормальный режим установки определяется точкой при частоте вращения n: $n_3 < n < n_4$.

Если требуется поддерживать подачу $\overline{m}$ = const, то рабочие точки режимов должны располагаться на линии AB, параллельной оси ординат.

Повышение или понижение степени сжатия при $\overline{m}$ = const обусловливается потребителем и может быть достигнуто только изменением частоты вращения вала компрессора. При этом следует иметь в виду, что точка B определяет предельное значение степени сжатия $\varepsilon_{\text{макс}}$. Выход за точку B, лежащую на границе помпажа, недопустим. Поэтому лопастные компрессоры, регулируемые изменением частоты вращения на постоянную подачу,

должны снабжаться предохранительными клапанами, отрегулированными на конечное давление $p_к \approx 0{,}9\varepsilon_{макс} p_1$. Это дает гарантию избежания помпажных режимов.

Если к компрессору предъявляется требование поддержания постоянной степени повышения давления ε = const при переменной подаче, то возможные режимные точки должны располагаться на линии *CF*.

Точка *C* определяет предельное минимальное значение подачи по условиям помпажа. В этом случае компрессор должен быть снабжен автоматическим антипомпажным устройством, датчиком в котором является динамический импульс $c^2/2$ или давление всасывания, зависящее от подачи компрессора. При регулировании на ε = const различные режимы могут достигаться, как видно из графика, изменением частоты вращения вала компрессора. Если приводным двигателем компрессора является паровая или газовая турбина, то изменение частоты вращения достигается без затруднений регулированием турбины. В случае электропривода компрессора необходимо применение специальных типов двигателей с регулируемой частотой вращения.

Из графика (см. рис. 2.1) видно, что при любом способе регулирования изменение частоты вращения приводит к уменьшению адиабатического КПД, т. е. к ухудшению использования энергии, подводимой на вал компрессора. Только в области частот вращения от n до n_4 имеет место незначительное повышение η_a при регулировании на постоянную подачу.

Уменьшение КПД является существенным недостатком способа регулирования компрессора изменением частоты вращения.

Дроссельное регулирование при n = const является доступным во всех случаях и очень простым способом регулирования. Однако при заданных n и характеристике сети этим способом возможно регулирование только на уменьшение подачи. В этом можно убедиться, анализируя график регулирования.

Регулирование можно проводить дросселем на напорном и всасывающем патрубках компрессоров; второе выгоднее вследствие меньших затрат энергии, как правило, пропорциональных плотности дросселируемого потока газа.

В некоторых частных случаях регулирование дросселем на входе оказывается выгоднее, чем регулирование изменением частоты вращения. Регулирование направляющим лопастным аппаратом на входе находит в центробежных компрессорах ограниченное применение ввиду конструктивной сложности.

Крупные компрессоры, приводимые паровыми турбинами, подвержены опасности разгона при снятии нагрузки сети. Для устранения возможности раз-

гона до недопустимой частоты вращения компрессорные агрегаты с приводом от паровых турбин снабжаются специальными автоматами – ограничителями частоты вращения, воздействующими на паровпускную систему турбины.

§ 2.3. Центробежные компрессоры. Принцип действия и устройство

Центробежные компрессоры по принципу действия и устройству подобны центробежным насосам, но имеют особенности, связанные со сжимаемостью перекачиваемой среды и высокими частотами вращения (десятки тысяч оборотов в минуту).

Так же как и насосы, центробежные компрессоры подразделяют на одноступенчатые (нагнетатели) и многоступенчатые (нагнетатели и собственно компрессоры), однопоточные и многопоточные.

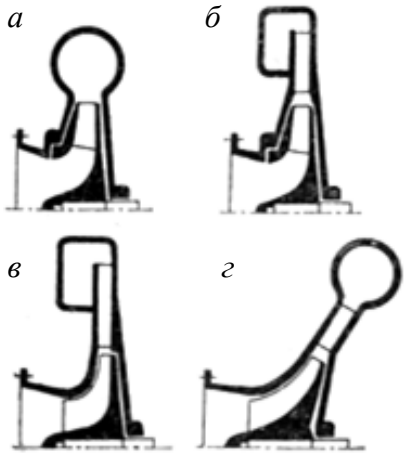


Рис. 2.2. Одноступенчатые лопастные компрессоры

Схемы одноступенчатых компрессоров показаны на рис. 2.2.

При небольших выходных углах наклона лопастей $\beta_{2л}$ применяют простую схему *а* со спиральной камерой (улиткой). При окружных скоростях до 300 м/с используют закрытые рабочие колеса, обеспечивающие увеличение КПД на 2-3 % по сравнению с полуоткрытыми колесами. Если угол $\beta_{2л}$ достаточно велик (> 40°), то компрессоры выполняют с направляющими аппаратами, называемыми диффузорами (схемы *б*, *в, г*). Кольцевой безлопастный диффузор, предшествующий лопастному направляющему аппарату, способствует выравниванию потока и уменьшению шума при работе машины. Полуоткрытые рабочие колеса (схемы *в, г*) позволяют достичь больших окружных скоростей (порядка 500 м/с). Рабочие колеса на схеме *в* – осерадиальные, а на схеме *г* – диагональные.

В многоступенчатом нагнетателе или компрессоре имеются все характерные элементы многоступенчатого насоса – направляющие аппараты НА, обратные направляющие аппараты ОНА, диафрагмы с уплотнениями Д (рис. 2.3, *а*). На эпюре показано изменение давления и скорости газа в рабочем колесе и в отводе между точками *1*, *2, 3* и *4*.

Многоступенчатые нагнетатели выполняют в одном корпусе (рис. 2.3, *б*). На выходе из последней ступени газ поступает в улитку или сборную камеру, а затем направляется в нагнетательный патрубок.

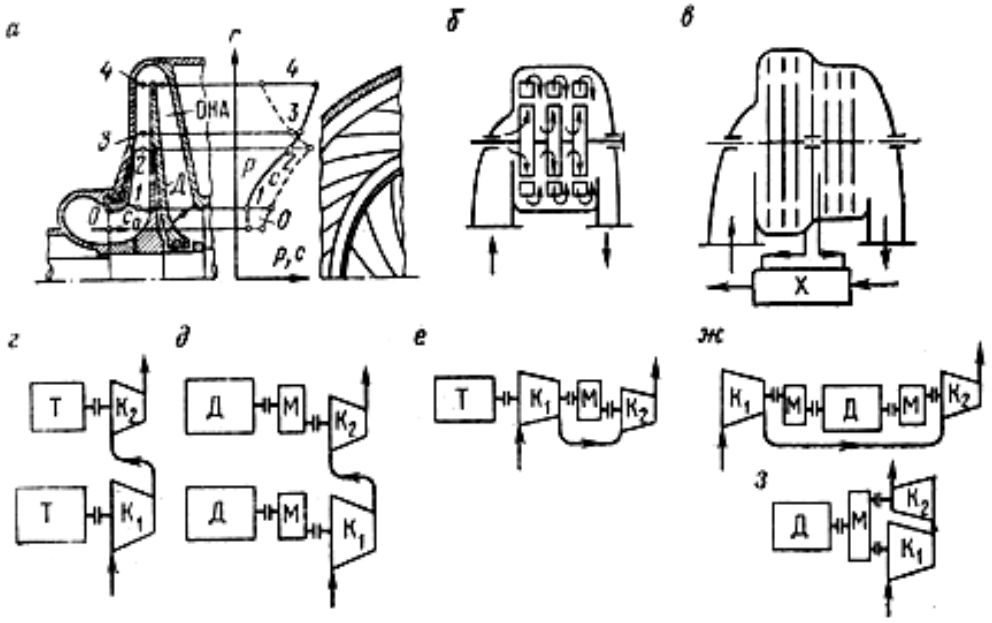


Рис. 2.3. Схемы многоступенчатых центробежных компрессоров

Многоступенчатый компрессор (рис. 2.3, *в*) состоит из нескольких секций (при показателе адиабаты k = 1,40 до трех ступеней в каждой) с промежуточным охладителем Х. Промежуточное охлаждение необходимо для экономии мощности путем приближения процесса ступенчатого сжатия к изотермическому (подробнее см. далее). Число промежуточных охлаждений устанавливают, сопоставляя экономию мощности компрессора с дополнительными затратами на охлаждение и усложнение компрессорной установки при увеличении числа охладителей [18, с. 160].

Сжатие с одним промежуточным охладителем выгодно при ε = 2,5 – 6. С уменьшением значения показателя адиабаты k указанный верхний предел величины ε возрастает. Сжатие в одном корпусе с двумя промежуточными охладителями эффективно при более высоких степенях повышения давления (до 10 при k = 1,4). С увеличением числа рабочих колес в одном корпусе и удлинением ротора снижаются критические частоты вращения вала, при которых возникают недопустимо большие вибрации отбалансированного ротора. Когда рабочая частота существенно отличается от критической, прогибы вала и вибрационные нагрузки резко снижаются. Рабочая частота может быть меньше или больше первой критической, при этом вал называют, соответственно, жестким или гибким. Возможности повышения критических частот путем уменьшения

массы роторов и увеличения их жесткости ограничены. В связи с этим при $\varepsilon > 10$ приходится размещать рабочие колеса в двух корпусах.

Например, компрессор К-380-101-1 с объемным расходом газа на входе 500 м^3/мин, предназначенный для сжатия нефтяного газа от 0,15 до 4,2 МПа ($\varepsilon = 28$), выполнен с двумя корпусами. В каждом корпусе расположено по пять рабочих колес. Частота вращения ротора в первом корпусе составляет 7 350 об/мин, во втором – 17 тыс. об/мин. Компрессор имеет только один охладитель между корпусами, что объясняется низким значением показателя адиабаты сжимаемого газа, а также возможностью выпадения жидкой фазы при его охлаждении.

В отличие от насосов рабочие колеса в компрессоре могут быть неодинаковыми по диаметру и по форме. Обычно наружный диаметр колеса уменьшается с увеличением порядкового номера секции; внутри секции колеса имеют, как правило, одинаковый диаметр, но могут отличаться шириной каналов в меридиональном сечении (в частности, отношением b_2/D_2, где b_2 – ширина лопаток колеса на выходе; D_2 – диаметр рабочего колеса). Это объясняется следующими причинами. Если диаметры и тип лопастного аппарата у всех колес в одном корпусе выполнять одинаковыми, что удобно технологически и удешевляет изготовление машины, то, поскольку объем протекающего газа уменьшается, а меридиональная скорость c_{2m} сохраняется постоянной, последние колеса окажутся чрезмерно узкими (b_2/D_2 мало), что приведет к росту аэродинамических потерь и снижению КПД.

Если же диаметры при переходе от первой секции к последующим уменьшаются, то получают приемлемые значения b_2/D_2 и в последних ступенях.

С уменьшением диаметра колес снижается окружная скорость u_2, и, следовательно, требуется больше колес для заданной степени повышения давления ε.

А это приводит к увеличению осевого габарита машины и к снижению критических частот вращения ротора, вследствие чего появляется опасность сближения рабочей частоты вращения со второй критической. Поэтому в одном и том же компрессоре иногда применяют лопастные аппараты различного типа. При этом выходной угол наклона лопастей $\beta_{2л}$ и скорость c_{2m} постепенно уменьшаются от первой ступени к последней, что позволяет сохранить диаметры ступеней внутри одного корпуса равными или близкими [18, с. 164].

Для привода центробежных компрессоров применяют: стандартные электродвигатели, достоинствами которых являются простота запуска и удобства в эксплуатации; газовые турбины, обладающие автономностью, более высокой, нежели стандартные электродвигатели, частотой вращения (5,5-6,0 тыс. об/мин)

и возможностью экономичного регулирования; паровые и воздушные (для холодильных компрессоров) турбины с высокой частотой вращения (до 100 тыс. об/мин)[3].

В зависимости от вида привода возможны различные варианты компоновки двухкорпусных машин. При самостоятельном приводе каждого корпуса K_1 и K_2 непосредственно от турбины T (рис. 2.3, *г*) или через мультипликатор M от электродвигателя $Д$ (рис. 2.3, *д*) возможно сообщить каждому ротору различную частоту вращения, но компрессорный агрегат состоит из большого числа отдельных машин. Это усложняет обслуживание и увеличивает эксплуатационные расходы. Более выгодны схемы с одним двигателем, но разными частотами вращения ротора в каждом корпусе компрессора. От высокооборотного двигателя (турбины) первый корпус K_1 низкого давления принимает мощность непосредственно, а второй K_2 высокого давления – через мультипликатор M (рис. 2.3, *е*). При электроприводе требуется повышение частоты вращения вала также и в первом корпусе (рис. 2.3, *ж*, *з*).

Ротор

Рабочие колеса центробежных компрессоров различают в зависимости от типа лопастей: 1) с лопастями, загнутыми назад и 2) с радиальными лопастями, имеющими входную часть пространственной формы (рис. 2.4, *а*).

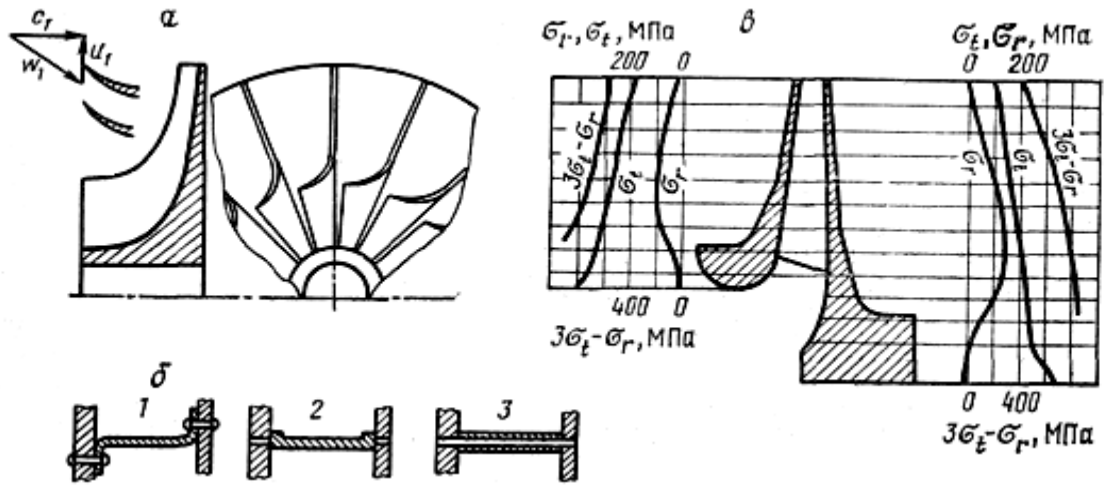


Рис. 2.4. Рабочие колёса центробежных компрессоров:

а – открытое с радиальными лопастями; *б* – крепление лопастей в закрытых колёсах;
1 – штампованное *z*-образной формы, с креплением заклёпками;
2 – фрезерованное с шипами; *3* – со сквозными отверстиями; *в* – эпюры напряжений в дисках

[3] Для холодильных компрессоров используют также высокочастотные (300–400 Гц) электродвигатели с частотой вращения вала 18–24 тыс. об/мин.

Первый тип используют в стационарных нагнетателях и компрессорах. Различают рабочие колеса насосного типа ($\beta_{2л} = 15 – 30°$, число лопастей $z = 6 – 9$) и колеса компрессорного типа ($\beta_{2л} = 35 – 55°$, $z = 18 – 30$).

В последнее время для начальных ступеней компрессора применяют также рабочие колеса с $\beta_{2л} = 55 – 90°$ (колеса авиационного типа). Эффективность лопастного аппарата такого типа несколько снижена, но степень повышения давления в ступени получается большей.

Лопасти изготовляют постоянной толщины (2 – 8 мм), с округлённой входной и скошенной выходной кромками. Наиболее распространена форма лопасти в виде дуги окружности. Способы крепления лопастей в закрытых рабочих колесах показаны на рис. 2.4, *б*. Применяют также сварные колеса.

Рабочее колесо – наиболее напряженная деталь центробежного компрессора. Рис. 2.4, *в* даёт представление о напряжениях радиальном σ_r, кольцевом σ_t, и расчетном ($3\sigma_t - \sigma_r$) в несущем и покрывающем дисках колеса при окружной скорости на выходе $u_2 = 293$ м/с, а также о профиле дисков, обеспечивающем равнопрочность [6]. Диски изготовляют из кованой углеродистой или легированной стали, а при низких окружных скоростях – отлитыми из стали или из алюминиевых сплавов. Рабочие колеса небольших размеров изготовляют фрезерованием или электроэрозией. С целью уменьшения потерь внутренняя поверхность рабочих колес выполняется гладкой; с наружной стороны диски полируют.

Так же как и в некоторых насосах, на валу многоступенчатого компрессора установлен разгрузочный поршень (думмис). Этот поршень обычно уравновешивает примерно 3/4 осевого усилия, остальная часть усилия воспринимается упорным подшипником. В результате предотвращаются возвратные осевые перемещения ротора при изменении режима работы компрессора.

При больших частотах вращения вала, применяемых в компрессорах, сравнительно небольшая неуравновешенность ротора вызывает вибрацию машины, что в некоторых случаях приводит к поломке уплотнений.

Перед посадкой на вал каждое колесо проходит статическую балансировку, а затем ротор в сборе – динамическую балансировку. Дебаланс устраняется снятием металла с обода крайних колес. Рабочие колеса насаживают на вал с натягом, гарантирующим сборку ротора от дебаланса и от расслабления при вращении. Колесо фиксируют на валу штифтами, передающими крутящий момент с вала на колесо и предохраняющими его от осевого смещения, или шпонками (передача крутящего момента) и распорными втулками и гайками (фиксация от осевого смещения).

Осевой сдвиг ротора, вызванный износом упорного подшипника, контролируется реле, останавливающим машину при недопустимом сдвиге.

Уплотнения

Для разделения отдельных участков проточной части с различным давлением газа и уменьшения перетеканий газа служат лабиринтные уплотнения. Они состоят из гребней, разделяющих кольцевой зазор между вращающейся и неподвижной деталями на ряд камер (рис. 2.5, *а – г*). Лабиринтные гребни толщиной менее 1 мм укрепляются в корпусе (*а*, *б*) или на роторе (*в*, *г*). Гладкие уплотнения (*г*) проще в изготовлении, но менее эффективны, нежели ступенчатые (*а*, *б*, *в*). Радиальный зазор под гребнями выполняют минимальным (менее 1 мм) в зависимости от диаметра уплотнения и возможного прогиба вала.

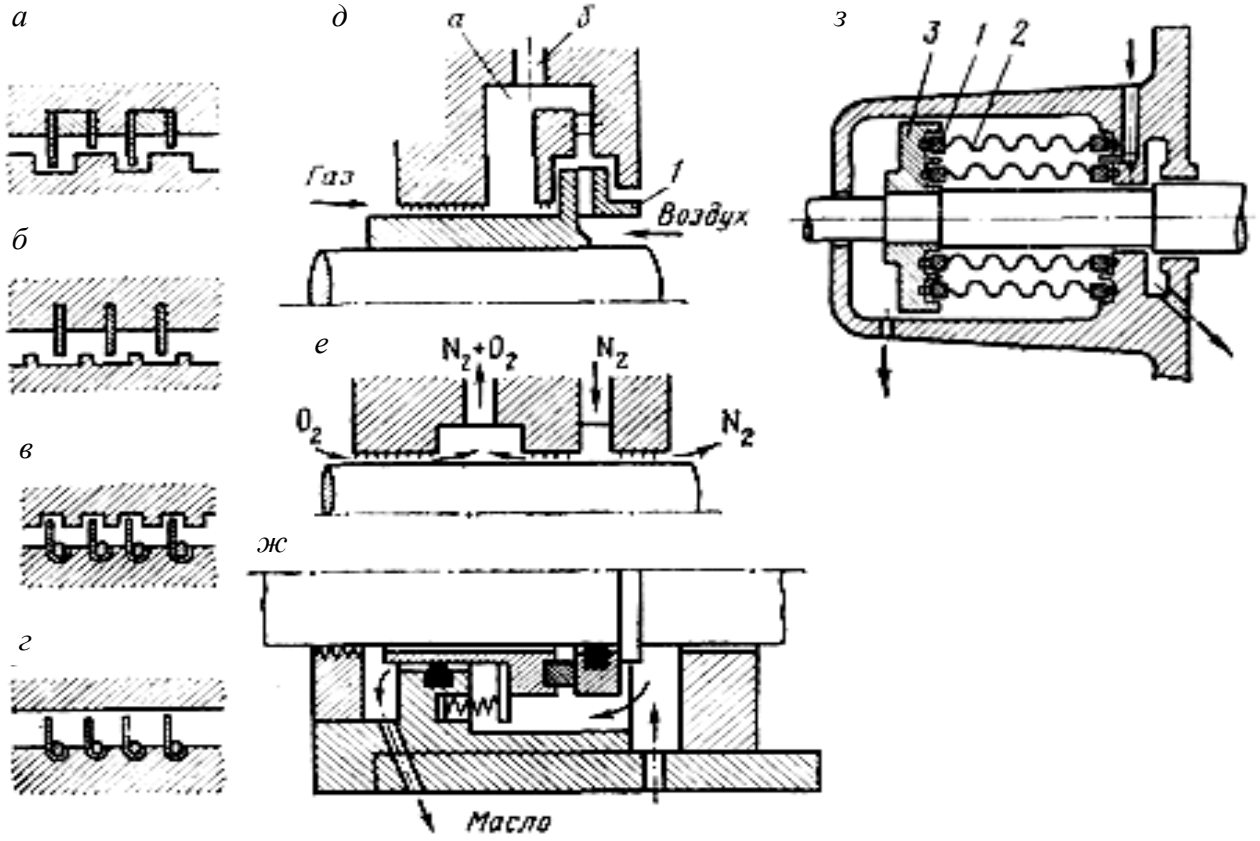


Рис. 2.5. Уплотнения в компрессорах

Лабиринтные уплотнения устанавливают также в местах выхода вала из корпуса компрессора. Если утечка сжимаемого газа из машины недопустима (вредные и взрывоопасные газы), применяют следующие средства герметизации [6]:

1. В месте выхода вала постоянно поддерживают давление ниже атмосферного, поэтому через лабиринтное уплотнение в машину извне проникает небольшое количество воздуха.

2. В месте выхода вала давление поддерживают немного выше атмосферного, но ниже, чем в машине, для чего на валу устанавливают простейший вентилятор *1* (рис. 2.5, *д*). В пространстве *а* воздух из окружающей среды смешивается с газом, и образующаяся смесь удаляется через отверстие *б*.

3. Из внутреннего фонаря лабиринтного уплотнения по схеме рис. 2.5, *е* безопасная смесь кислорода и азота, подаваемого во внешний фонарь, отводится в окружающую среду.

4. Для уплотнения вала нагнетателя природного газа обеспечивают подачу масла в опорный подшипник. При этом давление масла поддерживается с помощью регулятора несколько большим, чем давление газа в нагнетателе.

5. Применяют торцовые уплотнения, при необходимости герметизируемые циркулирующим маслом (рис. 2.5, *ж*).

6. Используют сильфонное уплотнение (рис. 2.5, *з*). Кольца торцовых уплотнений *1* прижимаются друг к другу двумя концентрично расположенными сильфонами *2,* сжатыми между вращающимся диском *3* и стенкой корпуса. В кольцевое пространство между сильфонами под давлением подается масло, полностью герметизирующее выход вала.

Виды и некоторые примеры конструкций центробежных компрессоров

Центробежные компрессоры подразделяют по конструктивным признакам:

1) на одно- и многоступенчатые;

2) одно- и многокорпусные;

3) консольные, с выносными опорами (по расположению рабочих органов и опор);

4) с осевым, боковым и двусторонним входом (по расположению входа в компрессор);

5) с торцовым разъемом, с осевым разъемом, с двойным корпусом (по виду разъема корпуса).

Центробежные компрессоры в большинстве случаев имеют несколько ступеней. При небольшой подаче они изготовляются секционными с разделением ступеней на отдельные секции с разъемом в плоскостях, нормальных к оси машины.

Компрессоры средней и высокой подач, как правило, изготовляются с разъемом корпуса в горизонтальной плоскости аналогично современным паровым турбинам. В этом случае прямой и обратный направляющие аппараты составляют одно целое с половинами корпуса или же, что встречается чаще, размещаются на диафрагмах, плотно вставленных в корпус. Диафрагмы имеют разъем в горизонтальной плоскости.

Охлаждение корпуса компрессора, желательное с энергетической точки зрения, усложняет конструкцию корпуса. Поэтому компрессоры строят с подразделением ступеней на группы в отдельных корпусах и расположением промежуточных охладителей между корпусами. Таким образом, возможны компрессоры одно-, двух- и трехкорпусные.

Промежуточные охладители могут располагаться и между группами ступеней, заключенных в одном корпусе.

На рис. 2.6 представлен продольный разрез второго корпуса шестиколесного турбокомпрессора с подачей 9000 $м^3$/ч при давлении 0,7 МПа, частота вращения составляет 10 200 об/мин при мощности на валу 1200 кВт. Первый корпус этого компрессора имеет одно колесо с двусторонним подводом. Воздух, сжатый в первой ступени, проходит через трубчатый охладитель и поступает в приемный патрубок *1* второго корпуса, в котором размещены пять колёс, составляющих ступень конечного сжатия. Воздух проходит последовательно через колесо *2* и диффузор и поступает в колесо *3*. Затем, пройдя через прямой и обратный направляющие аппараты, он попадает в колесо *4*, откуда направляется через промежуточный охладитель и канал в ступени *5* и *6*. Основными элементами конструкции здесь являются: литой чугунный корпус *7*, замыкающие крышки *8* и *9* корпуса, несущие патрубки *1* и *1'* и коробки подшипников (на рисунке не показаны).

Внутри корпуса располагаются диафрагмы, несущие лопасти обратного направляющего аппарата.

Уравновешивание осевой силы достигается обратным расположением ступеней *5* и *6* и упорным сегментным подшипником, находящимся между корпусами компрессора.

Между ступенями располагаются гребенчатые уплотнения. Вал в крышках имеет графитоугольные уплотнения.

Колеса всех ступеней выполнены из стальных поковок; контур лопастей осуществляется фрезерованием. Лопасти консольные, крепящиеся только на ступице; они не имеют ни основного, ни покрывного диска. Крепление рабочих колес на валу достигается шпонками и затяжными гайками.

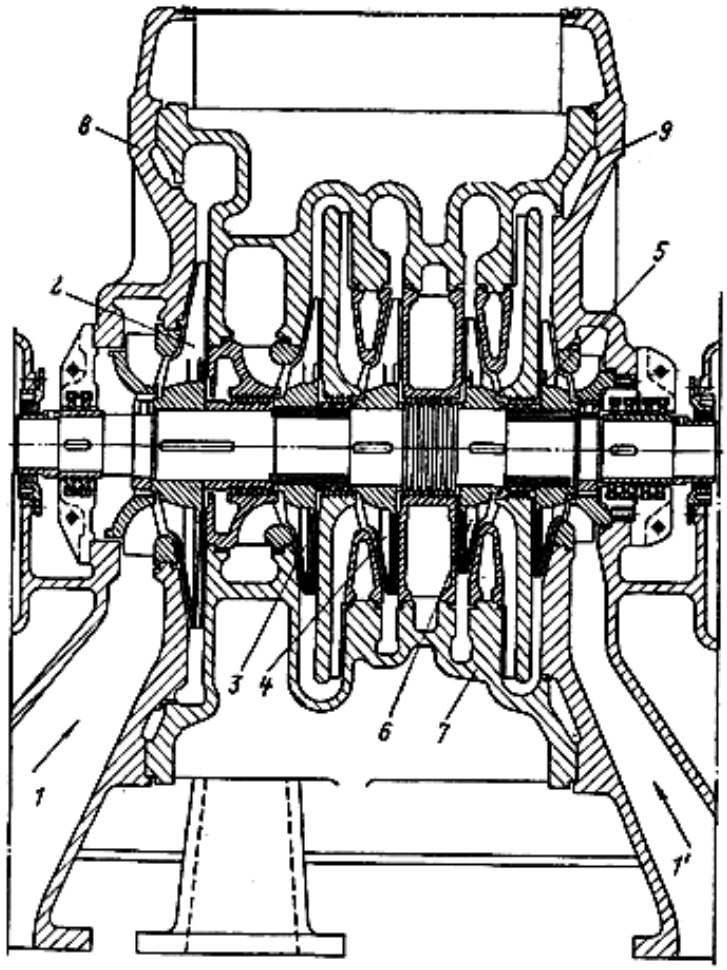


Рис. 2.6. Продольный разрез второго корпуса турбокомпрессора

Подшипники – скользящего трения с принудительной подачей масла от роторного насоса, приводимого в движение от валика шестерни редуктора.

Привод компрессора осуществляется электродвигателем с n = 3000 об/мин; повышение частоты вращения до 10 200 об/мин достигается зубчатым вариатором. Оба корпуса компрессора и вариатор устанавливаются на массивной чугунной раме, крепящейся к фундаментным балкам. Электродвигатель устанавливается на раме, жестко сопряженной с рамой компрессора и фундаментом.

На рис. 2.7 дан продольный разрез четырехступенчатого компрессора типа К-3250-41-2, применяемого в доменном процессе, а на рис. 2.8 – компрессор К-100-61-2 со встроенными охладителями.

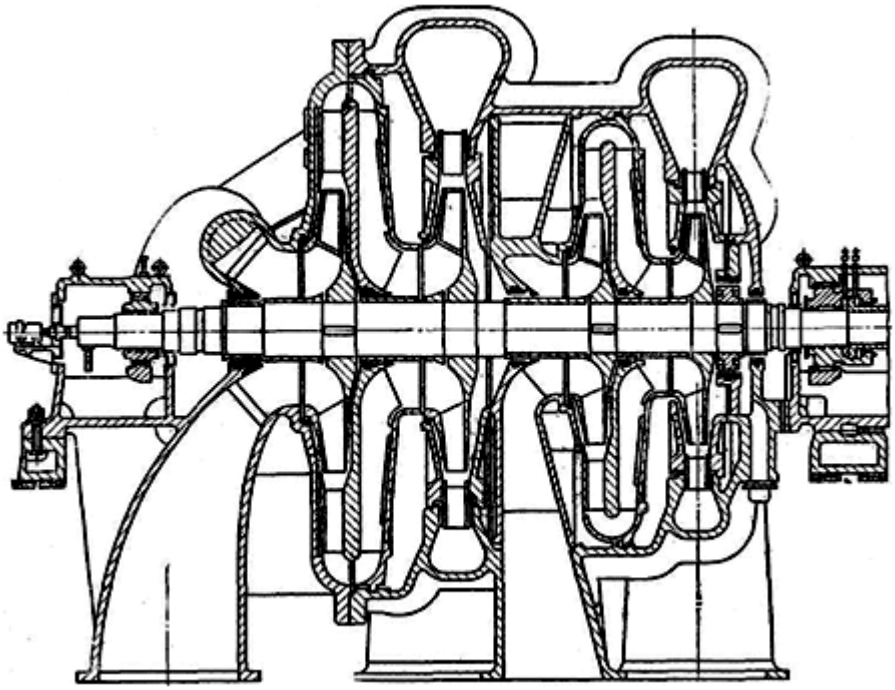


Рис. 2.7. Доменный компрессор К-3250-41-2

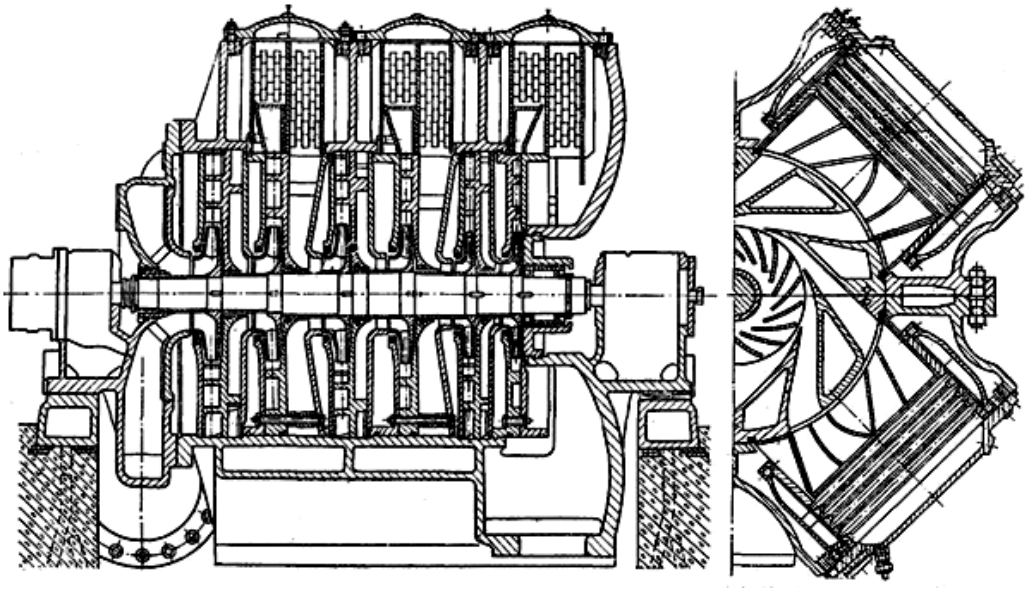


Рис. 2.8. Компрессор К-100-61-2 со встроенными охладителями

Подача такого компрессора $\overline{V}$ = 2840 – 3250 м^3/ч при конечном давлении p = 0,36 – 0,42 МПа. Привод компрессора происходит от паровой турбины АКВ – 12 – IV с частотой вращения 2500-3400 об/мин. Охлаждение производится выносным охладителем между третьей и четвертой ступенями.

§ 2.4. Рабочий процесс в динамическом компрессоре

Основные уравнения

Применительно к равномерному течению газа в центробежном или осевом компрессоре можно записать два уравнения:

– распределения удельной внутренней работы:

$$-l^{*}_{\text{н}-\text{к}} = -w_{\text{н}-\text{к}} + \frac{c^2_{\text{к}} - c^2_{\text{н}}}{2} + l^{**}_{\text{н}-\text{к}} ; \qquad (2.8)$$

– первого начала термодинамики по балансу рабочего тела [3]:

$$q_{\text{н}-\text{к}} = i_{\text{к}} - i_{\text{н}} + Aw_{\text{н}-\text{к}} . \qquad (2.9)$$

Индексы «н» и «к» означают начальное и конечное сечения любого участка потока газа внутри компрессора. Уравнения можно применять как к компрессору в целом, так и к отдельной его ступени (или группе ступеней), рабочему колесу, диффузору. Здесь $q_{\text{н-к}}$ – полное количество теплоты, полученное газом:

$$q_{\text{н}-\text{к}} = q^{*}_{\text{н}-\text{к}} + q^{**}_{\text{н}-\text{к}} , \qquad (2.10)$$

где $q^{*}_{\text{н}-\text{к}}$ – теплота, подведённая извне; $q^{**}_{\text{н}-\text{к}}$ – теплота внутреннего теплообмена, возникающего при необратимых превращениях работы $l^{**}_{\text{н}-\text{к}}$ в теплоту $\left(Al^{**}_{\text{н}-\text{к}} = q^{**}_{\text{н}-\text{к}}\right)$.

Подведенная теплота считается положительной, а сообщаемая (затраченная) работа, наоборот, отрицательной. Индекс «н – к» указывает на то, что соответствующая величина (работа, теплота) зависит от **процесса** изменения состояния газа на участке между сечениями н и к в отличие от обозначений н или к или н, к для величин, характеризующих **состояние газа** в указанных сечениях.

На энтропийной диаграмме (рис. 2.9, *а*) уравнение (2.9) иллюстрируется следующим образом. Площадь н"нкк' соответствует полному количеству теплоты, полученному газом (согласно выражению $\delta q = Tds$). Если $ds < 0$ (отвод теплоты), то соответствующая этой части процесса площадь на диаграмме считается отрицательной (рис. 2.9, *б*).

Энтальпии в точках н и к выражены площадями, заключёнными под отрезками изобар *abcн* и *dek*, а разность энтальпий – заштрихованной площадью. Это следует из того, что при изобарическом сжатии от состояния н или к, согласно первому началу термодинамики, изменение энтальпии равно теплопритоку ($w_{\text{н-к}}$ в этом процессе равна нулю). Если на диаграмме нанесены изоэнтальпы $i_{\text{н}}$ и $i_{\text{к}}$, то изменение энтальпии соответствует также площади, заключённой под отрезком *ek* изобары $p_{\text{к}}$, отсекаемым изоэнтальпами. Действительно,

перепад энтальпий в двух состояниях газа не зависит от вида процесса и может быть определён для произвольного процесса, например *нек*. Поскольку на участке *не* энтальпия постоянная, то искомое изменение энтальпии происходит только на участке изобарического сжатия *ek* при давлении $p_к$.

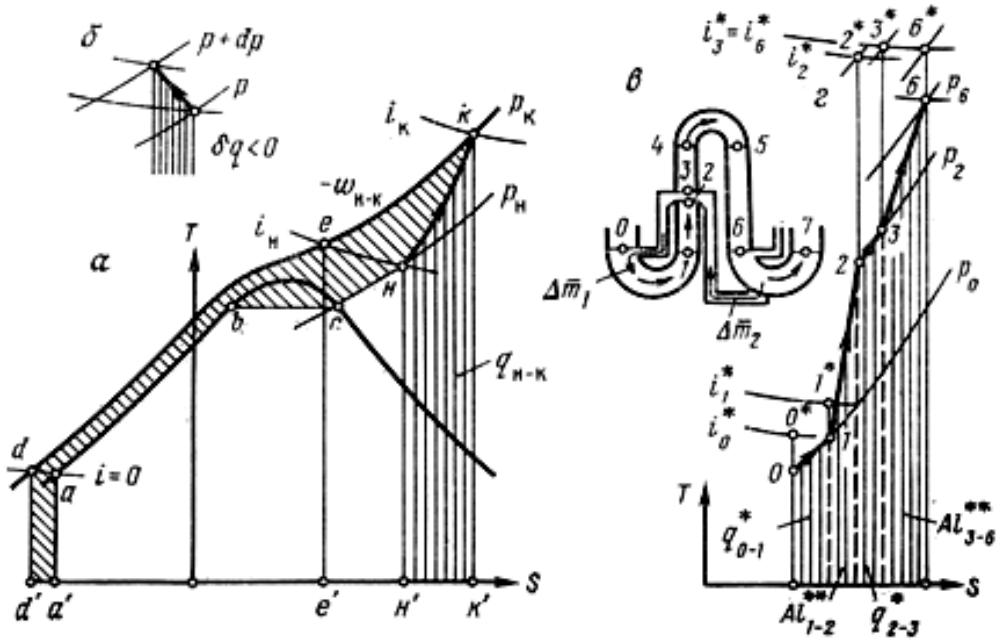


Рис. 2.9. Изменение состояния газа в ступени центробежного компрессора

Согласно выражению (2.9), работе изменения давления ($-w_{н-к}$) в процессе изменения состояния газа н – к соответствует разность указанных площадей *d'dekнcbaa'* или *e'ekнн'*.

Уравнение теплового баланса

Если умножить все члены уравнения (2.8) на A, а затем сложить левые и правые части уравнений (2.8) и (2.9), учитывая (2.10), получим:

$$-Al^*_{н-к} + q^*_{н-к} = i_к i_н + A\frac{c_к^2 - c_н^2}{2}. \qquad (2.11)$$

Поскольку энтальпия и кинетическая энергия – функции состояния газа, их объединяют в один параметр, называемый полной энтальпией (или энтальпией торможения)[4]:

$$i^* = i + A\frac{c^2}{2} = u + A\left(pv + \frac{c^2}{2}\right),$$

где u– удельная внутренняя энергия газа.

---

[4] Индекс* придаёт обозначаемой величине i другой смысл, нежели в левой части уравнения (2.11). Полная энтальпия – по аналогии с полным давлением $p^* = p + p\frac{c^2}{2}$.

В результате уравнение (2.11) примет вид:

$$-Al^*_{\text{н–к}} + q^*_{\text{н–к}} = i^*_{\text{к}} - i^*_{\text{н}} . \qquad (2.12)$$

Из полученного **уравнения теплового баланса** следует, что работа и теплота, подведенные извне, в сумме эквивалентны изменению полной энтальпии на рассматриваемом участке.

Поскольку в центробежных и осевых компрессорах искусственное охлаждение газа в процессе сжатия применяют редко, а естественный теплообмен с внешней средой (путём лучеиспускания, конвекции и теплопроводности) сравнительно невелик, то процесс сжатия газа в ступени и в одном корпусе компрессора считают внешнеадиабатическим ($q^*_{\text{н–к}} = 0$). Тогда

$$-Al^*_{\text{н–к}} = i^*_{\text{к}} - i^*_{\text{н}} . \qquad (2.13)$$

Изменение состояния газа в компрессоре

На рис. 2.9, *в* ступень компрессора ограничена сечением *0* на выходе из обратного направляющего аппарата предыдущей ступени и сечением *6*. В координатах *T -s,* (рис. 2.9, *г*) изменение состояния газа изображается ломаной линией *0*, *1*, …, *6.* Соответствующие точки 0^*, 1^*,…, 6^* расположены на изолиниях полных энтальпий.

Вследствие трения переднего диска о газ температура газа в пространстве между колесом и корпусом выше, нежели при входе в колесо. Во входной воронке рабочего колеса при смешении потока газа утечки $\Delta\overline{m}_1$ (см. рис. 2.9, *в*) с основным потоком газа происходит передача тепла последнему в количестве q^*_{0-1}, в результате чего полная энтальпия газа повышается (переход 0^*-1^*). Дальнейший рост энтальпии (1^*-2^*) происходит вследствие работы лопастей рабочего колеса $\left(i^*_1 - i^*_2 = Al^*_{1-2}\right)$. У входа в диффузор основной поток газа вновь подогревается газом, перетекающим через диафрагму, чему соответствует изменение полной энтальпии $i^*_3 - i^*_2$.

Точки 3^* и 6^* расположены на общей изоэнтальпе, поскольку на участке *3-6* подвод теплоты и работы извне отсутствует. Наклон линий *1-2* и *3-6* обусловлен внутренним теплопритоком, возникающим вследствие потерь l^{**}_{1-2} в лопастном аппарате рабочего колеса и l^{**}_{3-6} в диффузоре и обратном направляющем аппарате (ОНА).

Приведенный анализ процесса сжатия газа схематичный. Изучая реальный процесс, можно обнаружить, что он более сложен, чем на рис. 2.9, *г*. Так, перед входом газа в ОНА может происходить некоторое снижение давления,

а в каналах ОНА вследствие движения газа с замедлением давление снова может повыситься; интенсивность подвода тепла за счёт потерь в диффузоре и в ОНА неодинаковая; мощность дискового трения частично передаётся потоку непосредственно путём теплопередачи через диски.

Переходя от ступени к компрессору в целом, следует рассмотреть последовательно все ступени. При этом конечная точка *6* предыдущей ступени – начальная для последующей, а в последней ступени ОНА заменяется спиральным отводом.

§ 2.5. Внутренний политропический КПД неохлаждаемого компрессора

Роль внутреннего КПД неохлаждаемого компрессора выполняет аналогичная величина, подсчитываемая для такой политропы с постоянным показателем n_υ, которая проходит через начальную и конечную точки реального процесса изменения состояния газа в компрессоре.

Это означает, что $p_{\text{н}} v_{\text{н}}^{n_v} = p_{\text{к}} v_{\text{к}}^{n_v}$, откуда

$$\frac{n_v}{n_v - 1} = \frac{\lg\varepsilon}{\lg\tau_{\text{н,к}}} = \frac{\lg\varepsilon}{\lg\theta\frac{Z_{\text{к}}}{Z_{\text{н}}}},$$

где $\theta = T_{\text{к}} / T_{\text{н}}$, $Z_{\text{к}}$, $Z_{\text{н}}$ – коэффициенты сжимаемости, определяемые в зависимости от температуры T и давления p; остальные обозначения даны ранее.

Величину n_υ при действии компрессора можно вычислить по измеренным давлению и температуре газа при входе и на выходе компрессора (т. е. эта величина как бы наблюдается при действии машины).

Удельная работа изменения давления (см. § 1.3)

$$w_{\text{н-к}} = \frac{n_v}{n_v - 1}(p_{\text{к}} v_{\text{к}} - p_{\text{н}} v_{\text{н}}) = -\frac{n_v}{n_v - 1} R(T_{\text{к}} Z_{\text{к}} - T_{\text{н}} Z_{\text{н}}).$$

Внутренний политропический КПД $\eta_{\text{пол.в}} = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{к}}} = \frac{l_{\text{пол}}\overline{m}}{-l^*_{\text{н-к}}\overline{m_{\text{н}}}}$.

Последние равенства показывают возможные варианты определения данного КПД при испытании компрессора – по внутренней мощности $N_{\text{к}}$ или по удельной.

Если пренебречь изменением кинетической энергии, внешними утечками $\left(\overline{m} = \overline{m}_{\text{и}}\right)$ и считать, что газ идеальный ($Z_{\text{н}} = Z_{\text{к}} = 1$), то расчёт упрощается. Так как в этом случае $i_{\text{к}} - i_{\text{н}} = c_{pm}(T_{\text{к}} - T_{\text{н}}) = AR\frac{k}{k-1}(T_{\text{к}} - T_{\text{н}})$, где c_{pm} – средняя

изобарная теплоёмкость газа; k – показатель адиабаты газа, находящегося в разреженном состоянии, то

$$\eta_{\text{пол.в}} \approx \frac{-Aw_{\text{н-к}}}{i_{\text{к}}-i_{\text{н}}} = \frac{n_v}{n_v-1}\cdot\frac{k-1}{k}. \qquad (2.14)$$

Если известны точные данные о термодинамических свойствах природных газов (диаграммы p, i или s, i), определение перепада энтальпии по измеренным давлениям и температурам также не встречает трудностей.

Кроме того, существуют графо-аналитические методы, позволяющие получить результаты с большей точностью в применении к природным газам различного состава. Для расчётов используют график зависимости коэффициента сжимаемости газов от приведенных параметров $z = f(\pi, \tau)$, построенный для термодинамически подобных веществ. Рассмотрим метод, основанный на применении коэффициента Джоуля – Томпсона.

Выше говорилось о политропе, которую в термодинамике реальных газов называют **объёмной**. Можно также построить **температурную политропу** вида[5]

$$Tp^{-\frac{n_T-1}{n_T}} = idem, \qquad (2.15)$$

где n_T – постоянный показатель, определяемый непосредственно по давлениям и температурам:

$$\frac{n_T}{n_T-1}\frac{\lg\varepsilon}{\lg\theta}. \qquad (2.16)$$

Дифференцируя (13.15) как неявную функцию, найдём:

$$\frac{dT}{dp} = \frac{T}{p}\cdot\frac{n_T}{n_T-1}.$$

Далее введём понятие политропического КПД элементарного процесса (В международной системе единиц A = 1 Дж/Н·м. Для упрощения записи в дальнейшем сомножитель A опущен)

$$\eta_n = \frac{Avdp}{di}.$$

Элементарная работа изменения давления

$$vdp = \frac{ZRT}{p}dp = \frac{n_T}{n_T-1}dp = \frac{n_T}{n_T-1}ZRdT.$$

Изменение энтальпии в любом процессе [3, с. 38]

$$di = c_p(dT - D_i dp),$$

где D_i – коэффициент Джоуля – Томсона. Изобарная теплоёмкость одного моля

---

[5] $p_{\text{н}}v_{\text{н}}^{n_v} = p_{\text{к}}v_{\text{к}}^{n_v} = pv^{n_v}$, или $p^{\frac{1}{n_v}}v_v = idem$, или $p^{\frac{1}{n_v}-1}pv = idem$, или $ZTp^{-\frac{n_v-1}{n_v}} = idem$. Для идеального газа Z = 1? При этом объёмная политропа совпадает с температурой.

$$c_p = c_{p0} + \Delta c_p = \bar{R}\frac{k}{k-1} + \Delta c_p,$$

где c_{p0} – то же для газа, находящегося в разреженном состоянии; Δc_p – поправка на давление; $\bar{R}$ – универсальная газовая постоянная.

Используя это выражение, путём преобразований получим:

$$\eta_{\text{П}} = \frac{Z\eta'}{1+\frac{\Delta c_p}{\bar{R}}\cdot\frac{k-1}{k}-(D_i c_p\frac{p_{\text{кр}}}{T_{\text{кр}}})\frac{\pi}{\tau\bar{R}}\eta'}, \qquad (2.17)$$

где $\eta' = \frac{n_T}{n_T-1}\cdot\frac{k-1}{k}$; $p_{\text{кр}}$, $T_{\text{кр}}$ – критические давления и температура газа; $\pi = \frac{p}{p_{\text{кр}}}$; $\tau = \frac{T}{T_{\text{кр}}}$.

В обычных условиях при перекачивании углеводородных газов по трубопроводам (π = 0,4 – 1,2; τ = 1,4 – 1,75) можно пользоваться формулой, предложенной А. В. Матвеевым:

$$Z = 1 - 0{,}368\frac{\pi}{\tau^3}.$$

Со средней погрешностью ±0,5 % для природных газов различного состава (метана 86 – 98 %, азота ≤ 3 %, CO_2 ≤ 1,5 %)

$$\frac{k}{k-1} = 2{,}811 + (2{,}48 + 0{,}078t)\Delta_{\text{В}},$$

где $\Delta_{\text{В}}$ – относительная плотность газа по воздуху; t – температура газа, °С.

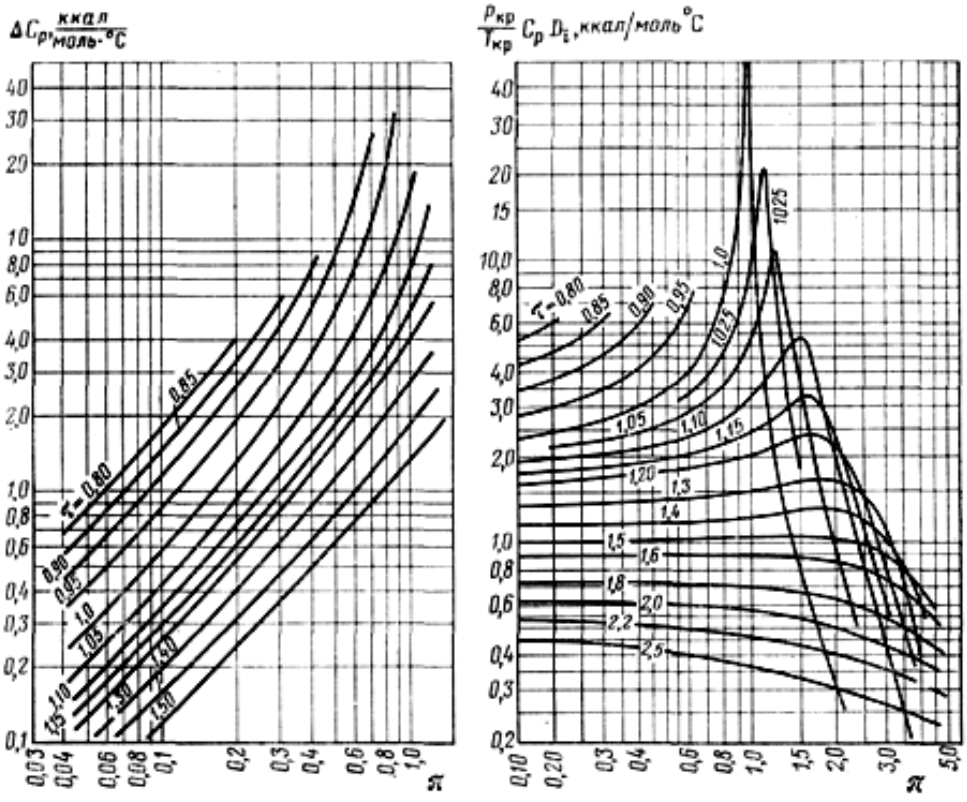


Рис. 2.10. Графики расчётных величин

Величины Δc_p и $\left(\frac{p_{кр}}{T_{кр}} c_p D_i\right)$ могут быть найдены по графикам в функции приведенных параметров (рис. 2.10). Искомые величины выражены в ккал/моль °С, поэтому при постановке в формулу (2.17) нужно принимать значения R = 1,986 той же единицы. Другой вариант расчёта $\eta_П$ дан В. А. Щуровским. В обоих вариантах $\eta_П$ изменяется в процессе сжатия вместе с π и τ[6].

Чтобы перейти к внутреннему политропическому КПД всего процесса, можно поступить по-разному: использовать среднеарифметические значения приведенных параметров состояний газа или же вычислить значения $\eta_П$ для начала и конца сжатия, а затем осреднить их. Существует также чисто аналитический метод вычисления перепада энтальпии, более удобный для ЭВМ.

§ 2.6. Газодинамические характеристики

Газодинамическая характеристика представлена экспериментальными графиками зависимостей между основными показателями компрессора, аналогичными графикам характеристик лопастного насоса.

Им придают различную форму в зависимости от условий нагнетания газа.

Наиболее частый случай эксплуатации машины – при постоянных условиях всасывания ($p_н$, $T_н$) газа известного состава. По оси абсцисс откладывают значения объёмного расхода газа на входе компрессора или подачи, а по оси ординат – конечного давления (или степени повышения давления), мощности (или внутренней мощности) и одного из относительных КПД (внутреннего или общего) при одной (рис. 2.11, *а*) или нескольких частотах вращения (рис. 2.11, *б*). При наличии регулирующих устройств графики строят для различных положений регулятора (например, входного направляющего аппарата).

Каждой частоте вращения или каждому положению регулирующего органа соответствует определённое минимальное значение $\overline{V}_н$, при котором наблюдается помпаж. Совокупность таких точек на кривых $\overline{V}_н - p_к$ образует границу помпажа. Работа в области помпажа недопустима даже кратковременно, и поэтому крупные машины снабжают антипомпажными устройствами. Точка начала помпажа *k*, расположенная вблизи максимума указанной кривой, называется критической; ей соответствует критическое значение $\overline{V}_{кр}$.

---

[6] Можно построить политропу по условию $\eta_П$ = idem, но в этом случае n_T будет переменной величиной [18, 22].

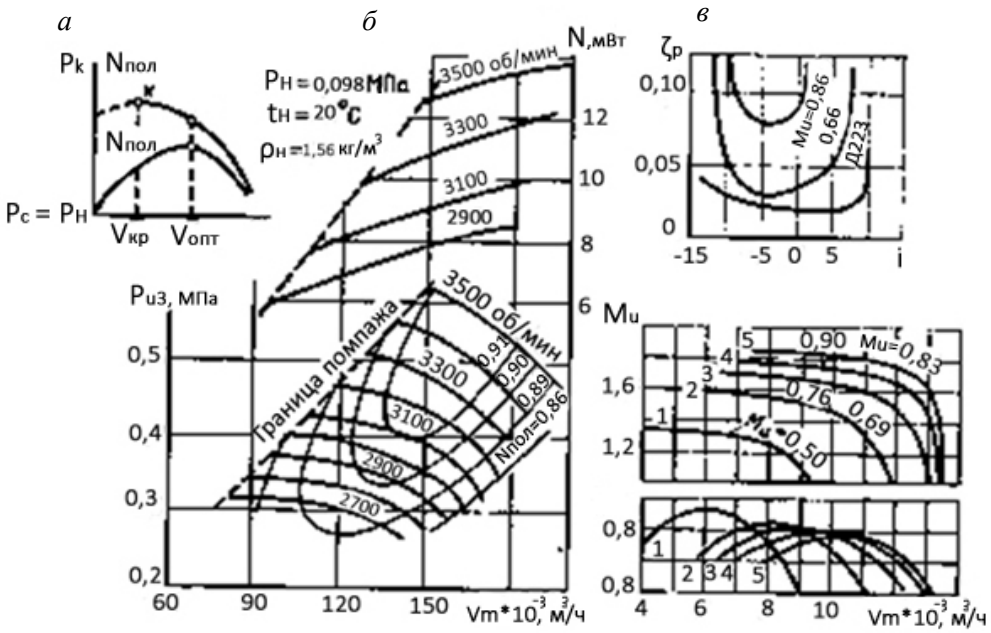


Рис. 2.11. Газодинамические характеристики компрессора:

ζ – коэффициент потерь в лопастной решётке; I – угол атаки (в угловых градусах)

Иногда на графике наносят условную границу пульсаций, соответствующую предпомпажным режимам и проходящую несколько правее от границы помпажа. Удалённость точки оптимального режима (максимума КПД) от критической точки, характеризующаяся отношением $\overline{V}_{\text{опт}} / \overline{V}_{\text{кр}}$ (см. рис. 2.11, *а*), зависит от выходного угла наклона лопастей. Это отношение равно 1,3 – 2,2, и лишь у компрессоров с радиальными лопастями ($\beta_{2л} = 90°$) оптимальный режим совпадает с критическим или близок к нему.

Другая особенность характеристик компрессора – их зависимость от начальной температуры $T_{\text{н}}$ и физических свойств газа. С изменением начальной температуры и состава газа и, следовательно, его плотности пропорционально последней изменяются давление и мощность компрессора. Кроме того, от температуры и состава газа зависит скорость звука ($a = \sqrt{kRT}$), а при обтекании лопастей вследствие неравномерного распределении скоростей в потоке газа местная скорость может возрасти до звуковой или сверхзвуковой. При этом появляется дополнительное волновое сопротивление, связанное с возникновением скачков уплотнений и с отрывом потока[7] в связи с неустойчивостью его и обратным переходом к течению газа с дозвуковой скоростью.

[7] Скачком уплотнения (или ударной волной) в газодинамике называют скачкообразное изменение плотности, давления и температуры газа. Отрыв потока – образование вихревой зоны у стенок диффузора.

Поток газа в ступенях с одинаковой геометрией характеризуют числом Маха, определяемым по какой-либо характерной скорости, например, по окружной скорости рабочего колеса и по скорости звука в условиях всасывания: $M_{и} = u_2 / a_{н}$. Влияние числа Маха демонстрируют измерения потерь работы в неподвижных лопастных решётках в зависимости от угла атаки (рис. 2.11, *в*). При малых числах Маха потери ζ остаются небольшими в широком диапазоне углов атаки. С увеличением числа Маха потери возрастают, причём область приемлемых углов атаки сильно сужается.

В лопастных аппаратах компрессора характер течения более сложный, чем в неподвижной решётке, но влияние числа Маха проявляется аналогично. С увеличением $M_{и}$ эффективность ступеней падает, а область устойчивой работы при безотрывном обтекании профилей сужается, вследствие чего увеличивается крутизна кривых характеристики (рис. 2.11, *г*).

Условия сложения кривых характеристик ступеней компрессора (или нагнетателей, включённых последовательно) иные, нежели в насосе.

В многоступенчатом насосе все ступени действуют в одном режиме, вследствие чего диапазон подач у насоса такой же, как у одной из его ступеней. Иначе обстоит дело в компрессоре.

Рассмотрим действие двух одинаковых ступеней (или групп ступеней) при одинаковой частоте вращения. Вследствие различия начальных температур в обеих ступенях и чисел Маха характеристики ступеней $\overline{V}_{н}$ – ε несколько различаются, но незначительно.

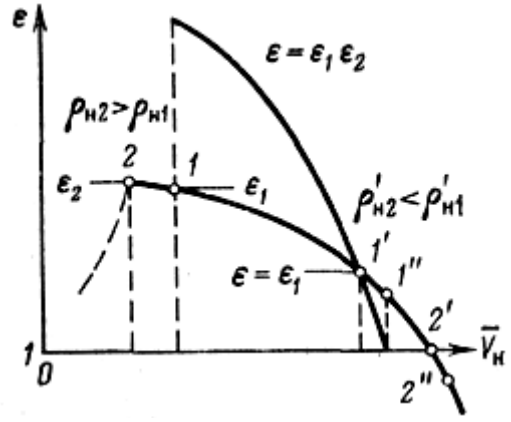


Рис. 2.12. Сложение характеристик ступеней компрессора

На рис 2.12 они обе представлены кривой *2 – 2*''. Когда первая ступень действует в режиме *1*, то плотность газа увеличивается, а объёмный расход газа на входе во вторую ступень снижается так, что вторая ступень работает в режиме *2* на границе помпажа. Если же режим первой ступени соответствует точке *1'*, то вследствие значительного подогрева газа происходит, наоборот, его расширение, и объёмный расход на входе второй ступени увеличивается (точка *2'* при ε = 1), поскольку массовый расход газа в обеих ступенях одинаковый.

При сжатии идеального газа из формулы (2.14) и уравнения политропы $p_{к}\rho_{к}^{-n_{υ}} = p_{н}\rho_{н}^{-n_{υ}}$ путём исключения показателя политропы $n_{υ}$ нетрудно полу-

чить формулу для определения плотности газа на выходе из ступени (или группы ступеней):

$$p_к = p_н \varepsilon^{\left[\frac{1-k(l-\eta_{пол.в})}{\eta_{пол.в}}\right]}, \qquad (2.18)$$

где $\eta_{пол.в}$ – внутренний политропический КПД.

Плотность газа снижается при $k(1-\eta_{пол.в}) > 1$ или при $\eta_{пол.в} < \frac{k-1}{k}$.

Умножением отношений давлений в ступенях можно вычислить степень повышения давлений в двух ступенях $\varepsilon = \varepsilon_1 \varepsilon_2$ и построить кривую $\overline{V}_н - \varepsilon$.

Как видно, в двухступенчатой машине диапазон изменения $\overline{V}_н$ более узкий (от 1 до 1'), чем в одноступенчатой (от 2 до 2'). При ε = 1 вторая ступень работает в режиме торможения (точка 2", $\varepsilon_2 < 1$). При этом давление во второй ступени снижается на величину, равную повышению давления в первой ступени.

§ 2.7. Безразмерные и приведенные характеристики

Предположим сначала, что речь идёт об идеальном газе, состояние и свойства которого можно характеризовать следующими величинами: начальным давлением $p_н$, температурой $T_н$, газовой постоянной R и показателем адиабаты k. Заметим, что в термодинамических зависимостях абсолютная температура входит в виде группы RT или в виде отношения температур. Поэтому вместо температуры будем рассматривать группу RT, имеющую ту же размерность, что и удельная работа. Скорость звука в условиях всасывания определяется посредством уже названных величин ($a_н = \sqrt{kRT_н}$) и может заменять одну из них, например, k в функциональных связях. Точно так же для расчётов легко привлечь начальную плотность газа ($\rho_н = p_н / RT_н$) вместо другой величины (например, $RT_н$).

Не будем учитывать влияние второстепенных факторов – теплообмена, вязкости газа, шероховатости стенок. Тогда для описания действия геометрически подобных неохлаждаемых компрессоров необходимо иметь три опытные зависимости следующего вида:

$$\overline{V}_н\ ,\ N_к,\ \ RT_к = f_{1.2.3}(p_н, p_к, RT_н, D_2, u_2, a_н). \qquad (2.19)$$

Функции f_1, f_2, f_3 будут, конечно, различными. Для измерения всех величин, входящих в характеристику (2.19), достаточно трёх основных единиц, а для представления самой характеристики в безразмерной форме – шести комплексов физических величин (9 – 3 = 6), из которых четыре симплекса: показатель адиабаты $k = \frac{a_н^2}{RT_н}$; степень повышения давления $\varepsilon = p_к / p_н$; отношение температур $\theta = T_к / T_н$; число Маха $M_u = u_2 / a_н$.

Два оставшиеся критерия удобно комбинировать с участием величин, которые являются параметрами размерной газодинамической характеристики ($p_н$, u_2, D_2, $a_н$, $\rho_н$): коэффициент расхода $\Pi_{\overline{V}} = \frac{\overline{V_н}}{D_2^2 u_2}$ или $\left(\frac{\overline{V_н}}{a_н D_2^2}\right)$; коэффициент внутренней мощности $\Pi_N = \frac{N_к}{\rho_y D_2^2 u_2^3}$ или $\left(\frac{N_к}{a_н D_2^2 p_н}\right)$.

В результате можно записать следующую функциональную зависимость (безразмерную характеристику серии):

$$\varepsilon,\ \Pi_N,\ \theta = F_{1,\,2,\,3}\left(\Pi_{\overline{V}},\ M_u,\ k\right). \qquad (2.20)$$

По этим критериям легко вычислить внутренний политропический КПД:

$$\eta_{пол.в} = \frac{N_{пол}}{N_к} = \frac{p_н \overline{V_н}}{N_к} \cdot \frac{n_v}{n_v - 1}(\theta - 1) = \frac{\Pi_{\overline{V}}}{\Pi_N M_u^2 k} \cdot \frac{\theta - 1}{\lg\theta} \lg\varepsilon \qquad (2.21)$$

и использовать его в характеристике (2.20) вместо θ.

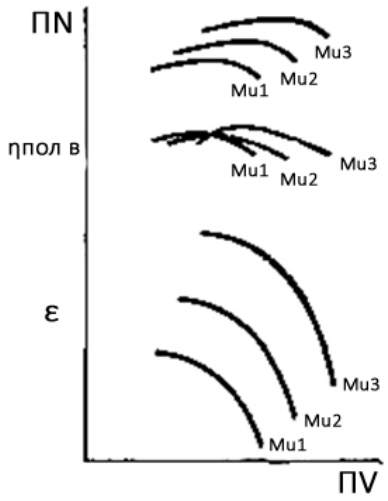


Рис. 2.13. Безразмерная (критериальная) характеристика компрессора

Если дана газодинамическая характеристика машины, то, представляя её в виде графика, как это показано на рис. 2.13, можно затем пользоваться ею при вариациях частоты вращения, а также начальных параметров сжимаемого газа.

С помощью соответствующих пересчётов, задаваясь какими-нибудь номинальными условиями работы той же или геометрически подобной машины n^*, $(RT_н)^*$, можно построить кривые размерной характеристики. Такая характеристика называется приведенной (к указанным номинальным условиям). Координаты графика приведенной характеристики пропорциональны координатам для соответствующей безразмерной характеристики, и поэтому она играет такую же роль, как и безразмерная.

По заданным $p_н$, $p_к$, $RT_н$, исходя из равенства критериев режима ε, M_u, определяют искомые рабочие показатели при номинальных условиях, которые затем пересчитывают на фактические. При работе одного и того же компрессора на каком-либо одном газе характерный размер D_2 и газовая постоянная могут быть опущены. Тогда пользуются **приведенными**[8] величинами в формулах:

$$n^* = n\sqrt{T^*/T_н}\ \ ;\ \overline{V_н} = \overline{V_н^*}\frac{n}{n_*}\ ;\ N_к = N_к^* \frac{\rho_н}{\rho_н^*}\left(\frac{n}{n^*}\right)^3.$$

[8] Т. е. величинами, относящимися к приведенной характеристике и обозначаемыми здесь индексом «*».

Изложенные выше правила подобия действительны только для идеального газа. В случае реального газа полученные результаты можно использовать лишь в качестве приближённых при условии, что сжатие происходит не вблизи критического состояния газа или если речь не идёт о сжатии двух фаз – жидкости и пара в области равновесия.

Чтобы применить с этими оговорками правила подобия к реальному газу, необходимо определять скорость звука в газе для заданных начальных значений $p_н$ и $T_н$ по приближённой формуле

$$a_н = \sqrt{kRT_н Z_н}\ .$$

Все критерии подобия сохраняют свой вид, лишь при вычислении политропического КПД по формуле (13.21) вместо θ необходимо вводить

$$\tau_{нк} = T_к Z_к / T_н Z_н .$$

Пример. Определить критерии режима при следующих условиях:

D_2 = 590 мм; n = 50,0 об/с; R = 515 Н/кг · К; $\rho_н$ = 27,3 кг/м^3;

$p_н$ = 3,92 МПа; $T_н$ = 303 К; k = 1,29; $p_к$ = 4,8 МПа; $T_к$ = 318 К;

$\overline{V}_н$ = 3,07 м^3/с; $N_к$ = 2,97 МВт.

Определяем: $u_2 = \pi\, 0{,}590 \cdot 50{,}0 = 92{,}7$ м/с; $Z_н$ = 0,920; $Z_к$ = 0,910 (по графику).

$\varepsilon = p_к / p_н = 4{,}80 : 3{,}92 = 1{,}223$; $\tau_{нк} = \frac{T_к}{T_н} \cdot \frac{Z_к}{Z_н} = \frac{318}{303} \cdot \frac{0{,}910}{0{,}920} = 1{,}039$

$$\Pi_{\overline{V}} = \frac{\overline{V}_н}{D_2^2 u_2} = \frac{3{,}07}{0{,}590^2 \cdot 92{,}7} = 0{,}095;$$

$$\Pi_N = \frac{N_к}{\rho_н D_2^2 U_2^3} = \frac{2{,}97 \cdot 10^6}{27{,}3 \cdot 0{,}590^2 \cdot 92.7^3} = 0{,}287;$$

$$M_u = \frac{u_2}{\sqrt{kRT_н Z_н}} = \frac{92{,}7}{\sqrt{1{,}29 \cdot 515 \cdot 303 \cdot 0{,}92}} = 0{,}216;$$

$$\eta_{пол.в} = \frac{\Pi_{\overline{V}}}{\Pi_N M_u^2 k} \cdot \frac{\tau_{нк} - 1}{\lg \tau_{нк}} \lg\varepsilon = \frac{0{,}095}{0{,}387 \cdot 0{,}216^2 \cdot 1{,}29} \cdot \frac{1{,}039 - 1}{\lg 1{,}039} \lg 1{,}223 = 0{,}83.$$

При работе компрессоров на природных газах необходимо строить, строго говоря, график критериальной характеристики для каждого газа. Испытания центробежных нагнетателей, используемых для транспорта газа, показали, однако, что расхождение характеристик для типичных природных газов незначительное.

§ 2.8. Основы расчёта ступени центробежного компрессора

Ступень центробежного компрессора

Рабочее колесо *а*, кольцевой отвод (диффузор), направляющий аппарат *в*, взятые совместно, называют *ступенью давления* или просто *ступенью компрессора* (рис. 2.14). Рабочее колесо и обратный направляющий аппарат разделены диафрагмой *г*. В многоступенчатых компрессорах ступени включены в поток газа последовательно.

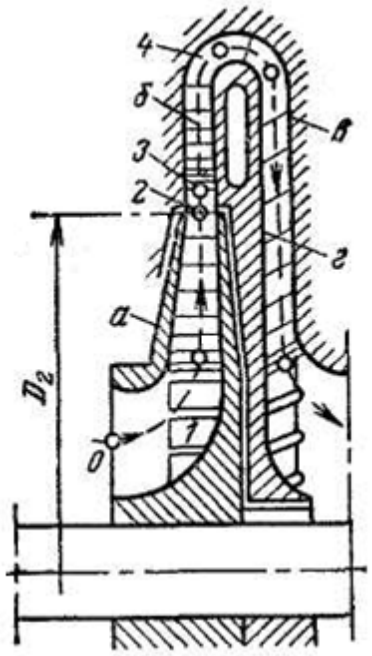


Рис. 2.14. Схема ступени центробежного компрессора

При протекании газа через каналы ступени состояние его изменяется в результате передачи энергии потоку рабочим колесом, газового трения, вихреобразования и теплообмена со средой, окружающей компрессор. Запишем баланс работы потока на участке *1 – 2*, Дж / кг [см. формулу (1.16) и рис. 2.14].

Энергия газа в сечении *1* на входе в межлопастные каналы

$$l_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_p T_1.$$

Энергия, передаваемая газу рабочими лопастями, по уравнению Эйлера

$$l = u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}.$$

Энергия газа в выходном сечении *2* межлопастных каналов

$$l_2 = \frac{c_2^2}{2} + c_p T_2.$$

Если от газа, проходящего через рабочее колесо, передаётся в окружающую среду количество теплоты q, то уравнение баланса энергии $l_1 + l - q = l_2$ можно записать так:

$$\frac{c_1^2}{2} + c_p T_1 + (u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}) - q = \frac{c_2^2}{2} + c_p T_2.$$

Следовательно, конечная температура сжатия в колесе

$$T_2 = T_1 + \frac{1}{2c_p}[c_1^2 - c_2^2 + 2(u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u})] - \frac{q}{c_p}. \qquad (2.22)$$

Предполагая процесс изоэнтропным, получаем:

$$T_{2a} = T_1 + \frac{1}{2c_p}[c_1^2 - c_2^2 + 2(u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u})]. \qquad (2.23)$$

При изоэнтропном сжатии газа:

$$\frac{T_{2a}}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Из двух последних уравнений следует

$$p_2 = p_1\left\{1 + \frac{1}{2c_pT_1}[c_1^2 - c_2^2 + 2(u_2c_{2u} - u_1c_{1u})]\right\}^{\frac{k-1}{k}}. \qquad (2.24)$$

Уравнения (2.22) и (2.23) связывают термодинамические факторы *T, p* и c_p с размерами, частотой вращения и формой лопастей рабочего колеса компрессора. Эти уравнения опытами не подтверждаются, потому что действительный процесс сжатия в рабочем колесе неизоэнтропен.

Высокие скорости газа в межлопастных каналах ступени обусловливают существенные потери от трения и вихреобразования и переход части энергии газового потока в теплоту. При этом действительный процесс сжатия оказывается близким к политропному с показателем *n*:

$$pv^n = \text{const}.$$

Вместе с тем отвод теплоты от потока газа в колесе во внешнюю среду незначителен, и для процесса сжатия в этом случае можно полагать $q = 0$ и

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}}, \qquad (2.25)$$

где $n = 1{,}5 – 1{,}62$.

В практике расчётов и оценки ступеней центробежных компрессоров с неинтенсивным охлаждением пользуются изоэнтропным КПД [см. формулу (1.26)]. Решив совместно уравнения (2.22) и (2.25) при условии $q = 0$ и использовав выражение η_a через степени сжатия при изоэнтропном и политропном процессах, получим:

$$p_2 = p_1\left\{1 + \frac{\eta_a}{2c_pT_1}[c_1^2 - c_2^2 + 2(u_2c_{2u} - u_1c_{1u})]\right\}^{\frac{k-1}{k}}. \qquad (2.26)$$

Изоэнтропный КПД стационарных центробежных компрессоров находится в пределах $\eta_a = 0{,}80 – 0{,}90$. Уравнением (2.26) можно пользоваться для ориентировочного расчёта конечного давления в рабочем колесе ступени компрессора.

В направляющих аппаратах компрессора энергия потоку газа извне не передаётся; здесь происходит только преобразование кинетической энергии в потенциальную или наоборот.

Если полагать, что теплообмена с окружающей средой нет, то энергетический баланс потока на участке *3 – 4* будет

$$c_p T_3 + \frac{c_3^2}{2} = c_p T_4 + \frac{c_4^2}{2}. \quad (2.27)$$

Отсюда следует:

$$\frac{T_4}{T_3} = 1 + \frac{c_3^2}{2c_p T_3}\left(1 - \frac{c_4^2}{c_3^2}\right). \quad (2.28)$$

При обратной пропорциональности $\frac{c_4}{c_3} = \frac{R_3}{R_4}$, следующей из закона rc_u = = const, получим:

$$\frac{T_4}{T_3} = 1 + \frac{c_3^2}{2c_p T_3}\left(1 - \frac{R_3^2}{R_4^2}\right). \quad (2.29)$$

Полагая процесс в отводе политропным, будем иметь:

$$p_4 = p_3\left[1 + \frac{c_3^2}{2c_p T_3}\left(1 - \frac{R_3^2}{R_4^2}\right)\right]^{\frac{n}{n-1}}. \quad (2.30)$$

Показатель политропы зависит от условий охлаждения и для обычных конструкций компрессоров близок к n = 1,5.

Мощность центробежного компрессора

Пользуясь изоэнтропным КПД, можно определить внутреннюю работу ступени:

$$l = l_a/\eta_a. \quad (2.31)$$

При расчёте мощности на валу компрессора следует учитывать энергию, расходуемую на преодоление механического трения в подшипниках и газового трения нерабочих поверхностей колёс, введением механического КПД:

$$\eta_м = l/l_к. \quad (2.32)$$

Для обыкновенных конструкций компрессоров $\eta_м$ = 0,96 – 0,98.

Утечки газа через уплотнения в центробежных компрессорах составляют не более 1,5 % номинальной подачи, и их влияние при ориентировочных расчётах можно не учитывать.

Удельная работа компрессора с учётом механических потерь

$$l_к = \frac{l_a}{\eta_a \eta_м}. \quad (2.33)$$

Вычислив l_a по уравнению (2.31) и задавшись η_a и $\eta_м$, можно определить $l_к$ по (2.33).

При массовой подаче компрессора $\bar{m}$, кг/с, мощность компрессора для привода рабочего колеса одной ступени

$$N = \frac{\bar{m} l_a}{1000\eta_a \eta_м}. \quad (2.34)$$

Мощность многоступенчатого компрессора представляется суммой отдельных ступеней.

Приближённый расчёт ступени

Общие соображения. Расчёт ступени состоит в определении основных размеров рабочего колеса и направляющих аппаратов.

Существующие способы расчёта основываются на положениях струйной теории и условиях подобия при широком использовании экспериментальных данных по термодинамике и аэродинамике элементов ступени. Здесь рассматривается метод приближённого расчёта, дающий общее представление о геометрических размерах ступени компрессора стационарного типа, работающего при дозвуковых скоростях газа.

При расчёте задаются:

1) объёмная $\overline{V}$ или массовая $\overline{m}$ подача ступени;

2) начальное p_1 и конечное p_2 давления;

3) начальная температура T_1 газа;

4) термодинамические характеристики газа при нормальных условиях k, R, ρ.

Частота вращения вала компрессора определяется типом приводного двигателя. Для привода компрессоров применяют асинхронные и синхронные двигатели с частотой вращения до 3000 об/мин и более, обусловливающей малые размеры и массу конструкции.

В некоторых случаях между двигателем и компрессором включают передачу, повышающую частоту вращения вала компрессора.

При больших мощностях предпочтительнее применение синхронных электродвигателей, существенно улучшающих коэффициент мощности электрической системы и стабилизирующих напряжение в ней.

Удобным приводным двигателем при средних и высоких мощностях является паровая турбина с частотой вращения 3500 об/мин и выше. В этом случае допускается свобода выбора частоты вращения; агрегат в целом получается компактным и удобным в отношении регулирования подачи изменением частоты вращения.

Стационарные компрессоры должны иметь высокий КПД. Условие компактности и малой массы не является здесь решающим. По этим соображениям окружная скорость на выходе из рабочего колеса ограничена примерно 200 м/с. Колеса стационарных компрессоров выполняются с лопастями, загнутыми назад.

Поэтому для получения высокого давления требуется многоступенчатая конструкция.

Число ступеней давления определяется полным повышением давления, заданным для компрессора, и давлением, создаваемым отдельными ступенями.

Приближённый расчёт рабочего колеса

Продольный разрез рабочего колеса дан на рис. 2.15. Полагая вход на рабочие лопасти радиальными (рис. 2.16), из уравнения (2.26) получаем:

$$p_2 = p_1\left[1 + \frac{\eta_a}{2c_pT_1}[c_1^2 - c_2^2 + u_2c_{2u}]\right]^{\frac{k-1}{k}}. \qquad (2.35)$$

Изоэнтопный КПД ступени может быть принят равным около 0,85. Окружная скорость u_2 принимается от 150 до 250 м/с. По известным значениям n и u_2 рассчитывается наружный диаметр колеса:

$$D_2 = 60u_2/\pi n.$$

Отношение входного и выходного диаметров выбирается равным приблизительно 0,5. Возможны отклонения от 0,48 до 0,60.

Лопастной угол на входе определяется из параллелограмма скоростей (см. рис. 2.16).

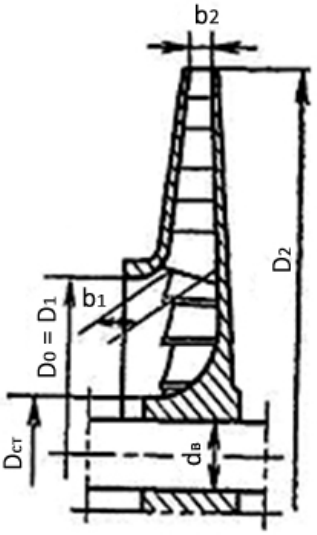


Рис. 2.15. Продольный разрез колеса центробежного компрессора

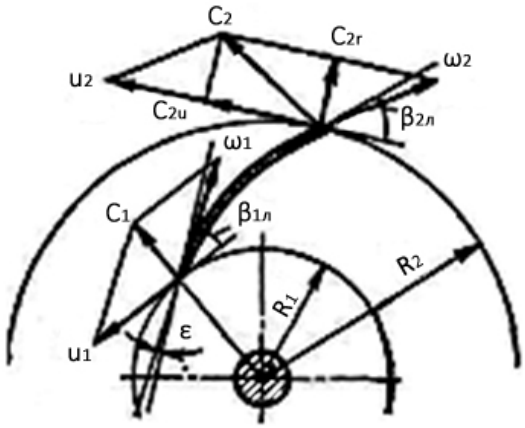


Рис. 2.16. Параллелограммы скоростей рабочего колеса с радиальным входом на лопасти

Угол атаки рабочей лопасти можно принимать $i = 0 - 5°$.

Установочный угол лопасти на входе $\beta_{1Л} = \beta_1 + i$.

Из уравнения (2.35) следует:

$$c_1^2 - c_2^2 + 2u_2c_{2u} = \frac{2c_pT_1}{\eta_a}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]. \qquad (2.36)$$

Скорость c_1 может быть принята равной скорости c_0 входа в рабочее колесо, определяемой из уравнения расхода для входного сечения колеса. Из параллелограмма скоростей на выходе (см. рис. 2.16) следует, что $c_2^2 = c_{2u}^2 + c_{2r}^2$. Полагая $c_{2r} = c_1$, что является обычным для колёс центробежных машин, из уравнения (2.36) получим:

$$2u_2c_{2u} - c_{2u}^2 = \frac{2c_pT_1}{\eta_a}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] = B. \qquad (2.37)$$

Правая часть равенства, обозначенная B, может быть вычислена по заданным и принятым величинам p_1, p_2, T_1, c_p, k, η_a. Из уравнения (2.37) следует:

$$c_{2u}^2 - 2u_2c_{2u} + B = 0; \quad c_{2u} = u_2 \pm \sqrt{u_2^2 - B}.$$

Связь c_{2u} с выходными параметрами, с учетом влияния конечного числа лопастей формулой Стодолы, выражается в виде

$$c_{2u} = u_2\left(1 - \frac{\pi}{Z}\sin\beta_2 - \frac{c_{2r}}{u_2}\operatorname{ctg}\beta_2\right). \qquad (2.38)$$

Число рабочих лопастей принимают $z = 16 – 32$.

Формула (2.38) позволяет найти необходимое значение угла β_2. Конечная температура сжатия в рабочем колесе определяется с помощью зависимостей

$$T_{2a} = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_2 = T_1 + \frac{T_{2a} - T_1}{\eta_a}. \qquad (2.39)$$

Удельные объёмы газа на входе и выходе находят по уравнению состояния, а затем по заданной массовой подаче рассчитывают объёмные расходы.

Уравнение расхода $\overline{V} = \pi Dbc_r\mu$, применённое к входному и выходному сечениям, позволяет определить ширину лопастей. При этом следует иметь в виду, что вследствие утечек через уплотнения переднего диска фактический расход рабочего колеса больше заданного на 1 – 1,5 %.

Размеры входного (нормального к оси) сечения рабочего колеса определяют по уравнению расхода

$$\bar{V} = \frac{\pi}{4}(D_0^2 - D_{cm}^2)c_0, \qquad (2.40)$$

где размер D_{cm} принимается по конструктивным соображениям в зависимости от диаметра вала.

Форма рабочих лопастей устанавливается значениями углов $\beta_{1Л}$ и $\beta_{2Л}$ и способом построения средней линии лопасти (рис. 2.17).

Расчёт безлопаточного диффузора. Расчёт такого диффузора, применяемого в стационарных компрессорах, заключается в определении геометрических размеров и состояния газа на выходе.

В основе расчёта лежат закон rc_u = const и уравнение баланса энергии, приводящие к уравнениям (2.29) и (2.30).

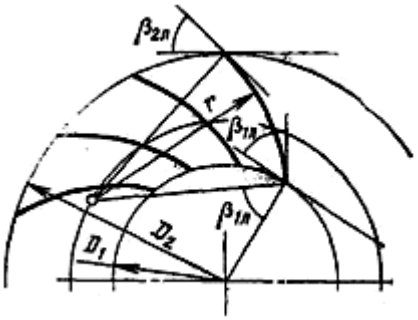


Рис. 2.17. Построение лопасти одной дугой окружности

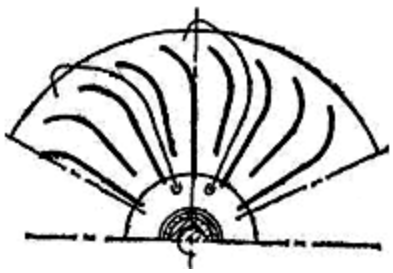


Рис. 2.18. Форма лопастей обратного направляющего аппарата центробежного компрессора

Ширину и радиальный размер диффузора можно рассчитать по выбранным практикой соотношениям

$$b_3 = b_4 \approx b_2; \qquad D_4 = (1{,}6 - 1{,}8)D_2.$$

Окружная составляющая скорости на выходе из диффузора

$$c_{4u} = c_{2u}\frac{D_2}{D_4}.$$

Радиальная составляющая

$$c_{4r} = \frac{\overline{V}_4}{\pi D_4 b_4}.$$

Ввиду того, что объёмный расход $\overline{V}_4$ может быть определён только при известном удельном объёме газа, использование последнего равенства связано с предварительным заданием $\overline{V}_4$ и проверкой его в конце расчёта.

Угол выхода потока из диффузора

$$\alpha_4 = \operatorname{arctg}\frac{c_{4r}}{c_{4u}}.$$

Повышение давления в диффузоре можно рассчитать по уравнению (2.30), а повышение температуры – по уравнению

$$T_4 = T_3\left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{n-1}{n}}.$$

Расчёт лопаточного диффузора. Лопаточные диффузоры обычно применяют при $\alpha_2 < 20^\circ$. Размеры их могут быть приняты на основании практических данных:

$$b_3 = b_4 = (1 - 1{,}2)b_2; \quad D_3 \approx 1{,}1\ D_2; \quad D_4 = (1{,}3 - 1{,}55)D_2.$$

Входной угол $\alpha_{3Л}$ лопаток диффузора следует полагать равным выходному углу α_2 рабочего колеса. Выходной угол $\alpha_{4Л}$ находится обычно в пределах 30 – 40°.

Число лопаток диффузора не должно быть равным и кратным числу рабочих лопаток. В обычных конструкциях $z_{диф} = 20 – 28$.

Лопатки диффузора очерчиваются дугой круга.

Форма лопастей обратного направляющего аппарата приведена на рис. 2.18.

§ 2.9. Осевые компрессоры

Принцип действия и устройство. По принципу действия осевой компрессор подобен осевому насосу. Главное направление движения газа – вдоль оси вращения, траектории частиц газового потока расположены на цилиндрических или слегка конических поверхностях. Устройство осевого компрессора показано на рис. 2.19.

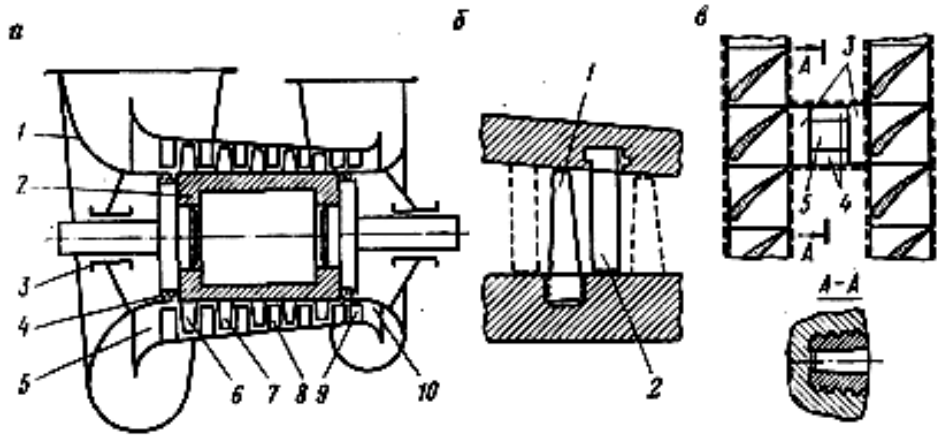


Рис. 2.19. Осевой компрессор:

а – схема компрессора; *б* – ступень; *в* – замковый паз;
1 – корпус; *2* – ротор; *3* – подшипники;*4* – уплотнения; *5* – входнойконфузор;
6 – входной направляющий аппарат; *7* – рабочий венец;*8* – направляющий венец;
9 – спрямляющий аппарат; *10* – выходной диффузор

Ступень компрессора состоит из двух рядов (венцов) лопастей ротора и статора. Во входном направляющем аппарате перед первой ступенью поток закручивается в ту же сторону, что и направляющих аппаратах ступеней. Из последнего спрямляющего аппарата поток выходит в осевом направлении. Вместе с объёмом сжимаемого газа уменьшается высота лопастей в венцах. В первых ступенях отношение диаметра втулки к диаметру корпуса обычно бывает $d_в/d_к = 0,5 – 0,7$, а в последних ступенях – 0,7 – 0,9. Применяют преимущественно две схемы проточной части: а) с постоянным диаметром корпуса,

б) с постоянным диаметром ротора. Схема *а* позволяет снизить число ступеней, так как при прочих равных условиях средний диаметр проточной части в этой схеме больше, чем в схеме *б*, и, следовательно, мощность каждой ступени выше. Поэтому схему *а* применяют там, где в особенности необходимо уменьшить габариты и массу машины. Схема *б* удобна и проста для изготовления, и поэтому она более приемлема для компрессоров стационарных установок.

Лопасти осевого компрессора. Высокая эффективность осевых компрессоров (в некоторых машинах КПД превышает 0,91) достигнута применением аэродинамически совершенных лопастных аппаратов. Устройство ступени показано на рис. 2.19, *б*. Лопасти ротора *1* пилообразным хвостом с зубцами заводятся в кольцевую канавку ротора через замковый паз, соединённый с двумя смежными канавками (рис. 2.19, *в*). После установки лопастей в замок вставляются последовательно вставки *3, 4* и клин *5*. Лопасти статора *2* вставляются в корпус непосредственно (см. рис. 2.19, *б*) либо крепятся к бандажным лентам, изогнутым в виде полуколец и образующим две половины вставного направляющего аппарата.

Тип лопастных аппаратов осевых компрессоров определяется по степени реактивности. Скорости потока в лопастных аппаратах осевой машины (компрессора, вентилятора, насоса) удобно изображать на общем чертеже (полигоне скоростей) – рис. 2.20.[9]

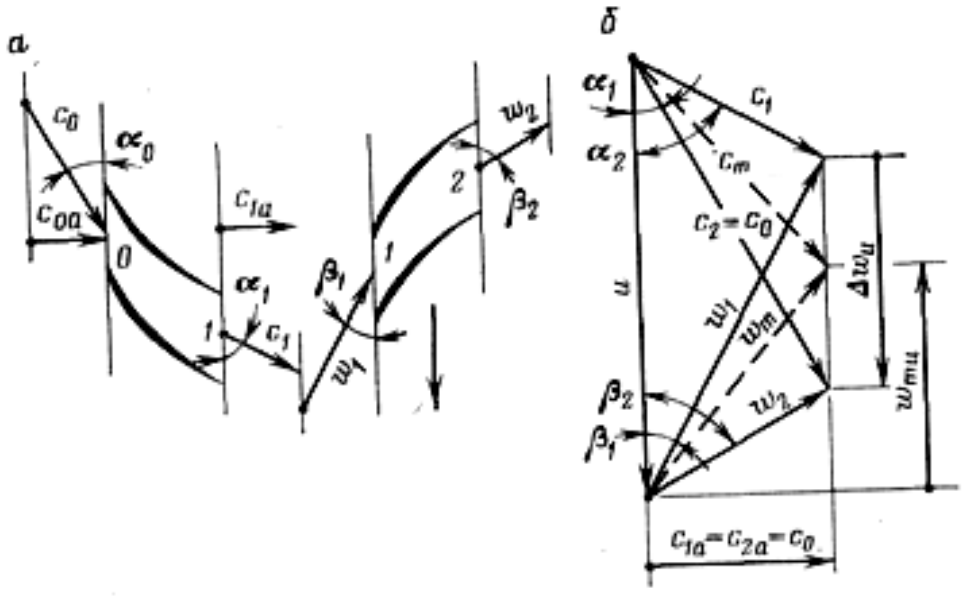


Рис. 2.20. Планы скоростей в осевом компрессоре

[9] Имеется в виду режим безударного входа газа в межлопастные каналы на среднеквадратичном радиусе $\sqrt{\frac{1}{2}(r_1^2 + r_2^2)}$.

Форма полигона зависит только от входных и выходных углов наклона лопастей и поэтому может характеризовать тип лопастного аппарата. В свою очередь, форма полигона определяется тремя отношениями его сторон: $\varphi = \frac{c_a}{u}$ (коэффициентом осевой скорости), $\mu = \frac{\Delta w_u}{u}$ (коэффициентом напора), $\theta = \frac{w_{mu}}{u}$ (степени реактивности).

При значительных окружных скоростях ($u \geq 250$ м/с) целесообразно применять тип аппарата, у которого $\theta = 0{,}5$, треугольники скоростей симметричные, а профили рабочих и направляющих лопастей аналогичные. Теоретически, если $\theta = 0{,}5$, аппарат наиболее экономичный. Изменение θ в любую сторону приводит к увеличению суммы квадратов средних скоростей $c_m^2 + w_m^2$, от которых зависят аэродинамические потери в статоре и роторе.

В компрессоре профили лопастей слабо изогнутые, поскольку при большом угле их изгиба в диффузорной решётке происходит отрыв потока. Поэтому геометрические разности скоростей Δc_u и Δw_u относительно невелики (коэффициент напора $\mu = 0{,}25 – 0{,}40$), и при $\theta = 0{,}5$ скорость $c_{1u} > 0$, т. е. поток перед рабочим венцом закручивается в сторону вращения ротора.

При умеренных окружных скоростях (200 – 250 м/с) применяют также аппараты со степенью реактивности $\theta = 0{,}5 – 0{,}8$, а при небольших скоростях (160 – 220 м/с) – чисто реактивные ($\theta = 1$), имеющие некоторые эксплуатационные достоинства.

Лопасти ротора и статора изготовляют так, что по их высоте степень реактивности может изменяться или оставаться постоянной. В различных ступенях компрессора аппараты могут быть подобными, отличающимися только высотой лопастей, или же с лопастями различного профиля в 3 – 4 группах ступеней.

Ротор компрессора выполняется чаще всего в виде барабана – составного или цельного. В первом случае полувалы ротора вставляют в барабан на горячей посадке, а во втором – ротор отковывается целиком. Так же как в центробежных компрессорах, в осевых применяют подшипники скольжения со смазкой их под давлением.

Корпусы компрессора – литые, с горизонтальным, а иногда вертикальным (в средней части) разъёмом. Если патрубки отлиты в нижней половине корпуса, то это удобно для демонтажа ротора, но при этом для присоединения снизу трубопроводов требуются высокие фундаменты.

Конструктивные формы осевых компрессоров. Осевые компрессоры строятся, как правило, многоступенчатыми. Проточная полость образуется

межлопастными каналами венцов рабочих и направляющих лопастей и поверхностями корпуса и втулки.

В зависимости от формы внутренней поверхности корпуса и наружной поверхности втулки различают два основных геометрических типа проточной полости (рис. 2.21):

$$\left.\begin{array}{l} 1)\ d_{\text{вт}} = \text{const};\ d_{\text{к}} = \text{var} \\ 2)\ d_{\text{вт}} = \text{var};\ d_{\text{к}} = \text{const} \end{array}\right\}. \qquad (2.41)$$

В обоих случаях радиальная длина рабочих и направляющих лопастей уменьшается в направлении от первой ступени к последней.

Изменение длины лопасти обусловлено уменьшением объёма газа при сохранении постоянного значения осевой скорости. Последнее условие не является обязательным, и в некоторых случаях уменьшают осевую скорость в последних ступенях с целью уменьшения потерь энергии в них.

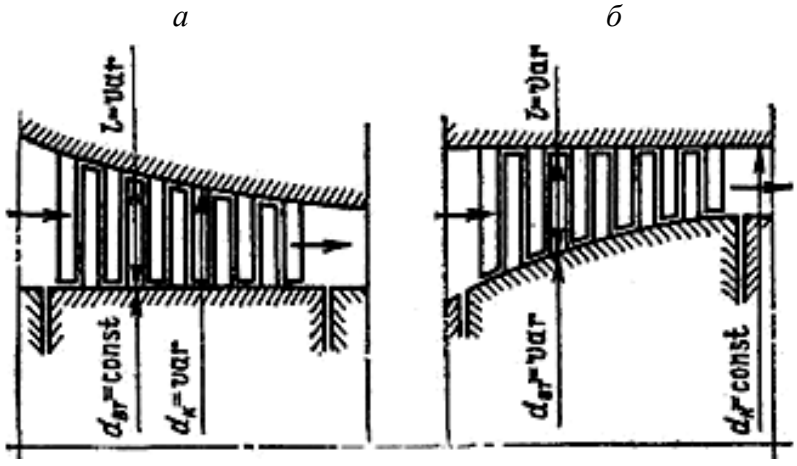


Рис. 2.21. Проточная полость осевого компрессора

Минимальная высота лопасти последней ступени приблизительно равна 40 мм.

Изменение длины лопасти в направлении движения газа приводит к изменению характерного для осевых машин значения втулочного отношения $\nu = d_{\text{вт}}/d_{\text{к}}$.

Для первых ступеней $\nu_{\text{вх}} = 0{,}5 - 0{,}8$, для последних $\nu_{\text{вых}} = 0{,}7 - 0{,}9$.

Выясним особенности геометрических типов компрессоров, определяемых условиями (2.41):

1. $d_{\text{вт}} = \text{const}$; $d_{\text{к}} = \text{var}$. В этом случае втулка цилиндрическая и изготовление её несложно. Корневые части и крепления рабочих лопастей всех ступеней во втулке совершенно одинаковы. Последние лопасти в этом варианте имеют

при прочих равных условиях длины, большие, чем в варианте с $d_к$ = const. В этом легко убедиться, составляя уравнения неразрывности для обоих вариантов и полагая осевые скорости одинаковыми.

Увеличенная длина лопастей хвостовых ступеней уменьшает потери энергии в них.

2. $d_{вт}$ = var; $d_к$ = const. В этой схеме упрощаются обработка корпуса и крепление в нём направляющих лопаток. Упрощаются и являются более надёжными обработка и пригонка внешних концов рабочих лопастей. Благодаря этому допускаются меньшие радиальные зазоры между концами рабочих лопастей и внутренней поверхностью корпуса, что повышает объёмный КПД ступеней. Окружные скорости лопастей в этом случае выше, чем при $d_{вт}$ = const; что увеличивает работу ступеней, и при заданной степени сжатия компрессора число ступеней получается меньшим, чем в первом случае. Недостатком этой конструктивной схемы применительно к малым подачам являются малые длины лопастей хвостовых ступеней. КПД хвостовых ступеней снижается.

Кроме рассмотренных схем построения проточной полости иногда применяют и другие схемы с $d_{вт}$ = var и $d_к$ = var, не имеющие, однако, преимуществ перед рассмотренными.

Для стационарных осевых компрессоров применяют в большинстве случаев схему с $d_{вт}$ = const.

Существенное влияние на энергетическую эффективность осевого компрессора оказывает аэродинамика подводящего и отводящего каналов. Они конструируются, как правило, в виде спиральных и осевых каналов переменного сечения (конфузоров и диффузоров).

Рассмотрим конструктивные формы рабочих и направляющих лопастей и способ их крепления во втулке и корпусе компрессора.

Лопасти осевых компрессоров в редких случаях являются цилиндрическими. Обычно они рассчитываются с переменным по длине коэффициентом реактивности или по условию rc_u = const. Это приводит к изменению угла установки элементов лопасти по её длине, и лопасть получается винтовой.

Корневое сечение лопасти *1* жёстко сопрягается с сухарём *2*, служащим для закрепления лопасти во втулке. Лопасть и сухарь обычно выполняются из одного куска металла; в некоторых случаях свариваются. Боковые грани сухаря имеют криволинейные рифы (зубцы) *3* для крепления в канавках, проточенных во втулке. Сухари вводятся в канавку через специальный замковый колодец

и разводятся по канавке до плотного соприкосновения торцовыми плоскостями (рис. 2.22).

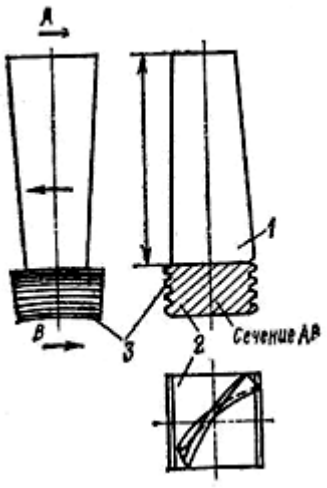


Рис. 2.22. Конструкция рабочей лопасти

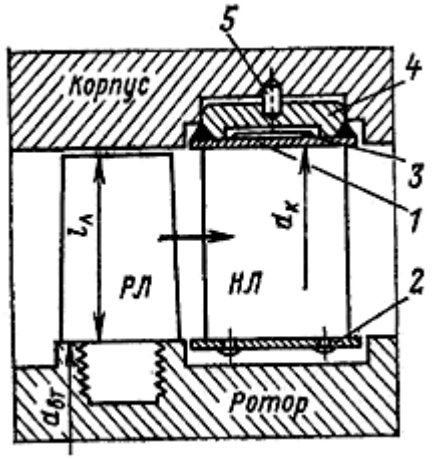


Рис. 2.23. Крепление направляющей лопасти

После набора в канавку сухарей полного венца лопастей в замковый колодец закладывается с небольшим натягом холостой (без лопасти) сухарь, стопорящийся специальным винтом.

В некоторых конструкциях колодец для введения хвостовиков лопастей выполняется один на две кольцевые канавки. Это упрощает конструкцию крепления.

Направляющие лопасти могут крепиться к корпусу, или аналогично креплению лопастей к втулке, или способом, показанным на рис. 2.23. В этом случае лопатки группируются при помощи цилиндрических бандажных лент *1* и *2* в две секции; одна крепится к верхней половине корпуса компрессора, другая – к нижней. Стыки секций – в привалочных плоскостях половин корпуса. Способы крепления лопаток к бандажам и бандажей к корпусу ясны из рис. 2.23. На наружных концах направляющих лопаток отфрезерованы хвостовики *3*, проходящие через сквозные отверстия в бандаже. С наружной стороны хвостовик приваривается к бандажу.

На внутренних концах направляющих лопаток отфрезерованы стерженьки, пропускаемые через отверстия в бандаж *2* и расклёпываемые в нём.

Для увеличения жёсткости пакета к наружному бандажу *1* приваривается кольцо жёсткости *4*, плотно входящее в цилиндрическую выточку в корпусе. Весь пакет предохраняется от проворачивания в корпусе штифтом *5*.

Примеры конструкций. На рис. 2.24 изображены боковой вид и продольный разрез двадцатиступенчатого осевого компрессора. Компрессор имеет

промежуточный отбор после восьмой ступени и, следовательно, подаёт воздух двух давлений.

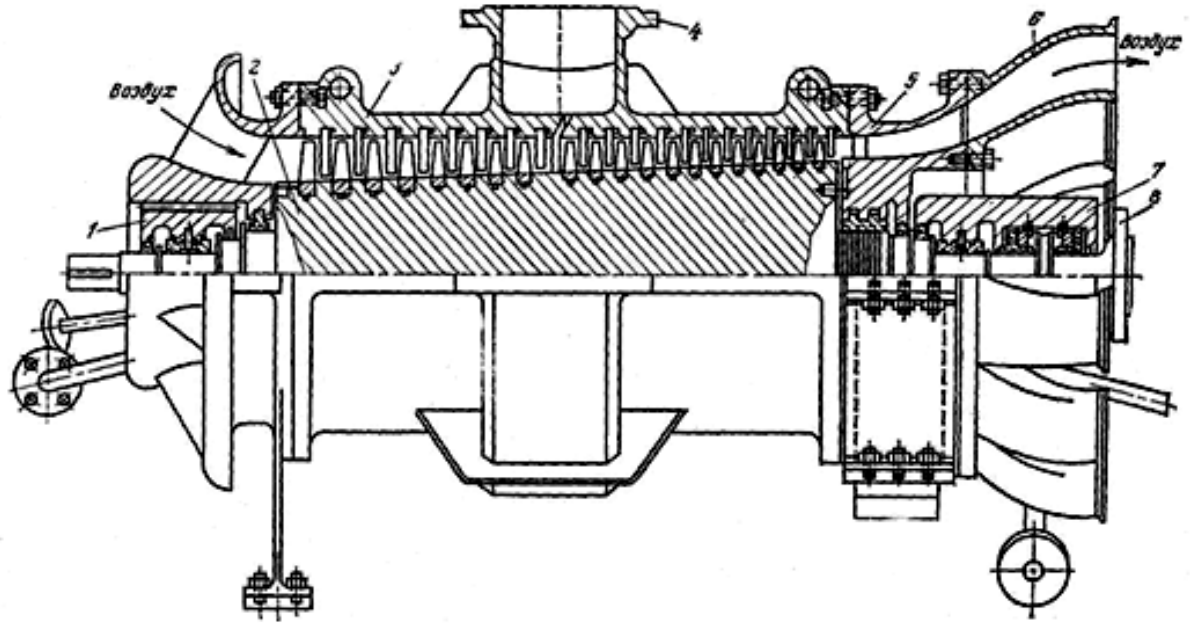


Рис. 2.24. Осевой компрессор:

1 – опорный подшипник; *2* – барабан; *3* – корпус; *4* – патрубок промежуточного отбора; *5* – диффузор; *6* – переходные патрубки; *7* – опорно-упорный подшипник; *8* – фланец жёсткой муфты

Компрессор выполнен с постоянным внутренним диаметром корпуса (см. рис. 2.21, *б*). Корпус имеет разъём в горизонтальной плоскости. Подвод и вывод воздуха – в осевом направлении. Ротор массивный, большой массы.

Подшипники скользящего трения. Восприятие осевой силы – упорным подшипником, расположенным со стороны двигателя.

Для облегчения технологии корпуса входная и выходная крышки его выполнены отъёмными.

Уплотнения вала на входе и выходе гребёнчатые.

Конструкция в целом типична для стационарных компрессоров.

Рис. 2.25 даёт представление о конструкции стационарного осевого компрессора. Компрессор выполнен по схеме с постоянным диаметром ротора и коническим корпусом. Подвод и отвод воздуха в поперечном направлении снизу через патрубки, составляющие одно целое с левой и правой половинами корпуса.

Ввиду большой длины корпуса он выполнен из двух половин, стыкующихся в плоскости, нормальной к оси вала.

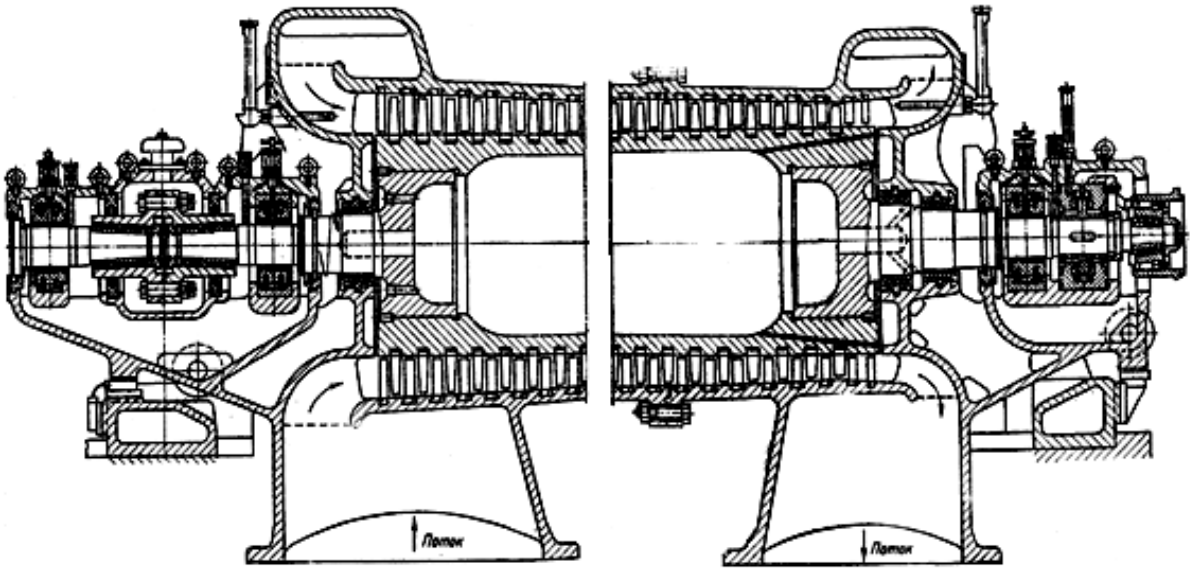


Рис. 2.25. Осевой компрессор с постоянным диаметром ротора

Ротор облегчённый, оригинальной конструкции, выполнен из двух основных частей: цилиндра, несущего венцы рабочих лопастей, и торцовых вставок, жёстко посаженных в цилиндр, составляющих одно целое с валами. Подшипники скользящего трения. Подпятник гидродинамический, сегментного типа. Концевые уплотнения гребёнчатые с защитой шеек валов специальными втулками. Соединение с двигателем жёсткой муфтой. Подача компрессора около 70000 м^3/ч при степени повышения давления 3,4.

§ 2.10. Основы расчёта осевого компрессора

Ступень осевого компрессора

Основные понятия

Осевой компрессор, как видно из конструктивной схемы (см. рис. 1.4), комбинируется из нескольких ступеней давления. Каждая ступень состоит из вращающегося венца рабочих и неподвижного венца направляющих лопастей, представляющих собой круговые плоские лопастные решётки (рис. 2.26). Рабочие лопасти закреплены на дисках или барабане ротора, направляющие – жёстко лопастями и без них. Последняя ступень всегда выполняется с выходными направляющими лопастями, назначение которых в этом случае состоит в раскручивании потока и уменьшении выходных потерь энергии.

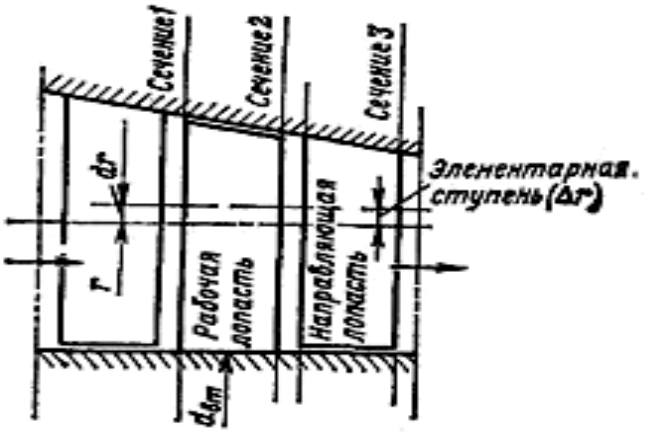


Рис. 2.26. Ступень осевого компрессора. Выделение элементарной ступени

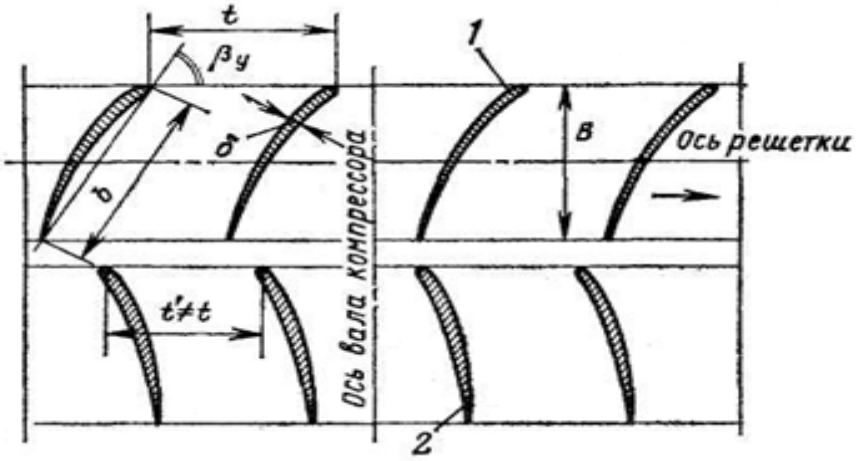


Рис. 2.27. Решётка лопасти ступени осевого компрессора:

t – шаг рабочих лопастей; *t*'– шаг направляющих лопаток; *b*– хорда профиля; *B*– ширина решётки; β – угол установки профиля; δ – максимальная толщина профиля; *1* – рабочие лопасти; *2* – направляющие лопасти

Первая ступень компрессора может выполняться с входными направляющими.

Выделим, как указано на рис. 2.26 и 2.27, ступень малой радиальной протяжённости Δr, называемую *элементарной ступенью.* В пределах длины элементарной ступени параллелограммы скорости неизменны.

Радиус элементарной ступени r = const, и энергия, передаваемая газу рабочими лопастями осевого компрессора, при $u_1 = u_2 = u$ определяется формулой

$$l_T = u(c_{2u} - c_{1u}) = u\Delta c_u. \qquad (2.42)$$

Используя уравнение неразрывности и геометрические соотношения между элементами параллелограммов скоростей, получим:

$$l_T = uc_{1a}(\mathrm{ctg}\beta_1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\mathrm{ctg}\beta_2)\ . \qquad (2.43)$$

Приближённо полагая $\rho_1 \approx \rho_2$, получим:

$$l_T = uc_{1a}(\mathrm{ctg}\beta_1 - \mathrm{ctg}\beta_2)\ . \qquad (2.44)$$

Если предположить, что процесс в рабочем колесе протекает без потерь, то энергия, подводимая к газу, определяемая по формуле (2.43) или (2.44), повышает его энергию и определяется разностью энтальпий заторможенного потока $i_2^* - i_1^*$.

Следовательно:

$$uc_a(\mathrm{ctg}\beta_1 - \mathrm{ctg}\beta_2) = i_2^* - i_1^*\ . \qquad (2.45)$$

КПД элементарной ступени. Уравнение энергии потока

$$l_T = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + l_{\text{р.к}} + \int_2^3 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_3^2 - c_2^2}{2} + l_{\text{н.а}}\ , \qquad (2.46)$$

где $l_{\text{р.к}} + l_{\text{н.а}} = l_{\text{ст}}$ – потери энергии ступени, слагающиеся из потерь энергии в рабочих каналах и направляющих аппаратах.

Последнее уравнение приводится к виду

$$l_T = \int_1^3 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_3^2 - c_1^2}{2} + l_{\text{ст}}.$$

Действительная энергия, которую приобретает поток газа в компрессорной ступени:

$$l = l_T - l_{\text{ст}} = \int_1^3 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_3^2 - c_1^2}{2}\ . \qquad (2.47)$$

Аэродинамическое совершенство ступени принято оценивать отношением l/l_T, называемым *внутренним* КПД (отмечается индексом *i*):

$$\eta_i = \frac{l}{l_T} = \frac{\int_1^3 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_3^2 - c_1^2}{2}}{\int_1^3 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_3^2 - c_1^2}{2} + l_{\text{ст}}}. \qquad (2.48)$$

Если процесс ступени протекает политропно, то действительная удельная работа вычисляется по известному соотношению

$$l = \frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_3}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] + \frac{c_3^2 - c_1^2}{2},$$

и в этом случае внутренний КПД ступени, вычисляемый по (2.48), называют *внутренним политропным* КПД η_{in}.

Ранее было указано, что оценка совершенства компрессоров с неинтенсивным охлаждением производится при помощи изоэнтропного КПД. Поэтому для ступеней осевых компрессоров удобно применять внутренний изоэнтропный КПД, значение которого можно вычислить по (2.48), полагая процесс, описываемый числителем этой формулы, изоэнтропным. Преобразования равенст-

ва (2.48) в этом случае приводят к следующим формулам для вычисления η_{ia} по параметрам торможения:

$$\eta_{ia} = \frac{\left(\frac{p_3^*}{p_1^*}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\frac{T_3^*}{T_1^*} - 1}; \tag{2.49}$$

$$\eta_{ia} = \frac{i_{3a}^* - i_{ia}^*}{i_3^* - i_1^*}. \tag{2.50}$$

Значения η_{ia} и η_{in} ступени осевого компрессора отличаются не более чем на 0,5 %, и поэтому использование η_{ia} практически вполне допустимо.

Для ступеней современных стационарных осевых воздушных компрессоров степень повышения давления ε = 1,1 – 1,3. При этих условиях

$$\eta_{ia} = 0{,}85 \div 0{,}95.$$

Степень реактивности ступени. Ступени осевых компрессоров принято характеризовать, аналогично колёсам центробежных насосов, степенью реактивности ρ. Используем формулу

$$\rho = \frac{l_{\text{статич}}}{l} = \frac{u(c_{2u} - c_{1u}) - \left(\frac{c_2^2}{2} - \frac{c_1^2}{2}\right)}{u(c_{2u} - c_{1u})}.$$

Преобразование этого равенства с учётом соотношений $c_1^2 = c_{1u}^2 + c_{1a}^2$, $c_2^2 = c_{2u}^2 + c_{2a}^2$, следующих из параллелограммов скоростей, приводит к простейшему типу выражения для степени реактивности:

$$\rho = 1 - \frac{c_{1u} + c_{2u}}{2u}. \tag{2.51}$$

Ступени осевых компрессоров выполняются с ρ = 0,5 – 1,0. Рассмотрим особенности решёток ступени со степенями реактивности 0,5 и 1,0.

Ступень с ρ = 0,5. Из (2.51) следует: $c_{1u} = u - c_{2u}$; $c_{2u} = u - c_{1u}$. Параллелограммы скоростей, удовлетворяющие этим условиям, показаны на рис. 2.28, из которого очевидны соотношения:

$$\omega_1^2 = c_{2u}^2 + c_a^2; \quad \omega_2^2 = c_{1u}^2 + c_a^2; \quad \omega_2^2 - \omega_1^2 = c_{1u}^2 - c_{2u}^2.$$

Решётка рабочих лопастей увеличивает закрутку потока: $c_{2u} > c_{1u}$, следовательно: $c_{1u}^2 - c_{2u}^2 < 0$ и $\omega_2^2 - \omega_1^2 < 0$. Отсюда следует: $\omega_2 < \omega_1$.

Последнее неравенство показывает, что межлопастные каналы рабочего колеса ступени с ρ = 0,5 являются диффузорами. В них происходит уменьшение относительной скорости и превращение кинетической энергии относительного движения в потенциальную энергию.

Степень реактивности ρ = 0,5 обусловливает такое соотношение между элементами планов скоростей и такие формы межлопастных каналов, при кото-

рых потери энергии в ступени оказываются малыми. Этим объясняется широкое применение ступеней с ρ = 0,5 в стационарных осевых компрессорах.

Ступень с ρ = 1. Из уравнения (2.51) для этого случая имеем: $c_{1u} = -c_{2u}$; параллелограммы скоростей даны на рис. 2.29.

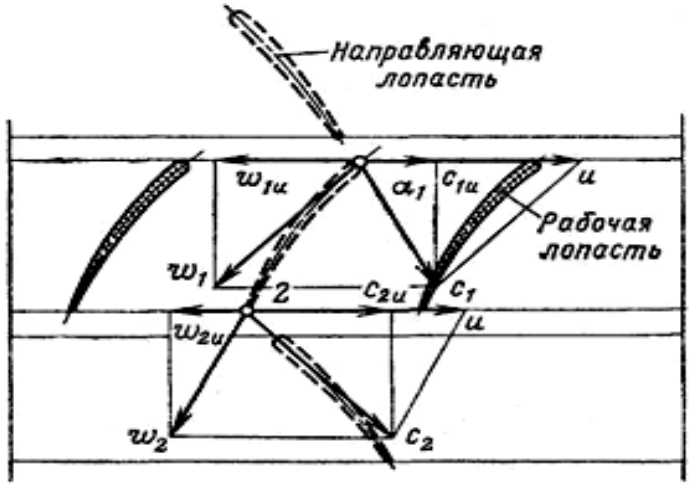


Рис. 2.28. Параллелограммы скоростей ступени, ρ = 0,5

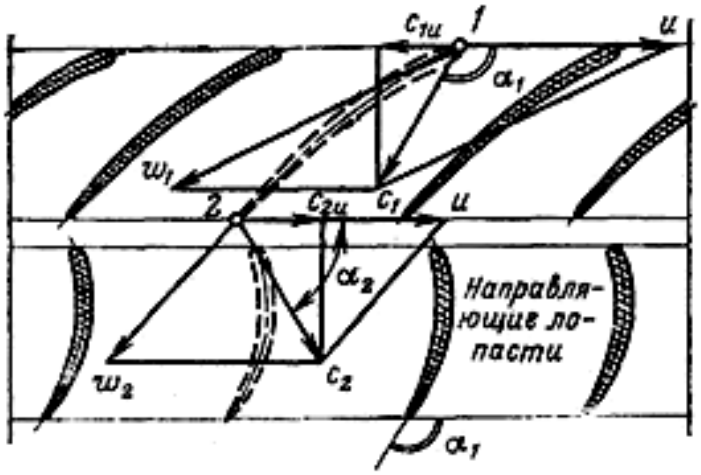


Рис. 2.29. Параллелограммы скоростей ступени, ρ = 1,0

Геометрически очевидны соотношения:

$$\omega_1^2 = c_a^2 + (u + c_{1u})^2;$$
$$\omega_2^2 = c_a^2 + (u - c_{2u})^2,$$

из которых следует: $\omega_2 < \omega_1$; $\omega_1^2 - \omega_2^2 = 4uc_{1u}$.

Поэтому увеличение энергии давления (сжатие) в рабочем колесе ступени без учёта потерь

$$\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} = 2uc_{1u}.$$

Из параллелограмма скоростей (см. рис. 2.29) при условии $c_{1u} = -c_{2u}$ следует: $c_1 = c_2$.

В ступенях с ρ = 1,0 (100 %-я реактивность) энергия получается в ступени только в потенциальной форме (давление). Сжатие происходит в межлопастных каналах рабочего колеса.

Направляющие лопаточные венцы, расположенные между рабочими лопастными решётками, в этом случае не меняют значения абсолютной скорости, но изменяют лишь её направление соответственно требуемым углам α_1 и α_2.

Ступень с осевым входом и выходом. Рассмотрим случай, когда газ подводится к ступени и отводится от неё в следующую ступень в осевом направлении: $c_{1u} = c_{2u} = 0$ (рис. 2.30).

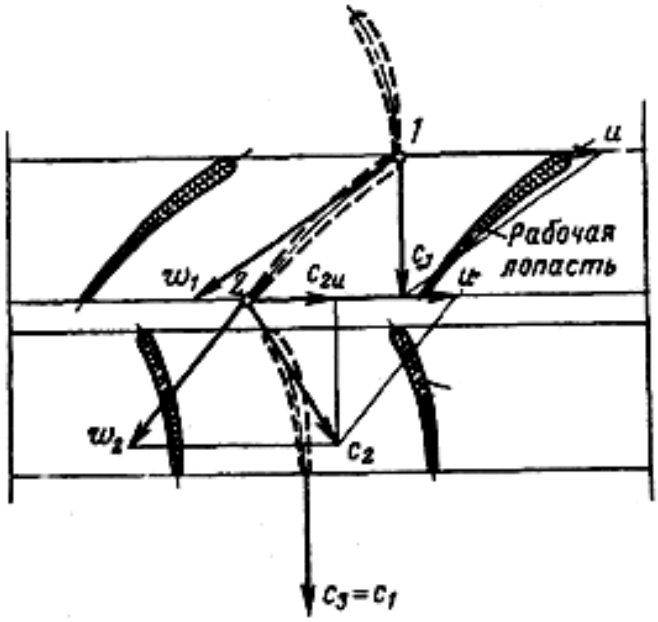


Рис. 2.30. Параллелограммы скоростей ступени, ρ = 0,75

Пусть $c_{2u} = 0{,}5\,u$. Степень реактивности такой ступени по (2.51)

$$\rho = 1 - \frac{c_{1u} + c_{2u}}{2u} = 0{,}75.$$

Очевидно, $\omega_2 < \omega_1$, и, следовательно, в межлопастных каналах рабочего колеса происходит повышение давления как результат уменьшения кинетической энергии относительного движения.

Без учёта потерь энергии прирост энергии давления, Дж/кг:

$$\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} = \frac{c_a^2 + u^2 - c_a^2 - \frac{u^2}{4}}{2} = \frac{3}{8}u^2.$$

Направляющий аппарат ступени с ρ = 0,75 обладает свойствами диффузора, потому что в нём происходит понижение скорости абсолютного движения

от c_2 до $c_3 = c_1$. Результатом этого является повышение давления, эквивалентное уменьшению кинетической энергии абсолютного движения.

Ступени такого типа находят широкое применение в стационарном компрессоростроении.

Особенности расчёта основных размеров ступени осевого компрессора

Рассмотрим метод приближённого расчёта ступени, основывающийся на использовании опытных данных продувки плоских решёток лопастей.

В этом методе используются следующие безразмерные коэффициенты ступени:

$$\left.\begin{array}{l} \text{коэффициент расхода } \varphi = c_a/u\,; \\ \text{коэффициент напора } \psi = \frac{1_a}{u^2/2}\,; \\ \text{степень реактивности } \rho = 1_{\text{ст}}/l\,; \\ \text{коэффициент закрутки } \mu = \Delta c_u/u\,, \end{array}\right\} \qquad (2.52)$$

где c_a – осевая скорость, осреднённая по сечению проточной полости, нормальному оси компрессора; l_a – изоэнтропная удельная работа ступени; $l_{\text{ст}}$ – статическая удельная работа ступени; l – полная удельная работа ступени; $\Delta c_u = c_{2u} - c_{1u}$ – абсолютное значение закрутки потока рабочим колесом ступени.

Многократно проведенные исследования компрессорных решёток показывают, что давление, создаваемое ступенью, приблизительно равно давлению элементарной ступени, лежащей на среднем диаметре ступени[10]. Поэтому в нестрогих приближённых расчётах, проводимых с привлечением опытных материалов по продувке решёток, скорость u, определяющая коэффициенты φ, ψ и μ, является средней скоростью лопасти

$$u_{\text{ср}} = \frac{\pi l_{\text{ср}} n}{60} \quad , \qquad (2.53)$$

где $d_{\text{ср}} = (d_{\text{вт}} + d_{\text{к}})/2$. Здесь $d_{\text{вт}}$ и $d_{\text{к}}$ – диаметры втулки и концов лопастей.

Для расчёта должны быть заданы: массовая подача $\overline{m}$, газовая постоянная R, начальное и конечное давления p_1 и p_2, начальная температура газа T_1.

Окружную скорость $u_{\text{к}}$ концов рабочих лопастей дозвуковых компрессоров принимают до 250 м/с.

---

[10] При точном расчёте ступень компрессора разбивают на элементарные ступени, работающие при разных окружных скоростях.

Коэффициент расхода и втулочное отношение задают в пределах

$\varphi = 0{,}45 – 0{,}70$; $v = 0{,}5 – 0{,}9$.

Среднее значение осевой скорости рассчитывают по коэффициенту расхода $c_a = \varphi u_{ср}$.

Применяя уравнение неразрывности, рассчитывают диаметр окружности концов рабочих лопастей:

$$\left.\begin{aligned} \bar{V} = 0{,}785(d_к^2 - d_{вт}^2)c_a = 0{,}785 d_к^2(1 - v^2)c_a \\ d_к = \sqrt{\frac{\bar{V}}{0{,}785(1-v^2)c_a}} \end{aligned}\right\} \qquad (2.54)$$

По полученному значению $d_к$ и принятому значению $u_к$ определяют необходимую частоту вращения вала компрессора, об/мин:

$$n = \frac{60u_к}{\pi d_к}.$$

Диаметр втулки, м, $d_{вт} = vd_к$.

Средний диаметр, м, $d_{ср} = (d_к + d_{вт})/2$.

Длина лопасти, м, $l = (d_к – d_{вт})/2$.

Окружная скорость на среднем диаметре, м/с, $u_{ср} = (\pi d_{ср} n)/60$.

Коэффициент расхода $\varphi = c_{1a}/u_{ср}$.

Принимают, соответственно, ранее сделанным указаниям $\rho = 0{,}5 – 1{,}0$ и густоту $b/t = 1 – 2$.

Пользуясь опытными графиками, полученными продувкой решёток (рис. 2.31), по ρ/φ (имея в виду принятое значение густоты решётки) определяют μ/φ и из него коэффициент закрутки μ. Далее можно воспользоваться известной связью между коэффициентами напора и закрутки и изоэнтропным КПД: $\psi = 2\mu\eta_a$, из которого, приняв $\eta_a = 0{,}85 – 0{,}95$, определить ψ.

Из (2.52) определяют изоэнтропную работу ступени:

$$La\text{ст} = \psi u_{ср}^2 / 2.$$

По изоэнтропной работе компрессора l_a и полученной изоэнтропной работе ступени определяют ориентировочно число ступеней.

Далее распределяют работу между ступенями, относя на последние из них несколько меньшие значения.

После ориентировочного расчёта последней ступени находят длину лопатки её: приняв схему компрессора с $d_{вт}$ = const или $d_к$ = const и выполнив детальный термогазодинамический расчёт всех ступеней.

Обычно при проектировании компрессоров проводят расчёт ряда вариантов с различными характеристическими коэффициентами и геометрическими характеристиками решёток. Наилучшим является вариант, дающий при заданных условиях наименьшие габариты и массу компрессора при высоких энергетических показателях.

Пример 2.1. Рассчитать основные размеры первой ступени осевого компрессора. Определить ориентировочно число ступеней. Данные для расчёта: $\overline{m}$ = 50 кг/с; p_1 = 100 кПа; ε = 5; t_1 = 20 °С.

Решение. Из уравнения состояния

$$\rho_1 = \frac{p_1}{RT_1} = \frac{100000}{287 \cdot 293} = 1{,}2 \text{ кг/м}^3; \quad \overline{V_1} = \frac{50}{1{,}2} 41{,}5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем $u_к$ = 220 м/с; v_1 = 0,65; φ_1 = 0,60. Осевая скорость, осреднённая по сечению:

$$c_a = \varphi_1 \cdot u_к = 0{,}6 \cdot 220 = 132 \text{ м/с}.$$

Наружный диаметр первой ступени по (2.54):

$$d_{к1} = \sqrt{\frac{41{,}5}{0{,}785(1-0{,}65^2)132}} = 83 \text{ м}.$$

Необходимая частота вращения

$$n = \frac{60 \cdot 220}{3{,}14 \cdot 0{,}83} = 5100 \text{ об/мин}.$$

Полученная частота вращения возможна при паро- и газотурбинном приводе. В случае привода от электродвигателя с синхронной частотой вращения 3000 об/мин необходимо включение между двигателем и компрессором повышающей передачи с отношением 1:1,7.

Диаметр втулки $d_{вт1}$ = 0,65 · 0,83 = 0,54 м.

Длина лопатки первой ступени l_1 = (0,83 – 0,54)/2 = 0,145 м.

Средний диаметр ступени $d_{1ср}$ = (0,54 + 0,83)/2 = 0,685 м.

Средняя окружная скорость лопатки $u_{1ср}$ = (3,14 · 0,685 · 5100)/60 = 183 м/с.

Коэффициент расхода по средней скорости $\varphi = c_{1a}/u_{1ср}$ = 132/183 = 0,72.

Принимаем ρ = 0,75; b/t = 1,5.

По графику рис. 2.31 при ρ/φ = 0,75/0,72 = 1,04 имеем μ/φ = 0,75, откуда получаем: μ = 0,75 · 0,72 = 0,54.

Принимая η_a = 0,9, определяем коэффициент напора:

$$\psi = 2\mu\eta_a = 2 \cdot 0{,}54 \cdot 0{,}9 = 0{,}98.$$

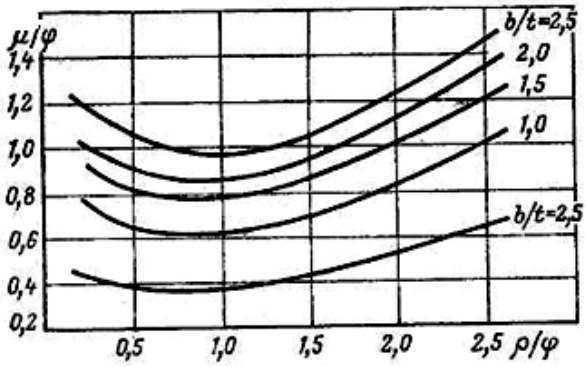


Рис. 2.31. График зависимости между относительными значениями коэффициента закрутки и степени реактивности решёток различной густоты

Изотропная работа ступени

$$l_{\text{ост}} = 0{,}98\frac{183^2}{2} = 16400 \text{ Дж/кг}.$$

Изотропная работа компрессора по заданным параметрам

$$l_a = \frac{1}{1{,}4-1}287 \cdot 293\left(5^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} - 1\right) = 168000 \text{ Дж/кг}.$$

Число ступеней $Z = \frac{l_a}{l_{\text{ост}}} = \frac{168000}{16400} \approx 10$.

Глава 3. ОБЪЕМНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

§ 3.1. Поршневые компрессоры. Принцип действия, устройство, классификация

Принцип действия поршневых компрессоров и насосов в основном одинаков: при возвратно-поступательном движении поршней или плунжеров происходит циклическое наполнение рабочих камер и выталкивание из них порций перекачиваемой среды. Однако характер рабочего процесса в компрессоре существенно иной, нежели в насосе. По устройству эти машины также значительно различаются. По системам охлаждения цилиндров и их смазки поршневые компрессоры родственны поршневым ДВС. Некоторые детали этих машин аналогичны.

Процесс повышения давления газа, как и в динамических компрессорах, может осуществляться последовательно в нескольких камерах многоступенчатого компрессора, прерываясь для промежуточного охлаждения.

По способу передачи движения рабочим органам поршневые компрессоры подразделяют на две группы: с механизмом движения (преимущественно кривошипно-шатунным) и свободно-поршневые. В свою очередь, компрессоры первой группы можно разделить на обособленные и моноблочные.

Обособленный компрессор предназначен для привода от двигателя любого типа, соединенного непосредственно или через трансмиссию. Моноблочный компрессор с электрическим приводом отличается от обособленного тем, что ротор электродвигателя служит маховиком компрессора. Для этой цели предназначены двигатели, в которых статор и ротор меняются местами: наиболее массивная кольцевая часть электродвигателя служит ротором, а центральная – статором. В целях удешевления производства компрессоров их выпускают с унифицированными базами, представляющими собой совокупность нормализованных механизмов движения, систем его смазки, а для моноблочных машин – также и привода. Модификации компрессоров с одной базой, рассчитанные на различные давления и объемные расходы газа на входе, имеющие одинаковую мощность и длину хода поршней, различаются размерами цилиндров и числом ступеней сжатия. Унификация выгодна и для эксплуатации машин, так как упрощаются их обслуживание и ремонт. Кроме того, можно модифицировать компрессор в процессе эксплуатации. Такая необходимость возникает, например, когда падает давление газа на приеме компрессорной станции газового

промысла и в связи с увеличением необходимой производительности приходится снижать объем всасываемого газа.

На рис. 3.1 приведен двухступенчатый компрессор завода «Борец» с унифицированной базой, которая состоит из станины, коленчатого вала с коренными подшипниками, шатунов, крейцкопфов, промежуточного холодильника, а также системы смазки и некоторых других частей машины. Цилиндр первой ступени большего диаметра расположен вертикально, а цилиндр второй ступени – горизонтально, причем нагнетательная линия направлена вниз, а не вверх, как в поршневых насосах, что необходимо здесь для удаления из цилиндра возможного конденсата. Цилиндры и крышки цилиндров имеют полости для циркуляции в них охлаждающей воды. Уплотнения поршневых штоков выполнены съёмными.

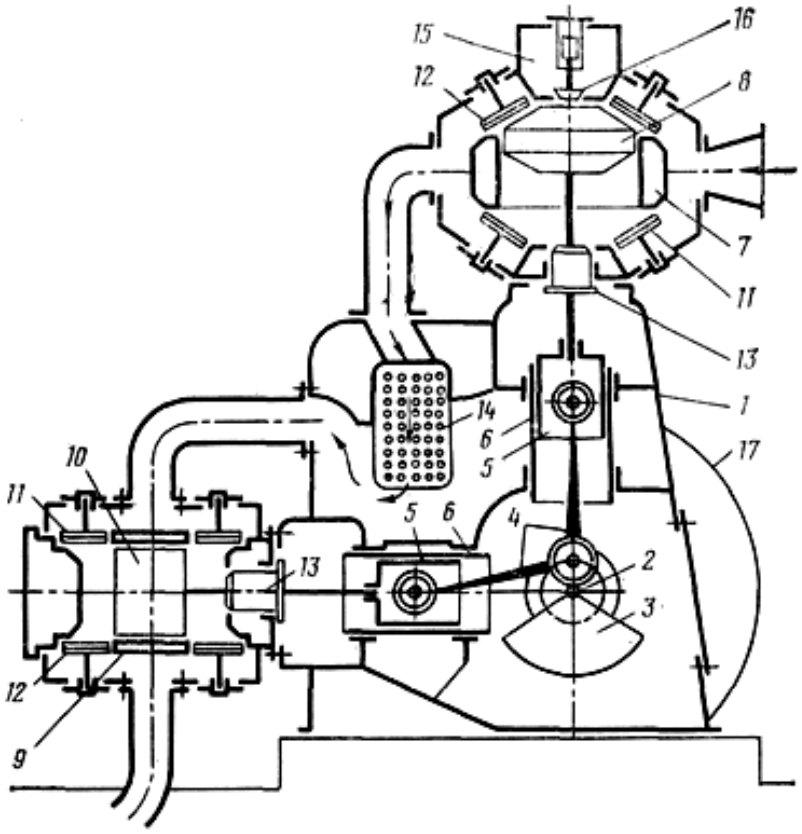


Рис. 3.1. Поршневой компрессор:

1 – станина; *2* – коленчатый вал; *3* – противовесы коленчатого вала; *4* – шатун; *5* – крейцкопф; *6* – направляющие крейцкопфа; *7* – цилиндр первой ступени; *8* – цилиндр второй ступени; *9* – поршень первой ступени; *10* – поршень второй ступени; *11* – клапан всасывающий; *12* – клапан нагнетательный; *13* – сальник; *14* – промежуточный холодильник; *15* – дополнительная полость; *16* – присоединительный клапан; *17* – маховик

В поршневых компрессорах используют различные средства регулирования объемного расхода газа на входе (см. гл. «Применение компрессоров»).

Одно из этих средств – искусственное увеличение «мёртвого» пространства в цилиндре. На рис. 3.1 видно, что в крышке цилиндра первой ступени устроена дополнительная полость, присоединяемая к основной с помощью клапана пневматического действия.

Смазка цилиндров минеральным маслом часто нежелательна или недопустима по различным причинам, в частности, если масло загрязняет перекачиваемый газ или вступает с ним в реакцию (кислород, хлор и др.) или если газ растворяется в масле и ухудшает его свойства либо выделяет конденсат, смывающий масло со стенок цилиндра. При высоких температурах компрессорное масло разлагается и вызывает опасность взрыва (см. гл. 5 «Ступенчатое сжатие газа в поршневом компрессоре»).

Поэтому созданы компрессоры, не нуждающиеся в смазке цилиндров и сальников. Имеются три разновидности таких машин: с уплотняющими элементами поршня и сальников, не нуждающимися в смазке; с лабиринтным уплотнением; мембранные компрессоры.

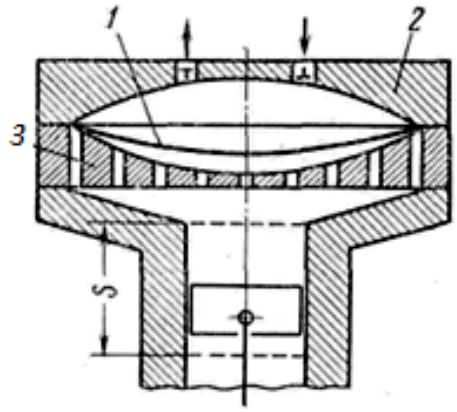


Рис. 3.2. Схема мембранного компрессора:

1 – мембрана; *2* – крышка; *3* – опорная плита; *S* – длина хода поршня

В *мембранном компрессоре* рабочая камера разделена мембраной, зажатой по контуру между крышкой и опорной плитой (рис. 3.2). Клапаны расположены в крышке. Объемный расход газа на входе у таких компрессоров небольшой (менее 2 м^3/мин), но степень повышения давления в одной ступени очень высокая (ε до 25). Поэтому их обычно используют в качестве дожимных после предварительного сжатия газа компрессорами других видов.

Компрессоры с кривошипно-шатунным механизмом, обособленные от двигателя, различаются по типам. Тип определяется расположением осей цилиндров в пространстве – вертикальным, горизонтальным, угловым. К угловому типу относят машины с вертикально-горизонтальным (прямоугольный тип П) и с наклонным расположением цилиндров (V-образные, веерообразные).

Каждый тип компрессоров имеет свои достоинства. *Горизонтальный компрессор* удобен для обслуживания и скрытого размещения аппаратуры и трубопроводов под машиной; демонтаж коренного вала и шатуна проводится легче, чем в компрессорах других типов. Эти преимущества особенно важны

для крупных[11] стационарных компрессоров. *Угловой тип* – наилучший для компрессоров небольших размеров, в том числе предназначенных для передвижных компрессорных установок. Коленчатый вал таких компрессоров может быть уложен на подшипниках качения. При наклонном расположении цилиндров угловой компрессор компактен и удобен для монтажа. Основное преимущество *вертикальных компрессоров* – равномерный износ цилиндров и поршней вследствие меньшего давления поршней на стенки цилиндров благодаря равномерному распределению смазки и оседанию твердых частиц на торце поршня. Это преимущество особенно выявляется в компрессорах без смазки или с неполной смазкой цилиндров.

Компрессоры одного типа различаются числом рядов цилиндров (равным числу шатунов), расположением цилиндров и ступеней, конструкцией кривошипно-шатунного механизма, который может быть крейцкопфным или бескрейц копфным. Это – признаки *схемы компрессора*, которая предопределяет конструкцию машины, ее массу, габариты и стоимость, а также экономичность в эксплуатации, надежность, удобство обслуживания и ремонта.

Различие требований, предъявляемых к компрессорам в зависимости от их назначения, отражено в разнообразии применяемых схем. Некоторые из них показаны на рис. 3.3. Уравнительная полость в отличие от рабочих камер не имеет клапанов и находится под действием постоянного давления газа для уменьшения усилия в поршневом штоке.

Бескрейцкопфные компрессоры (*а – д*) просты по конструкции и компактны, вследствие чего их применяют в передвижных установках. В крупных компрессорах сказываются недостатки этой схемы: пониженный механический КПД, большие утечки газа через поршневые кольца, повышенный унос масла из картера и насыщение им сжимаемого газа, неэффективное использование объема цилиндра (поршни одностороннего действия). Указанные недостатки устранены в схеме с крейцкопфом (*е – к*).

В схеме *и* со встречным движением поршней (оппозитный компрессор) колена вала каждой пары противолежащих рядов компрессора взаимно смещены на 180°.

Здесь полностью уравновешены силы инерции поступательно движущихся масс, силы давления газа на поршни противоположны по направлению, вследствие чего коренные подшипники оказываются разгруженными. Тем самым уменьшается работа сил трения, а следовательно, и износ подшипников и коренных шеек вала.

---

[11] Объёмные компрессоры принято различать по объёмному расходу газа на входе: малые (до10 м^3/мин), средние (10 – 100 м^3/мин), крупные (свыше 100 м^3/мин).

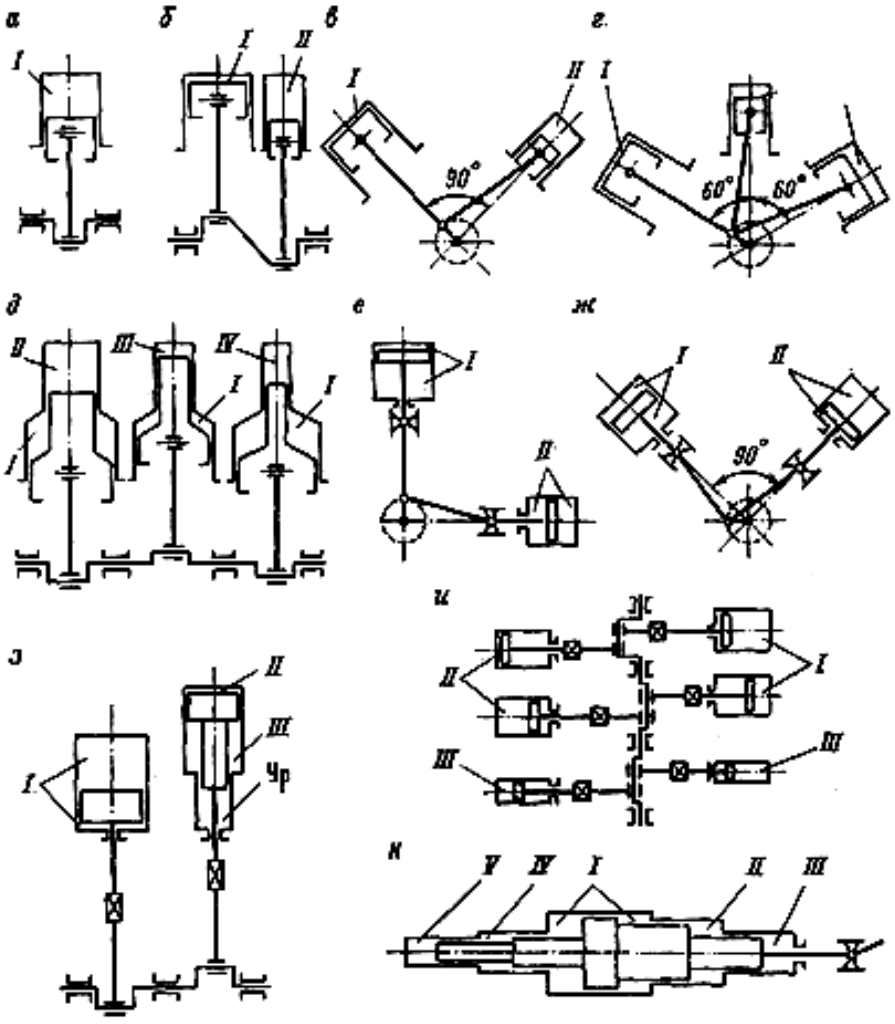


Рис. 3.3. Схемы поршневых компрессоров:
I, *II*, *III*, *IV*, *V* – ступени сжатия; Ур – уравнительная полость

Поскольку оппозитные компрессоры хорошо динамически уравновешены, частота вращения вала их более высокая. Это позволяет снизить массу (на 50 – 60 % на единицу объемного расхода $\overline{V}_{\text{н}}$) и габариты (по сравнению с неоппозитными горизонтальными компрессорами).

На рис. 3.3, *к* изображена схема так называемого дифференциального блока поршней, применяемого в многоступенчатых компрессорах. Он удобен тем, что позволяет уменьшить число сальников и длину ряда цилиндров. Камеру с высоким давлением для снижения утечек газа через уплотнение поршня меньшего диаметра обычно располагают в торце блока.

Для перекачивания попутных нефтяных и природных газов широко применяют моноблочные компрессоры с газовым ДВС – газомотокомпрессоры.

Унифицированной базой компрессора здесь служит многоцилиндровый газовый двигатель с несколькими механизмами передачи движения к поршням компрессора (компрессорными *отводами*).

Свободнопоршневой компрессор – агрегат, в котором мощность от цилиндра двигателя к цилиндрам компрессора передается без промежуточного механизма, благодаря чему компрессорная установка становится компактной, а КПД увеличивается.

Принцип действия компрессора можно изучить по схеме одноступенчатого дизель-компрессора (СПДК) (рис. 3.4). Давление газов, расширяющихся в цилиндре *1* двухтактного дизеля, сообщает движение двум противоположно расположенным поршням *2*, синхронно перемещающимся к внешним мёртвым точкам (крайним положениям механизма).

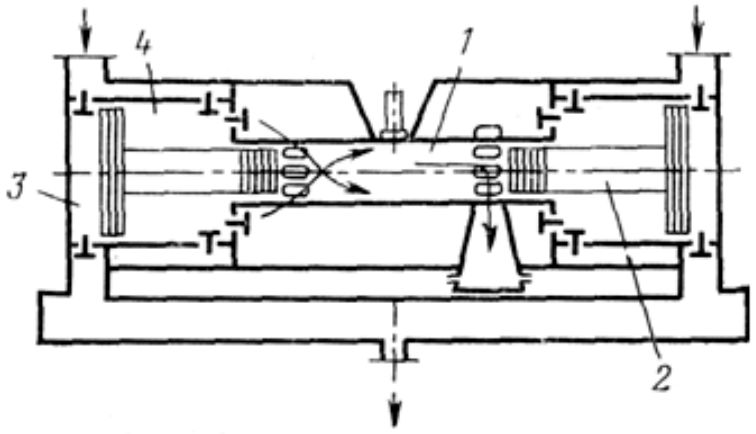


Рис. 3.4. Свободнопоршневой дизель-компрессор (СПДК)

По мере сжатия газа в цилиндрах компрессора противодействие поршням возрастает. При некотором их положении силы давления сжатого газа превышают движущие силы дизеля, уменьшающиеся по ходу поршней. Поршни останавливаются, а затем под давлением газа, оставшегося в «мёртвых» пространствах *3* цилиндров компрессора, происходит возврат поршней к внутренним мёртвым точкам. Каждая из полостей *4* цилиндра служит продувочным насосом дизеля. Для синхронизации движения поршней дизель-компрессор снабжён особыми механизмами, размещёнными по бокам дизеля. Компрессор запускается сжатым воздухом. Свободнопоршневой компрессор хорошо уравновешен, благодаря чему не нуждается в фундаменте, – качество, особенно ценное для портативных установок, применяемых в северных районах, а также на морских месторождениях нефти и газа.

§ 3.2. Рабочие органы и системы поршневых компрессоров

В обособленном кривошипном компрессоре наиболее полно представлены функциональные группы деталей и различные системы:

остов машины – рама, станина или картер; фонари; направляющие крейцкопфа;

группа механизма движения – коленчатый вал, коренные подшипники, шатуны, крейцкопфы, маховик;

цилиндровая группа – цилиндры, втулки цилиндров, крышки, узлы уплотнения штока (сальники);

поршневая группа – поршни, поршневые кольца, штоки;

группа распределения – клапаны;

система смазки – масляные насосы, фильтры, маслопроводы, холодильники для масла, маслоотделители и др.;

система охлаждения – промежуточные и концевой холодильники для сжимаемого газа, трубопроводы;

система регулирования – средства регулирования подачи компрессора (цилиндры дополнительных «мёртвых» пространств, вспомогательные клапаны, трубопроводы);

группа установки машины – щит с приборами автоматизации, газопроводы, буферные ёмкости, воздушные фильтры, предохранительные клапаны, ограждения и др.

Неподвижные части компрессора, предназначенные для связи механизма движения и цилиндров, составляют остов машины.

Рама – деталь, в которой укладывается вал; станина – промежуточная часть вертикального компрессора, соединяющая раму с цилиндрами (рис. 3.5, *а*, *б*, *в*); фонарь – переходная деталь, посредством которой цилиндры могут присоединяться к станине. Фонарь имеет окна для доступа к сальнику. Рама и станина, объединённые в одну деталь, называются картером. Картеры применяются преимущественно в сочетании с подшипниками скольжения. Блок-картер включает в себя также цилиндр компрессора (рис. 3.5, *г*, *д*).

В торцовых стенках картера и блок-картера предусмотрены окна для укладки коленчатого вала с противовесами. Подшипники расположены в корпусах (крышках станины), снабжённых фланцами для крепления к картеру. Люки в боковых стенках необходимы для монтажа нижних головок шатунов. В одной из крышек просверлено отверстие, через которое заливается масло и устанав-

ливается маслоуказатель. В донной части смонтирован маслоотстойник, в котором при принудительной смазке механизма движения помещают фильтр масляного насоса. Для устранения опасности повышения давления в полости картера и выброса масла через неплотности эта полость сообщается с атмосферой посредством дыхательного клапана (сапуна).

Направляющие крейцкопфа выполняют в виде вставной втулки (см. рис. 3.1) или заодно с фонарём (см. рис. 3.5, *в*). Одна из направляющих может быть съёмной, что облегчает монтаж и регулировку крейцкопфа (см. рис. 3.5, *б*). В горизонтальных компрессорах направляющие составляют отдельный узел остова, что удобно для монтажа и проще для изготовления (см. рис. 3.5, *е*), либо выполняются заодно с центральной частью остова – кривошипной камерой. Крейцкопфы различают двух типов – закрытые и открытые. В закрытом крейцкопфе головка шатуна вставляется внутрь, а в открытом – охватывает крейцкопф снаружи.

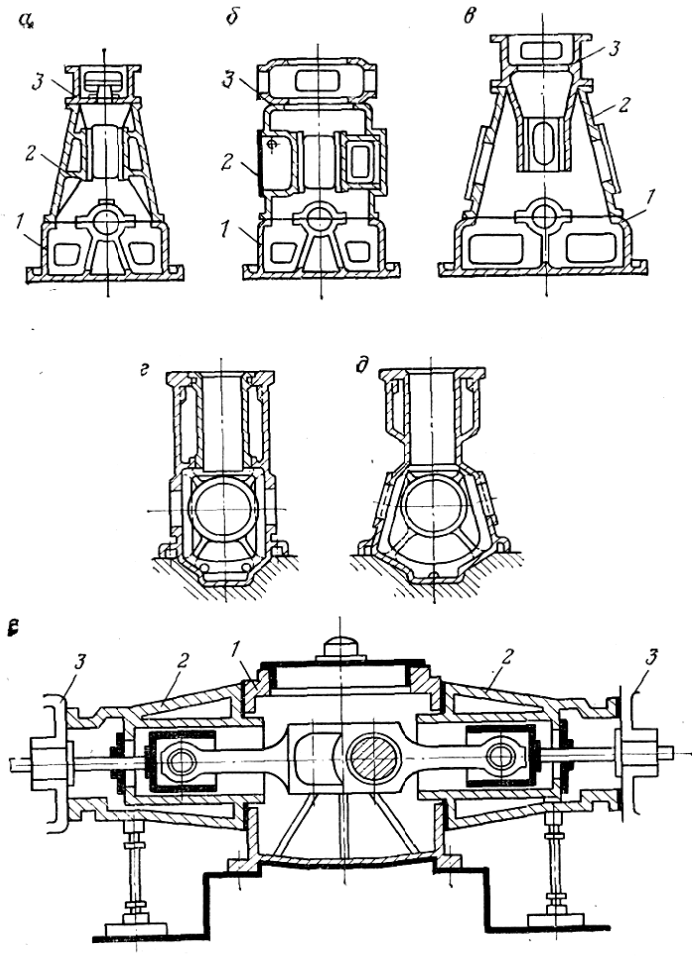


Рис. 3.5. Схемы остова поршневого компрессора:

а – с направляющими крейцкопфа; *б* – со съёмной направляющей; *в* – с направляющими в фонаре: *1* – рама; *2* – станина; *3* – фонарь; *г* – блок-картер с «мокрой» втулкой; *д* – блок-картер без втулки; *е* – база оппозитного компрессора: *1* – кривошипная камера; *2* – направляющие крейцкопфа; *3* – компрессорные цилиндры

Крейцкопфы малых и средних компрессоров отливают из чугуна заодно с башмаками, а в крупных машинах выполняют с отъёмными башмаками, что позволяет регулировать зазор между крейцкопфом и его направляющими.

У вертикальных компрессоров станины делают с одной направляющей, а крейцкопф с одним башмаком, закреплённым накладками для предотвращения отрыва от направляющей. Поверхность башмаков, изготовленных из чугуна, модифицированного ферробором, или из алюминиевого сплава, термически обрабатывают для получения большой твёрдости. Крейцкопф может соединяться со штоком двумя резьбовыми втулками. Палец крейцкопфа из хромоникелевой стали подвергают цементации и закалке.

Цилиндры, рассчитанные на давление до 6 МПа, изготовляют из чугуна, на давление до 15 МПа – литыми из стали, а на более высокие давления – коваными из стали. Для воздушного охлаждения (при конечной температуре газа до 90 °С) на внешней поверхности одностенного цилиндра предусмотрены ребра. При водяном охлаждении (температура газа выше 90 °С) чугунные цилиндры отливают заодно с водяной рубашкой, а стальные цилиндры обычно изготовляются со съемным кожухом. Воду подводят к рубашкам цилиндров снизу, а во избежание образования воздушных мешков отводят из самой верхней точки. Для упрощения отливки иногда цилиндры делают составными. Рабочую поверхность цилиндра шлифуют или хонингуют. По концам, менее подверженным износу, ее выполняют конической под углом 15°, чтобы предотвратить образование уступа. Для облегчения сборки поршня один конус расширяется до диаметра разжатого поршневого кольца.

В цилиндры вставляют втулки, отливаемые из перлитного чугуна с высокими антифрикционными свойствами. Втулки бывают двух типов – «сухого» и «мокрого». Втулки «мокрого» типа омываются охлаждающей водой.

Клапаны размещают в цилиндре или в его крышке. Оси клапанов расположены радиально, наклонно или параллельно оси цилиндра. Температура стенок цилиндра у нагнетательных и всасывающих клапанов различная, что приводит к деформации цилиндра и усилению его износа. При расположении клапанов в крышках достигается равномерный нагрев по всей окружности цилиндра. Однако для размещения клапанов в крышке не хватает пространства. При наклонном расположении клапанов в конических крышках (см. рис. 3.1, первая ступень) удается разместить сравнительно большие клапаны при небольшом мертвом пространстве. В цилиндрах малого диаметра устанавливают комбинированные клапаны (в которых всасывающий и нагнетательный клапаны поме-

щены в одном корпусе) или всасывающий клапан устраивают в поршне, а нагнетательный в крышке.

Сальники составляют из пакетов с самоуплотняющимися (под давлением газа) элементами (рис. 3.6, *а*).Число пакетов зависит от давления в цилиндре. В качестве уплотняющих элементов металлического сальника служат плоские кольца – замыкающее и уплотняющее. Каждое кольцо охвачено браслетной пружиной, создающей предварительное уплотнение между кольцами и поршневым штоком. При работе сальника уплотнение по штоку происходит благодаря избытку давления газа в камере над давлением в уплотняемом зазоре (рис. 3.6, *б*). Для дросселирования газа иногда устанавливают дополнительные кольца с небольшим зазором по штоку. Подвод масла в кольцевую камеру сальника обеспечивает его смазку, охлаждение, а также гидравлический затвор.

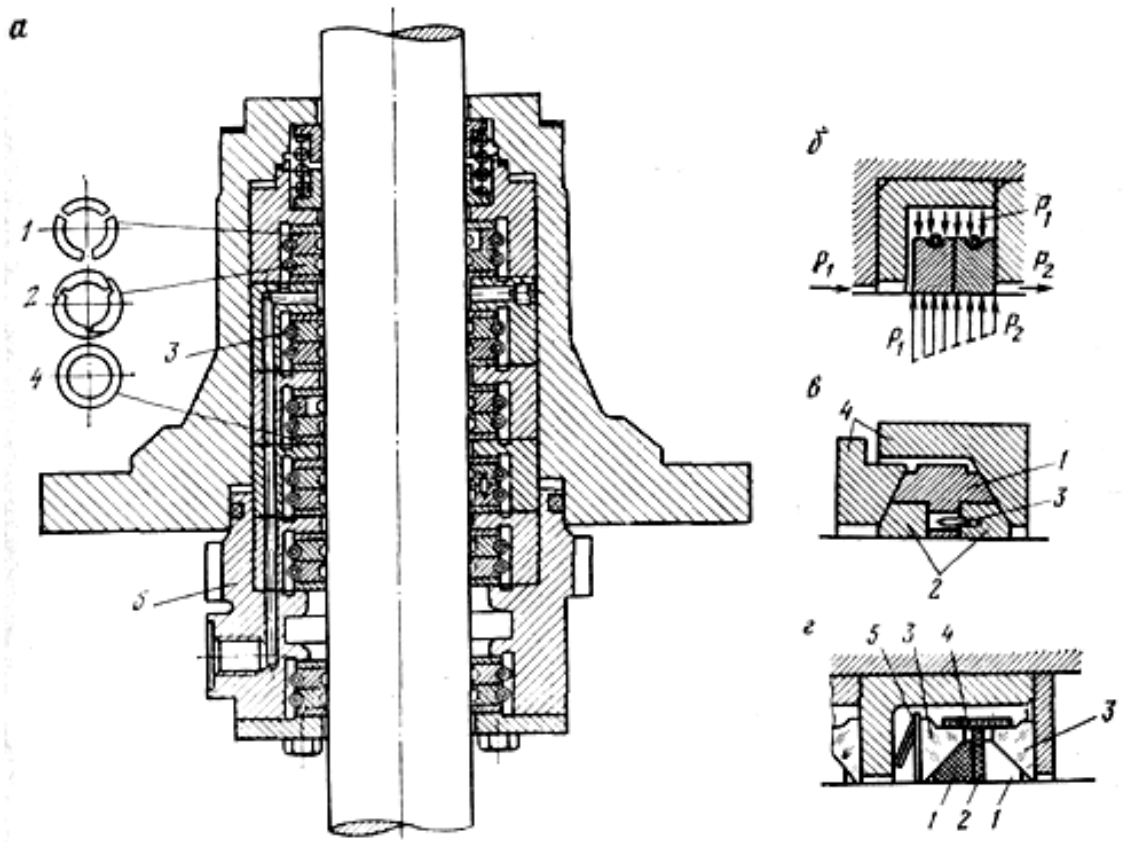


Рис. 3.6. Сальники поршневых компрессоров:

а – сальник с плоскими металлическими кольцами: *1* – уплотняющее кольцо, *2* – замыкающее кольцо, *3* – пружина, *4* – дроссельное кольцо, *5* – предсальник; *б* – распределение давления в уплотняющем элементе; *в* – конические металлические уплотняющие элементы: *1* – внешнее уплотнительное кольцо, *2* – внутренние уплотнительные кольца, *3* – штифт, *4*, *5* – нажимные кольца; *г* – конические пластмассовые уплотняющие элементы: *1* – уплотнительные кольца, *2* – дроссельное кольцо, *3* – нажимные кольца, *4* – стягивающая муфта, *5* – пружина

При высоких давлениях применяют сальники с коническими уплотняющими элементами, выполненными из мягкого антифрикционного сплава – бронзы, баббита (рис. 3.6, *в*). Внешний и внутренний элементы имеют радиальный разрез и охвачены стальными нажимными кольцами. В последнее время широко используют фторопласт и его композиции. В сальнике завода «Борец» (рис. 3.6, *г*) конические уплотняющие элементы имеют радиальный разрез. Для перекрытия стыков в них служит дроссельное кольцо. Нажимные и дроссельные кольца изготовляют из стеклопластика, а стягивающие муфты – из резины. Начальное уплотнение создается торцовыми коническими пружинами. При низком давлении такие сальники работают без смазки.

Поршни выпускают открытыми (тронковыми), дисковыми и ступенчатыми (рис. 3.7). Их выполняют составными, сварными или сплошными из чугуна, стали и алюминия. Поршневые кольца изготовляют из высококачественного перлитного чугуна. Они бывают двух видов: уплотняющие и маслосъемные. Кольцо прижимается к цилиндру под действием разности давлений газа на внутренней и внешней цилиндрических поверхностях кольца, а также под действием сил упругости. На поршни малого диаметра кольца не могут быть надеты их расширением из-за недопустимых напряжений. В этом случае кольца составляют из нескольких частей и под них подкладывают кольцевые пружины (эспандеры). Поршневые кольца выполняют также из пластмассы (такой же, как в сальниках); ввиду недостаточной их упругости под пластмассовые кольца помещают эспандеры.

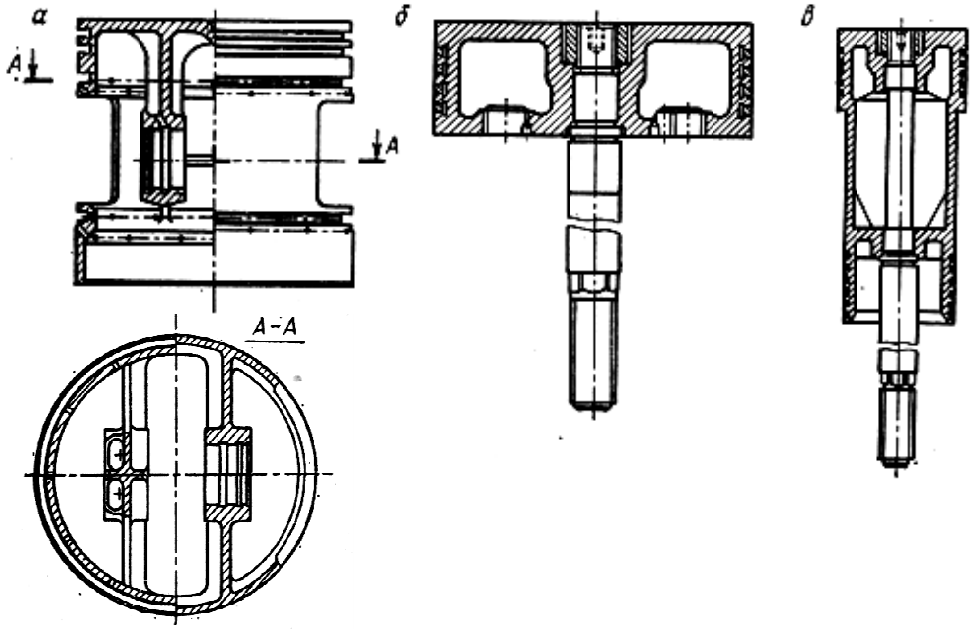


Рис. 3.7. Поршни компрессоров:

а – тронковый; *б* – дисковый; *в* – ступенчатый

Клапаны должны закрываться плотно и своевременно, оказывать малое аэродинамическое сопротивление, быть износоустойчивыми и прочными в условиях воздействия высоких температур и динамических нагрузок. В целях предельного снижения массы подвижных частей их изготовляют пластинчатыми. В зависимости от формы пластин и направления потока различают клапаны: кольцевые, ленточные, прямоточные, дисковые.

Кольцевой клапан (рис. 3.8, *а*) состоит из седла *1,* ограничителя подъема пластин *2,* одной или нескольких кольцевых стальных или пластмассовых пластин *3* и клапанных пружин *4.* Эти клапаны применяют главным образом в ступенях высокого давления. Всасывающий и нагнетательный клапаны отличаются только сборкой и установкой.

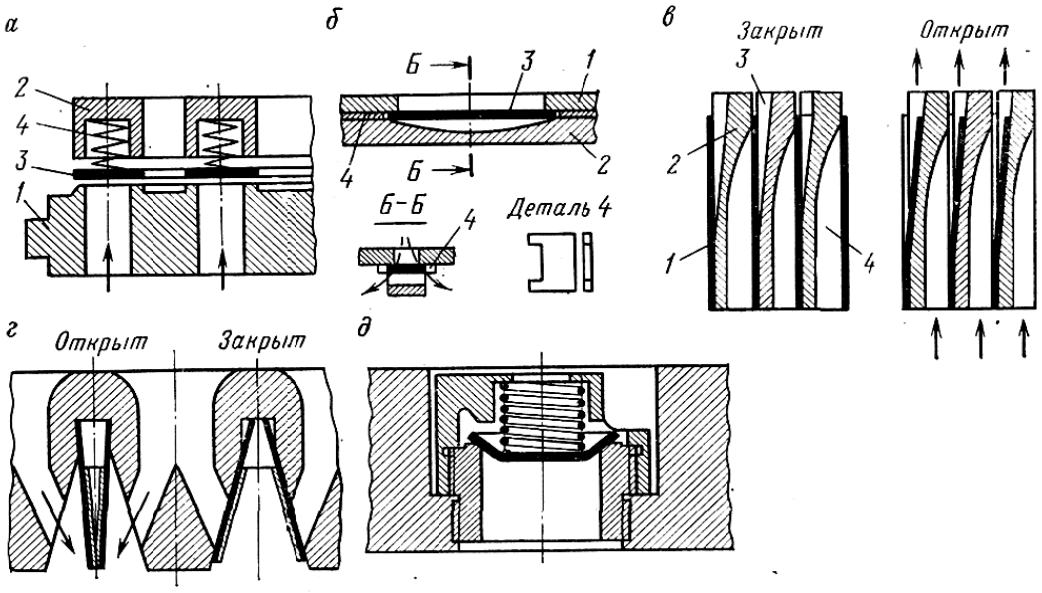


Рис. 3.8. Клапаны поршневых компрессоров

В ленточном (полосовом) клапане (рис. 3.8, *б*) пластины *3* самопружинящие. Под перепадом давления они выгибаются в дугообразные углубления ограничителя *2* и открывают щель для выхода газа. Необходимые проходные сечения достигаются числом клапанов, собранных на общем седле *1*.

В прямоточном клапане (рис. 3.8, *в*) пластины самопружинящие, но расположены они не перпендикулярно потоку, а параллельно ему, благодаря чему аэродинамические потери в клапане (перепад давления) значительно снижаются. Пластины *1* зажаты между седлами *2*, которые с одной стороны имеют клиновидный скос *3*, куда отгибается пластина при открытии клапана, а на другой стороне – проточные каналы *4*, разделенные многочисленными перемычками. Седла и пластины собираются в клапан прямоугольной или круглой формы.

Дисковый клапан отличается тем, что концентрические кольца соединены радиальными перемычками в общем диске, центральная часть которого зажата между седлом и ограничителем подъема, а периферийная свободно отгибается. Дисковые пластины имеют большие проходные сечения, чем кольцевые равных размеров, но их пластины трудоемки в изготовлении.

Круглые клапаны четырех перечисленных типов изготовляются по стандарту (ГОСТ 13529-77), что обеспечивает взаимозаменяемость клапанов. Кольцевые и дисковые используют при давлениях до 40 МПа, а прямоточные и ленточные – до 4 МПа. При сжатии загрязненных и сильно коксующихся или склонных к полимеризации газов лучше работают кольцевые и дисковые клапаны.

Компактный прямоточный клапан типа СГИ (рис. 3.8, *г*) надежен в работе даже при перекачивании чрезвычайно запыленной среды. Благодаря плавающим пластинам (вместо защемленных на рис. 3.8, *в*) контактные поверхности самоочищаются от грязи.

В ступенях высокого давления применяют тарельчатые клапаны сферической или конической формы (рис. 3.8, *д*).

Материалом для изготовления пластин кольцевых клапанов служит главным образом хромистая и хромомарганцовокремнистая сталь; окончательная обработка пластин производится притиркой (класс шероховатости не ниже десятого). Пластины ленточных и прямоточных клапанов изготовляют из пружинной углеродистой или нержавеющей стали, седла – из чугуна, качественных сталей и алюминиевых сплавов. Смазку цилиндров производят под давлением с помощью лубрикаторов, т. е. многоплунжерных насосов с приводом от механизма компрессора. Каждый плунжер насоса подает строго определенное количество масла в отдельную точку смазки. Система смазки цилиндров проточная, т. е. без замкнутого контура. Система смазки механизма движения – циркуляционная. Она осуществляется принудительно по замкнутому контуру: маслосборник – масляный насос (обычно шестеренный) – фильтр – холодильник – детали механизма движения – маслосборник (рис. 3.9).

Циркулирующее масло, так же как и в двигателях, очищается в нескольких ступенях:

I ступень очистки – сетчатым фильтром-маслоприемником, устанавливаемым в маслосборнике, для защиты от попадания в систему примесей крупных размеров;

II ступень – полнопоточными фильтрами грубой очистки (обычно пластинчато-щелевых) от примесей размером 40-250 мкм;

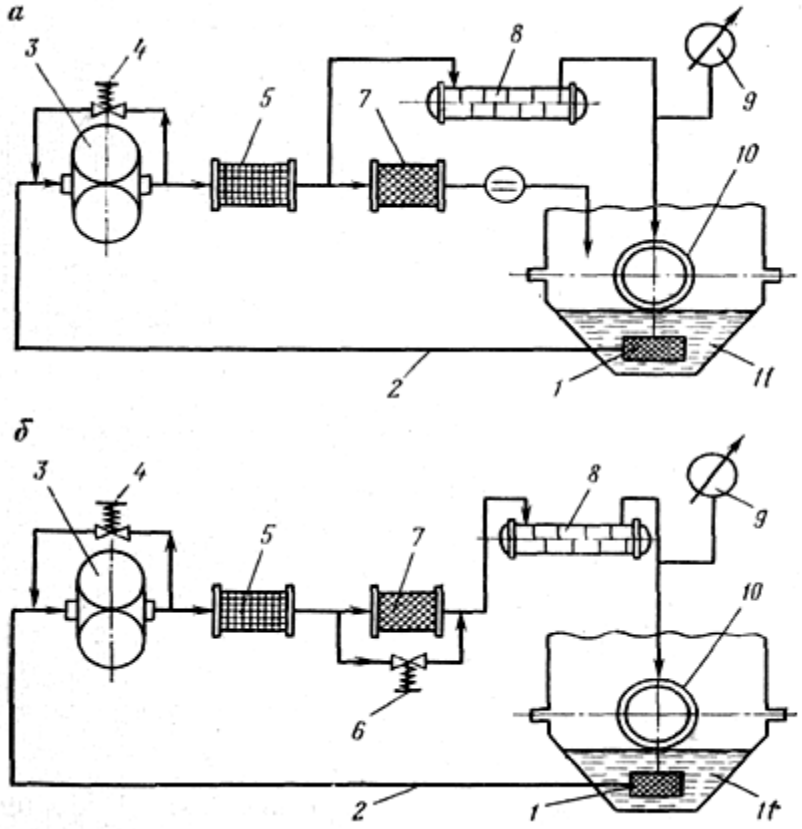


Рис. 3.9. Схемы циркуляционной системы смазки механизма движения [17]:

а – частично поточная; *б* – полнопоточная с помощью фильтров тонкой очистки:
1 – сетчатый фильтр; *2* – маслопровод; *3* – масляный насос; *4*, *6* – перепускной клапан;
5 – фильтр грубой очистки масла; *7* – фильтр тонкой очистки; *8* – холодильник масла;
9 – манометр; *10* – подшипники и другие смазываемые узлы; *11* – масляная ванна (картер)

III ступень – фильтрами тонкой очистки (ФТО), выполненными в виде патронов, заполненных хлопчатобумажной пряжей, или центрифуг (на этой ступени масло освобождается от загрязнений размером 4-5 мкм);

IV ступень – магнитными или химическими фильтрами, а также с помощью электрических методов [17].

В небольших компрессорах маслосборником обычно служит поддон картера, а холодильник для масла может отсутствовать.

Наиболее простая система смазки – разбрызгиванием масла из картера. Брызги масла, захватываемого шатунами, оседают на части поверхности цилиндров, а затем переносятся поршнями по остальной поверхности. Оседая в карманах, масло растекается из них к трущимся поверхностям механизма движения. Недостатки такого способа смазки: постепенное загрязнение масла (оно не фильтруется), малая эффективность смазки механизма движения, нерегулируемость подачи масла в цилиндры, обычно с превышением нормы. Поэтому смазку разбрызгиванием применяют лишь в малых компрессорах.

Для отделения от сжатого газа или воздуха масла и влаги служат маслоотделители (сепараторы), установленные непосредственно после холодильников. Их принцип действия основан на инерции: при повороте струи газа частицы жидкости, имеющие более высокую плотность, выпадают из струи. При давлении газа выше 10 МПа отделение масла и влаги осуществляют в фильтрах.

§ 3.3. Типовые конструкции поршневых компрессоров

В современной промышленности используются поршневые компрессоры, значительно различающиеся по подаче и давлению. Для удовлетворения требований промышленности заводы выпускают компрессоры стандартизованного номенклатурного ряда. Этот ряд построен на основе унификации деталей компрессоров, что позволяет создавать машины различных подач и давлений с применением одинаковых конструкций основных элементов (рам, цилиндров, валов и пр.). Это значительно удешевляет производство и снижает стоимость компрессоров.

Поршневые компрессоры выполняются с вертикальным и горизонтальным расположением цилиндров. Первое создает экономию в площади компрессорной станции, а также удобство эксплуатации и монтажа, однако применимо только в компрессорах с одной или двумя ступенями сжатия в одном цилиндре. Компрессоры с дифференциальными поршнями, осуществляющие многоступенчатое сжатие в одном цилиндровом блоке, выполняются по необходимости горизонтальными.

Ступени сжатия могут осуществляться в отдельных цилиндрах; в этом случае применяют рядное расположение цилиндров с приводом от общего коленчатого вала. Встречаются конструкции с V-образным и угловым расположением цилиндров (см. рис. 3.3, *в*, *г*, *е*, *ж*).

С конструктивной точки зрения различают бескрейцкопфные и крейцкопфные компрессоры.

В бескрейцкопфных компрессорах роль крейцкопфа (ползуна) выполняет сам поршень, обладающий в этом случае удлиненной цилиндрической поверхностью. Обычно они являются компрессорами низкого давления с одной или двумя ступенями сжатия. Крейцкопфные конструкции применяются при любых давлениях, но характерны для высоких давлений при многоступенчатом сжатии. Это объясняется высокими значениями поперечных сил, восприятие которых поверхностью поршня оказывается недопустимым.

На рис. 3.10 дан вертикальный разрез компрессора типа ВП (углового) с шестью ступенями сжатия. Охлаждение воздуха в водяных охладителях после каждой ступени сжатия. Конструкция в целом весьма компактна.

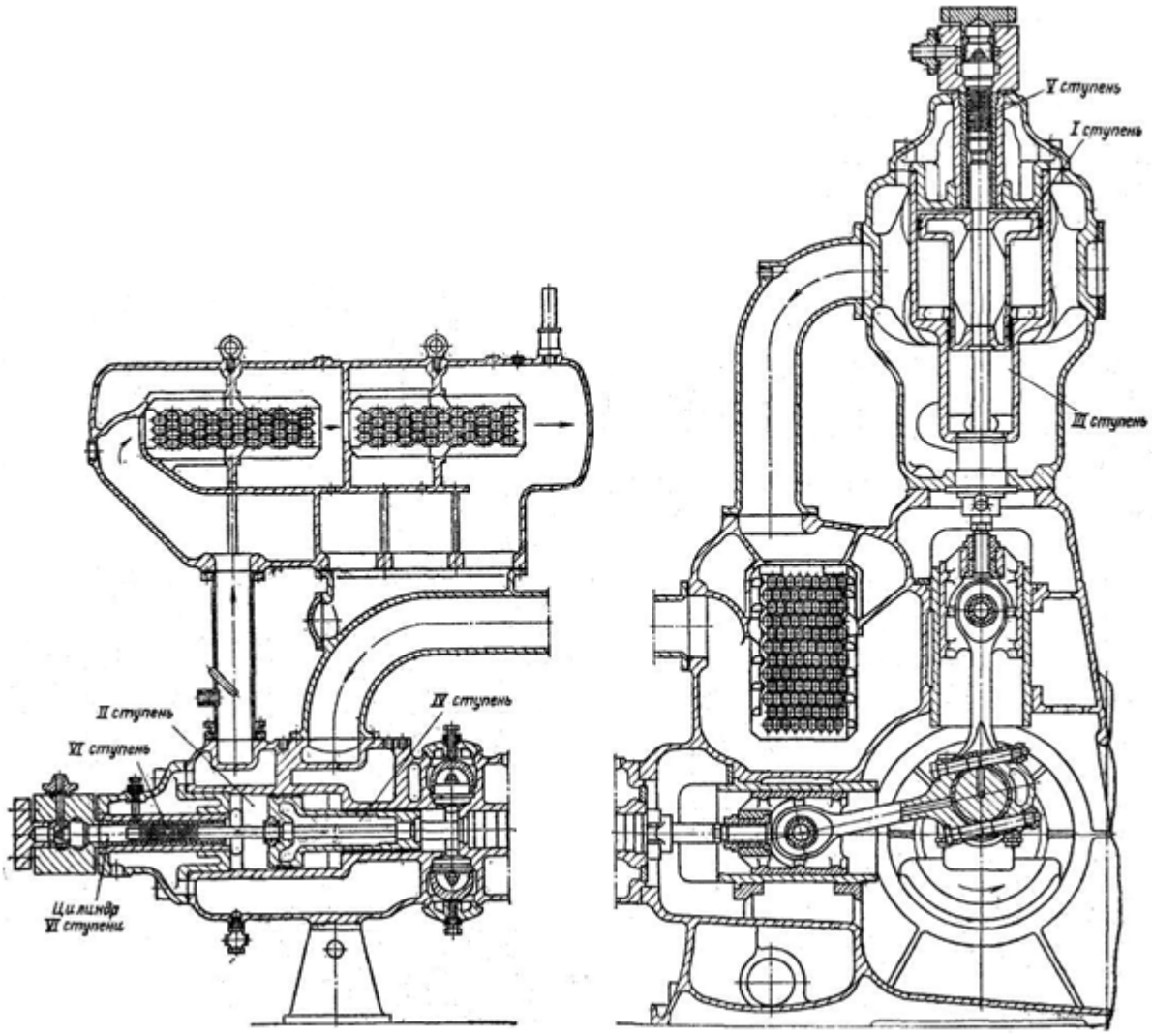


Рис. 3.10. Угловой шестиступенчатый компрессор:
Q = 0,2 м^3/с; $p_к$ = 22 МПа; $S_п$ = 220 мм; n = 500 об/мин

На рис. 3.11 представлен разрез вертикального компрессора. Конечное давление 22 МПа достигается в пяти ступенях. В правом блоке цилиндров расположены первая и четвертая, в левом – вторая, третья и пятая ступени сжатия. Компрессор - крейцкопфного типа с вильчатым шатуном.

Компрессор снабжен масляным шестеренным насосом, подающим масло из картера к подшипникам. Масло для смазки в цилиндры подается специальным устройством – лубрикатором. Охлаждение воздуха в холодильниках осуществляется после каждой ступени.

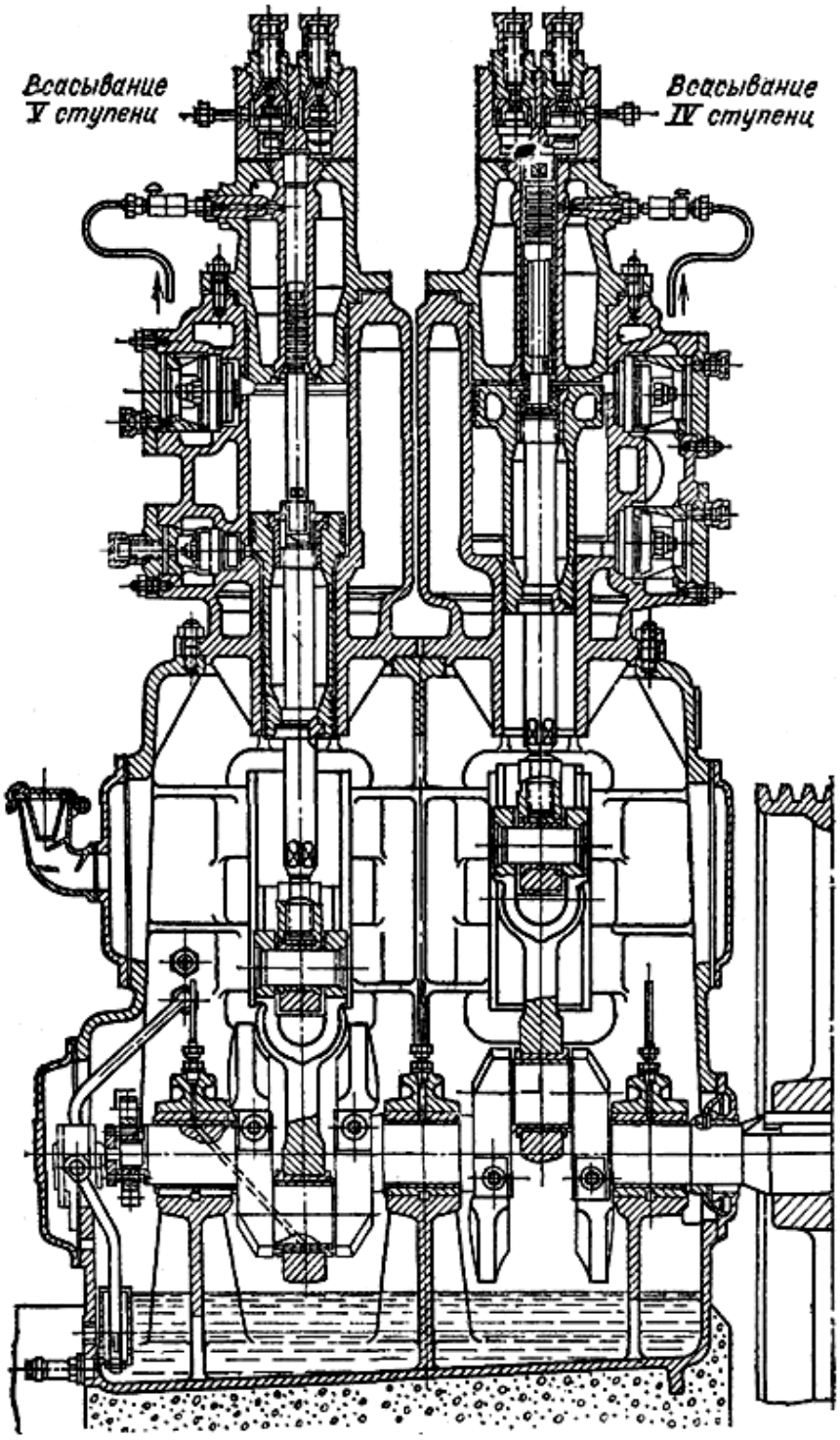


Рис. 3.11. Вертикальный поршневой компрессор с пятью ступенями сжатия

На рис. 3.12 представлен продольный разрез по цилиндрам первой и второй ступеней оппозитного воздушного компрессора. Подача компрессора 100 м^3/мин, конечное давление 0,9 МПа, частота вращения 500 об/мин, ход поршня 220 мм, диаметры цилиндров 620 и 370 мм.

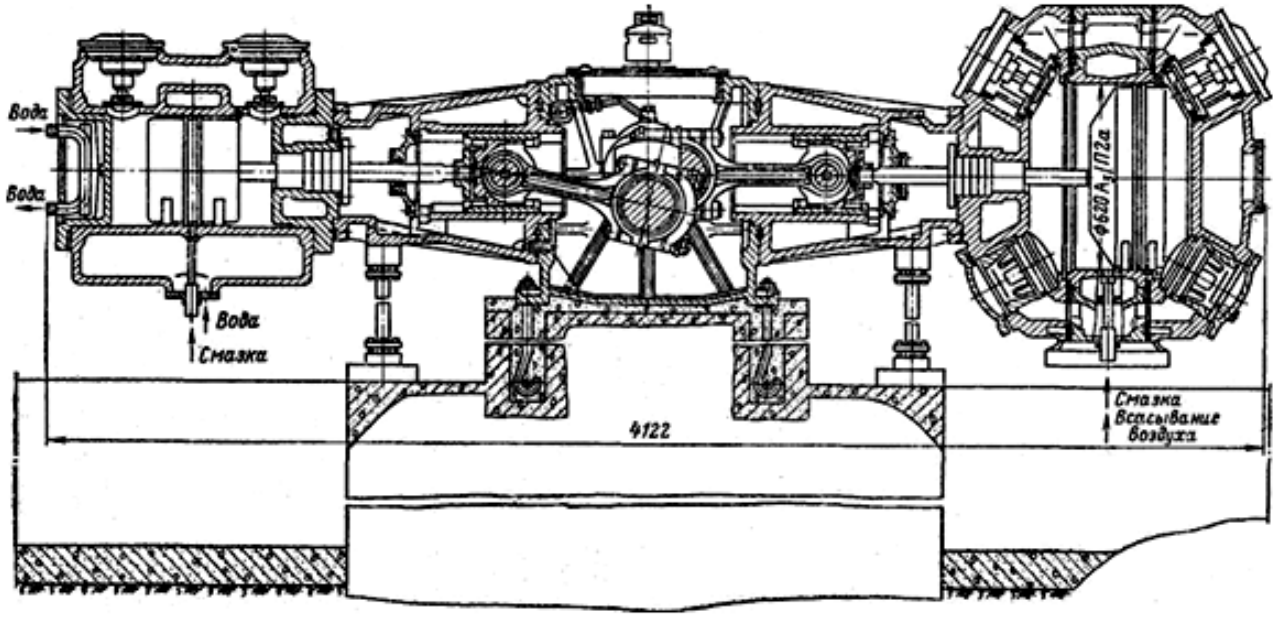


Рис. 3.12. Двухступенчатый оппозитный компрессор для подачи воздуха.
Разрез по цилиндрам первой и второй ступеней

Привод компрессора от синхронного электродвигателя мощностью 630 кВт.

§ 3.4. Компрессоры, применяемые на нефтяных и газовых промыслах. Газомотокомпрессоры (ГМК)

Эти мощные и сложные газоперекачивающие агрегаты (ГПА) применяют как в стационарных, так и в передвижных компрессорных станциях. Основные параметры баз газомотокомпрессоров, выпускаемых заводом «Двигатель Революции», приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные параметры баз газомотокомпрессоров

Параметры	ГМ-8	10 ГКН	МК-8	ДР-12
Номинальная мощность, МВт	0,4	1,1	2,06	5,5
Номинальная частота вращения, об/с	10,0	5,0	5,0	5,5
Ход поршня, мм	225	356	485	508
Число цилиндров двигателя	8	10	8	12
Число компрессорных отводов	4	5	4	6
Допускаемое штоковое усилие, МН	0,11	0,15	0,39	0,80
Масса базы (без компрессорных цилиндров), т	15	50	87	153

В газомотокомпрессоре ГМ – 8 (рис. 3.13, *а*) противоположное расположение компрессорных цилиндров и продувочных насосов двигателя благоприятствует уравновешенности агрегата в горизонтальной плоскости.

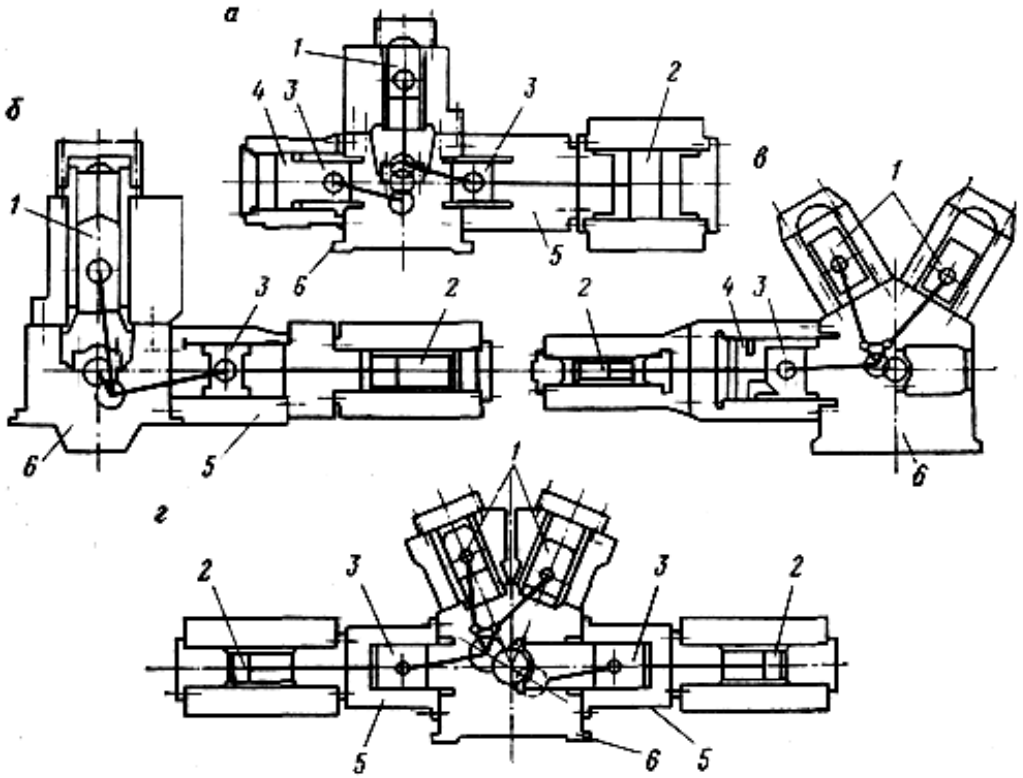


Рис. 3.13. Схемы газомотокомпрессоров:

а – с двусторонним расположением компрессорных цилиндров и продувочных насосов;
б – с односторонним расположением компрессорных цилиндров;
в – с односторонним расположением компрессорных цилиндров и продувочных насосов;
г – с двусторонним расположением компрессорных цилиндров; *1* – поршень двигателя;
2 – поршень компрессора; *3* – крейцкопф; *4* – поршень продувочного насоса;
5 – направляющие крейцкопфа; *6* – фундаментная рама

К каждой шатунной шейке коленчатого вала присоединены по два шатуна: двигателя и компрессора или двигателя и продувочного насоса. Система смазки – циркуляционная для механизма движения и принудительная от лубрикаторов для всех цилиндров и сальников. Охлаждающая вода подаётся в блок цилиндров двигателя, при этом часть её отводится на охлаждение компрессорных цилиндров.

Газомотокомпрессоры этого типа выпускаются следующих модификаций: ГМ-8/4-64; ГМ-8/1-9; ГМ-8/1-17; ГМ-8-600/1-14; ГМ-8-600/1-9; ГМ-8-600/1-4; ГМ-8-600/3,5-14.

Последняя цифра в шифре означает номинальное давление сжатого газа в кгс/см^2, предпоследняя под дробной чертой – начальное давление, цифра

600 – мощность в л. с. у стационарных компрессоров (у передвижных она равна ≈ 400 кВт за счёт привода вентиляторной установки; в шифре не указана).

Компрессорная станция КС – 550 смонтирована в нескольких блоках на сварных рамах-салазках. Наиболее крупный блок – газомотокомпрессор ГМ-8 со щитом системы управления и контроля и другими составляющими. Второй блок содержит радиаторно–вентиляторную установку, компрессор и баллон пускового воздуха, водомасляный бак. В трёх небольших вспомогательных блоках размещены сепараторы, масляные фильтры, воздухоочиститель и глушитель выхлопа.

Для регулирования нагрузки на каждую ступень предусмотрены обводные линии с задвижками, соединяющие буферную ёмкость нагнетания с буферной ёмкостью всасывания первой ступени. Продувка конденсата производится из буферных ёмкостей нагнетания и сепараторов в общий коллектор. Радиаторно-вентиляторная установка для двух ступеней сжатия состоит из четырёх секций охлаждения – водной, масляной и двух газовых. Каждая секция имеет радиатор из оребрённых труб, внутри которых проходят потоки охлаждаемых сред, а снаружи – охлаждающий воздух.

Гидропривод вентиляторов состоит из роторных насосов, соединённых через редуктор с коленчатым валом, и гидромоторов, вращающих рабочие колёса вентиляторов. Масло поступает в насосы из масляного отделения водомасляного бака, расположенного в верхней части радиаторно-вентиляторной установки, и возвращается из гидромоторов через фильтр.

Газомотокомпрессор 10ГКН (рис. 3.13, *в*) предназначен для стационарных станций. Корпуса продувочных насосов двигателя одновременно служат направляющими крейцкопфов. К шатунным шейкам коленчатого вала крепятся только головки компрессорных шатунов, а шатуны двигателя – прицепные. Компрессоры этой марки выпускаются с цилиндрами диаметром от 110 до 630 мм. В одноступенчатых машинах степень повышения давления ε составляет 1,2 – 4,0 при максимальном давлении 12,2 МПа; при двух ступенях ε равно 3 – 12,5, а конечное давление достигает 34,5 МПа; при трёх ступенях ε более 20, а при четырёх ступенях доходит до 75. Шифр 10ГКН 4/1-55 означает: компрессор с четырьмя ступенями сжатия от $p_н$ = 0,1 до 5,4 МПа.

Газомотокомпрессор МК-8 (рис 3.13, *б*), как и 10ГКН, предназначен для стационарных установок. Двигатель этого компрессора имеет высокие показатели (КПД = 0,36 вместо 0,27 – 0,29 у ГМ – 8 и 10ГКН). Шатуны двигателя и компрессора выполнены отдельно. Они расположены попарно на первой, чет-

вёртой, шестой и восьмой шатунных шейках коленчатого вала. Продувочные насосы отсутствуют, и продувка осуществляется от турбокомпрессора.

Газомотокомпрессор ДР-12 – наиболее мощный и сложный из выпускаемых заводом «Двигатель Революции». Он состоит из двухтактного V-образного двигателя и шести компрессорных цилиндров, расположенных с обеих сторон базы.

За рубежом наиболее распространены газомотокомпрессоры американских фирм Купер – Бессемер, Дрессер – Кларк, Ингерсол – Рэнд и Вортингтон. По лицензиям этих фирм выпускаются компрессоры в других странах (Франция, Италия). ГМК собственной конструкции изготовляют голландская фирма Томассен (с филиалом в Японии) и итальянская Нуово – Пиньоне.

Частота вращения вала у стационарных ГМК различных марок изменяется незначительно (от 4,6 до 5,8 об/с), а мощность агрегата – в широком диапазоне в зависимости как от числа цилиндров двигателя (от 4 до 20), так и от мощности одного цилиндра (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Диапазон мощностей и частот вращения стационарных ГМК

Показатель	Купер – Бессемер						Дрессер – Кларк			Ингерсолл – Рэнд		
	GMVA	GMVC	GMVH	V-275	W-330	Z-330	TLAD	TCV, TCVD	TCVC	KVS	KVSR	KVR
Максимальная мощность, МВт	1,35	1,5	2,0	4,9	6,0	10,0	3,0	6,0	8,2	1,6	1,9	4,5
Частота вращения, об/с	5,5	5,5	5,5	4,6	5,5	5,5	5,0	5,5	5,5	5,5	5,5	5,8

Ведущие компрессоростроительные фирмы выпускают передвижные установки ГМК для нужд нефтяной и газовой промышленности. Благодаря применению оппозитной схемы и надёжных средств гашения вибраций, частота вращения вала в передвижных ГМК увеличена до 10 – 16,7 об/с, что в сочетании с использованием лёгких сплавов позволило значительно снизить массу компрессора. Компрессоры монтируются на жёстких рамах – салазках, которые можно устанавливать на лафете или на фундаменте. Компрессоры поставляются со всем вспомогательным оборудованием и снабжены системой автоматического регулирования, контроля и защиты.

Стационарные угловые и оппозитные компрессоры

Согласно ГОСТ 18985-79Е, компрессоры воздушные поршневые стационарные общего назначения, рассчитанные на конечное давление 0,88 МПа (абсолютное), изготовляются следующих типов: ВУ – бескрейцкопфные; V-образные; ВП – крейцкопфные прямоугольные; ВМ – крейцкопфные оппозитные. Компрессоры типа ВУ имеют водяное или воздушное охлаждение, а ВП и ВМ – водяное охлаждение цилиндров и промежуточных охладителей.

Примеры условного обозначения:

Компрессор ВУ-3/8 ГОСТ 18985-79Е – V-образный, $V_Н$ = 3 м^3/мин; $p_к$ = = 0,8 МПа (избыточное), с воздушным охлаждением.

Компрессор 2ВМ10-50/8 ГОСТ 18985-79Е – оппозитный двухрядный, база со штоковым усилием = 100 кН, $p_к$ = 0,8 МПа, $\overline{V}_н$ = 50 м^{3}мин.

Производством угловых компрессоров в нашей стране заняты компрессорные заводы «Борец» и Краснодарский. Эти заводы выпускают компрессоры общего назначения по ГОСТ 18985-79Е и стационарные специальные машины для нагнетания воздуха и различных газов на базах компрессоров общего назначения.

Все машины относятся к параметрическому ряду, значительное число узлов и деталей которых взаимозаменяемо. Ряд охватывает область объемных расходов на входе от 4 до 100 м^3/мин и давления нагнетания до ≈ 40 МПа. Условное обозначение (марка) компрессора характеризует основные параметры базы и машины. Например, шифр 3С2ВП10/8 означает, что это воздушный компрессор прямоугольного типа, база с расчетной нагрузкой на шток 20 кН; $\overline{V}_н$ = 10 м^3/мин; $p_к$ = 0,8 МПа (избыточное). Цифра перед нулем указывает номер модернизации (третья). Буква С после первой цифры в шифре 3С2ВП10/8 означает, что цилиндры без смазки, а буква Г в шифре 3С2ГП10/8 – что компрессор предназначен для перекачивания влажного газа. В шифр компрессора для осушенного газа или воздуха вводится еще одна буква С после второй цифры, например 3С5СГП3О/8.

Производством оппозитных компрессоров на базе М10 занят Пензенский компрессорный завод. Цифра в начале шифра означает число рядов, например, 4М10-100/8, 2М10-50/8 (остальные цифры – как и для базы П). Оппозитные компрессоры на базе М25 выпускает для нужд газовой промышленности Сумской компрессорный завод. Шестирядный компрессор 6М25-210/3-56 мощно-

стью 4 МВт предназначен для дожимных компрессорных станций ($p_н$ = 0,25 – – 0,45 МПа; $p_к$ = 5,5 МПа).

Передвижные компрессорные установки с дизельным приводом

Для освоения скважин после бурения и ремонта предназначена компрессорная установка УКП-80 завода «Борец», смонтированная на прицепной гусеничной тележке. В установку входят: вертикальный четырехступенчатый компрессор, выполненный по схеме рис. 14.3, *д* ($\overline{V}_н$ = 8 м^3/мин; $p_к$ = 7,9 МПа), дизель В2-300 мощностью 220 кВт с редуктором, система охлаждения в радиаторах и другое вспомогательное оборудование.

Передвижкам установка КС-16/100, выпускаемая Краснодарским компрессорным заводом, также предназначенная для освоения скважин, смонтирована на автоприцепе. Четырехступенчатый шестирядный компрессор 6ГМ-16/100 выполнен на оппозитной базе. Каждая ступень состоит из двух цилиндров; третья и четвертая изготовляются с дифференциальными поршнями. Привод от четырехтактного дизеля марки 1Д12Б мощностью 300 кВт. Для зарядки пусковых баллонов сжатым воздухом на лафете установлен дизель-компрессор ДК-200. Охлаждение воздуха – в кожухотрубных холодильниках, а для охлаждения циркулирующей воды и масла служит блок радиаторов. Установка частично автоматизирована.

Установки свободнопоршневых дизель-компрессоров (СПДК)

В Российской Федерации выпускается несколько типов передвижных установок с дизель-компрессорами ДК-Ю мощностью 95 кВт и ДК-14 мощностью 235 кВт.

Установка ДКС-7/200 предназначена для транспортирования вертолетом. В нее входят два дизель-компрессора ДК-Ю, устанавливаемые на раме-салазках симметрично поперечной оси, и все системы, общие для двух компрессоров (системы пуска, питания топливом, электрооборудования, контроля). Система охлаждения замкнутая, циркуляционная; блок охлаждения для каждого компрессора включает в себя радиатор, два вентилятора, циркуляционный насос и газовую турбину, работающую на выхлопных газах дизеля. Газовая турбина служит приводом насоса и вентиляторов. Запуск дизель-компрессора ДК-Ю осуществляется сжатым воздухом. В изолированную кабину машиниста внесен щит с приборами контроля и управления.

Установка ДКС-7/200А смонтирована на автомобиле высокой проходимости (КрАЗ-255Б). Дизель-компрессоры ДК-Ю размещены симметрично продольной оси автомобиля. В передней части платформы установлены блоки охлаждения.

Установка ДКС-3,5/200 ТП предназначена для работы в районах с тяжелыми дорожными и суровыми климатическими условиями. Она смонтирована на плавающем гусеничном транспортере. Дизель-компрессор установлен вдоль оси транспортера, а у бортов размещено вспомогательное оборудование. Все оборудование закрыто кузовом, металлической крышкой и откидными бортами; станция укомплектована арматурой для присоединения к скважине.

Установка ДКС-3,5/400Б предназначена для освоения глубоких разведочных скважин. Она собирается из блоков, число которых определяется объемом потребляемого воздуха. Станция может перевозиться различными транспортными средствами.

В передвижной установке ТАКС используется более мощный компрессор ДК-14.

Глава 4. ОДНОСТУПЕНЧАТОЕ СЖАТИЕ В ПОРШНЕВОМ КОМПРЕССОРЕ

§ 4.1. Рабочий процесс в цилиндре компрессора

Чередование этапов рабочего процесса в поршневом компрессоре такое же, как в поршневом насосе. Однако при нагнетательном ходе поршня газ сначала сжимается до тех пор, пока давление в рабочей камере не достигнет значения, достаточного для открытия нагнетательного клапана. Затем газ выталкивается поршнем через этот клапан в нагнетательный трубопровод. При движении поршня от крышки цилиндра давление в рабочей камере падает до давления всасывания не сразу, а лишь после того, как расширится газ, оставшийся к концу выталкивания в «мёртвом» пространстве цилиндра. «Мёртвое» пространство находится в клапанах и каналах, а также в небольшом зазоре между поршнем, находящимся в крайнем положении, и крышкой цилиндра.

На индикаторной диаграмме (рис. 4.1, *а*) точка *a* соответствует закрытию всасывающего клапана, *b* – открытию нагнетательного клапана, *c* – закрытию нагнетательного и *d* – открытию всасывающего клапана. Линия *da* соответствует процессу всасывания, *ab* – сжатия, *bc* – выталкивания, *cd* – расширения остатка газа.

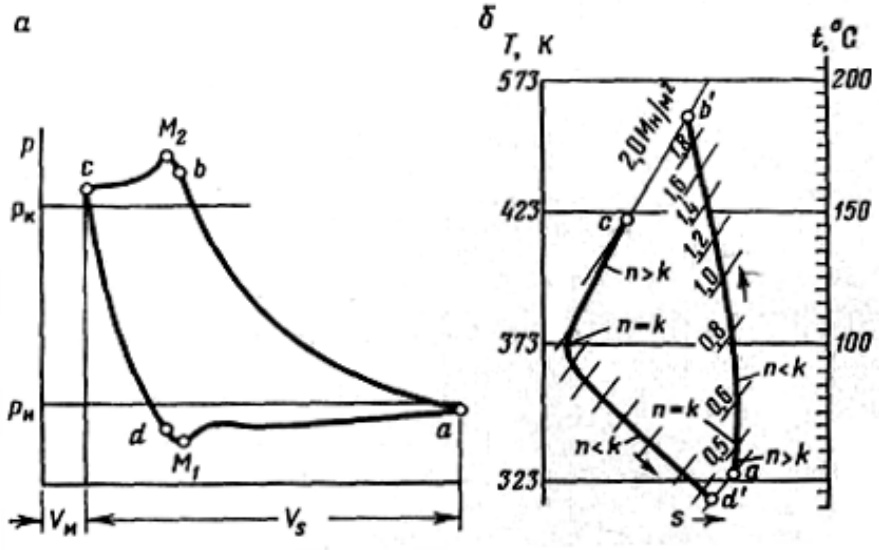


Рис. 4.1. Диаграммы рабочего процесса поршневого компрессора

Изменение давления всасывания и выталкивания (волнистые линии) является следствием двух влияний: переменного перепада давления в клапане

и пульсаций потока во всасывающей и нагнетательной линиях. В начале открытия всасывающего клапана вследствие малой щели наблюдается значительное снижение давления (до точки M_1). В начале выталкивания давление по той же причине, наоборот, повышается (до точки M_2). Если клапан полностью открыт, то потери давления в клапане непостоянны, потому что скорость газа в нем изменяется, следуя переменной скорости поршня. Поэтому даже при постоянном давлении во всасывающем и нагнетательных патрубках линии всасывания и выталкивания индикаторной диаграммы отклоняются от горизонтальных прямых.

Изобары $p_н$ и $p_к$, проведенные на диаграмме, соответствуют средним давлениям в патрубках компрессора. Когда клапан открыт, колебание внешнего давления распространяется на полость цилиндра. Это влияет на скорость течения газа через клапан и отражается на кривой давления. Поэтому точки *a* и *c* могут располагаться как на изобарах, так и ниже или выше их в зависимости от фазы пульсации газа в крайнем положении поршня.

Линии сжатия и расширения – политропы с переменным показателем, что наглядно показано на диаграмме *T*-s (рис. 4.1, *б*). В начале сжатия (точка *a*) температура газа ниже температуры стенок цилиндра и поршня. Поэтому процесс сжатия происходит с подводом тепла при показателе политропы большем, чем показатель адиабаты. При сжатии температура газа повышается, и направление теплообмена изменяется, как только температура газа превышает температуру стенок цилиндра и поршня. Газ начинает отдавать тепло, а показатель политропы изменяется от $n > k$ в начале сжатия до $n < k$ в конце сжатия. При равенстве температур газа и окружающих стенок на мгновение теплообмен прекращается, и сжатие становится адиабатическим ($n = k$).

На той же диаграмме в координатах s, *T* отражен процесс расширения «мертвого» остатка. Он начинается в точке *c* при температуре более низкой, чем температура конца сжатия основной порции газа, с отдачей тепла до момента, когда температура газа не снизится до температуры стенок (при расширении отвод тепла характеризуется условием $n > k$). Дальнейшее расширение газа сопровождается нарастающим подводом тепла к газу, и процесс приближается к изотермическому ($n < k$)[12].

[12] Так как характер изменения давления и температур в цилиндре циклический, иногда говорят о «рабочем цикле» в поршневом компрессоре. Это выражение не рекомендуется, поскольку в термодинамике циклом называется замкнутый процесс, характеризующийся возвратом тел в исходное состояние, а в компрессоре осуществляется разомкнутый процесс изменения состояния основной нагнетаемой порции газа.

С увеличением частоты вращения вала компрессора процессы сжатия и расширения приближаются к адиабатическим, так как теплообмен проявляется слабее.

§ 4.2. Объёмный расход газа на входе одноступенчатого компрессора

Так же как объёмную подачу объёмного насоса, значение $\overline{V}_{\text{н}}$ для поршневого компрессора можно определить по секундному (или минутному) рабочему объёму, описываемому поршнями первой ступени в единицу времени:

$$\overline{V_{\text{н}}} = \lambda \overline{V_s} \, . \tag{4.1}$$

Коэффициент объёмного расхода газа на входе λ отражает влияние нескольких факторов. Из рис. 4.2 видно, что газ поступает в рабочую камеру не только из всасывающей линии, но также перетекает из областей высокого давления через неплотности клапанов и поршня, вследствие чего масса газа $\overline{m}_{\text{н}}$, отбираемого из всасывающей линии, меньше массы газа, поступившей в цилиндр к концу хода всасывания (точка *a* на индикаторной диаграмме, см. рис. 4.1, *а*). Соответствующие массовые расходы связаны равенством

$$\overline{m_{\text{н}}} = \lambda_{\text{г}} \overline{m_a} \, , \tag{4.2}$$

где $\lambda_{\text{г}}$ – коэффициент герметичности.

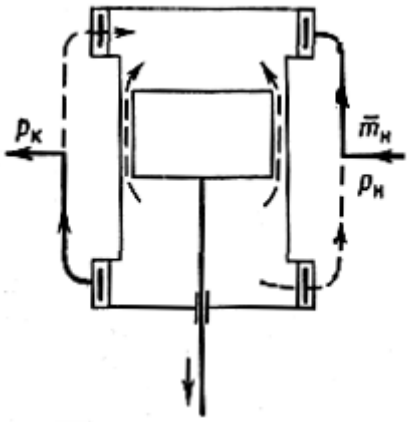


Рис. 4.2. Схема перетечек газа в компрессоре

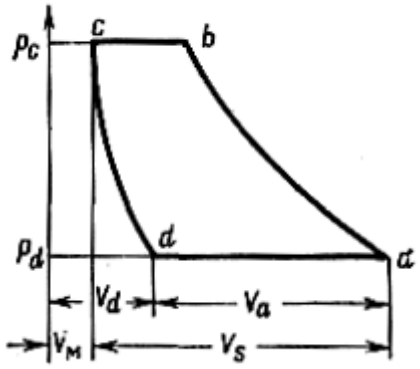


Рис. 4.3. К определению объёмного коэффициента

Согласно уравнению Клапейрона для идеального газа:

$$p_{\text{н}} \overline{V_{\text{н}}} = \overline{m_{\text{н}}} R T_{\text{н}} \;\; ; \quad p_a \overline{V_a} = \overline{m_a} R T_a . \tag{4.3}$$

Подставим (15.3) в (15.2) и разделим обе части равенства на $\overline{V}_s$:

$$\lambda = \frac{\overline{V_{\text{н}}}}{\overline{V_s}} = \lambda_{\text{г}} \frac{\overline{V_a}}{\overline{V_s}} \cdot \frac{T_{\text{н}}}{T_a} \cdot \frac{p_a}{p_{\text{н}}} = \lambda_{\text{г}} \lambda_{\text{о}} \lambda_{\text{т}} \lambda_{\text{р}} \, , \tag{4.4}$$

где $\lambda_о$ – объёмный коэффициент; $\lambda_т$ – коэффициент подогрева; $\lambda_р$ – коэффициент давления.

Из схематизированной индикаторной диаграммы на рис. 4.3 видим, что объём газа, поступившего в цилиндр, меньше объёма цилиндра на объём расширившегося «мёртвого» остатка[1]:

$$V_a = V_s + V_м - V_d. \tag{4.5}$$

Объём V_d определим из уравнения политропы расширения с показателем $n_р$ (газ идеальный):

$$p_c V_м^{n_p} = p_d V_d^{n_p}. \tag{4.6}$$

Подставив значениеV_d в выражение (4.5) и обозначив относительный объём «мёртвого» пространства $a = V_м/V_s$, получим формулу

$$\lambda_о = 1 - a\left(\varepsilon^{\frac{1}{n_p}} - 1\right), \tag{4.7}$$

поскольку $\frac{P_c}{P_d} \approx \varepsilon$. Для краткости относительный объём a будем называть клиренсом.

Показатель политропы при расширении ниже, чем при сжатии. Ориентировочные его значения при ε = 3÷4 приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ориентировочные значения показателя политропы при ε = 3÷4

$p_н$, МПа	$n_р$	$p_н$, МПа	$n_р$
До 0,15	1 + 0,50 (k – 1)	От 1,0 до 3,0	1 + 0,88 (k – 1)
От 0,15 до 0,40	1 + 0,62(k – 1)	Свыше 3,0	k
От 0,40 до 1,0	1 + 0,75 (k – 1)		

Определить коэффициент λ по формуле (4.4) затруднительно, так как кроме $\lambda_о$ необходимо иметь значения трёх коэффициентов $\lambda_г$, $\lambda_т$, $\lambda_р$. Их можно объединить в общий коэффициент эффективности всасывания, определяемый по эмпирической формуле В. Е. Лисичкина и А. М. Горшкова:

$$\lambda_э = \lambda_г\lambda_т\lambda_р = 1{,}01 - 0{,}022\varepsilon. \tag{4.8}$$

Более простой путь – использование опытных формул для определения непосредственно коэффициента λ, одна из которых имеет следующий вид:

$$\lambda = 1 - Ac_{ср}^{0,75}\Delta^{-0,8}\varepsilon - \left(\varepsilon^{\frac{1}{n_p}} - 1\right). \tag{4.9}$$

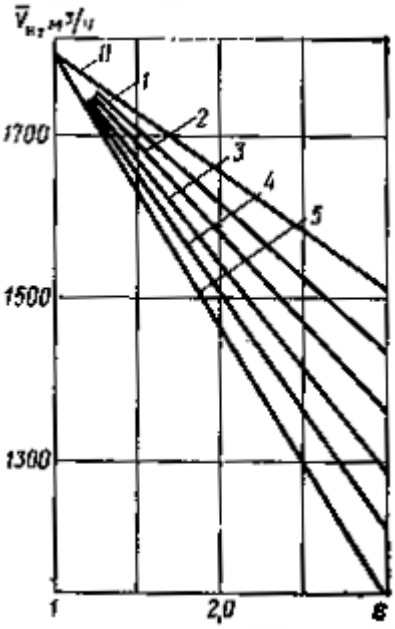
Здесь A – коэффициент, равный 0,007 для крупных компрессоров и 0,008 для малых компрессоров; $n_p = 0{,}75k + 0{,}75$ для $c_{ср} = 3$ м/с; $n_p = 0{,}75k + 0{,}20$

для $c_{ср}$ = 1,5 м/с; $c_{ср}$ – средняя скорость поршня ($c_{ср} = 2Sn$); Δ – относительная плотность газа по воздуху; остальные обозначения прежние.

Иногда используются опытные формулы следующего вида:

$$\lambda = 0{,}97 - a\left(\varepsilon^{\frac{1}{n_p}} - 1\right) - y, \qquad (4.10)$$

где поправка 0,97 введена для учёта подогрева газа, а коэффициентом y = 0,02 – – 0,05 учитываются объёмы газа, перетекающего через неплотности рабочих камер.



4.4. График объёмного расхода на входе в компрессор при включении дополнительных «мёртвых» пространств (карманов):

0 – все карманы закрыты;
1 – 5 – открыты карманы: один, два и т. д.

Наряду с приведенными формулами, объёмный расход газа на входе в компрессор можно определить по опытным графикам, полученным при испытании компрессора (рис. 4.4).

Каждая линия графика зависимости ε – $\overline{V}_{н}$ относится к определённому объёму «мёртвого» пространства, который регулируется.

Выражение (4.7) уточним для реального газа с учётом того, что для начала и конца расширения остатка газа

$$\frac{p_c V_м}{T_c Z_c} = \frac{p_d V_d}{T_d Z_d}.$$

Следовательно, для вычисления объёмного коэффициента необходимо знать температуру остатка газа в начале расширения $T_с$. Обычно её принимают равной конечной температуре газа $T_к$, которую при высоких давлениях без особой ошибки можно определять по формуле адиабатического сжатия идеального газа:

$$T_к = T_н \varepsilon^{\frac{k-1}{k}}. \qquad (4.11)$$

Причём $\frac{k-1}{k} = 1{,}986/\overline{c_p}$, где $\overline{c_p}$ – молярная теплоёмкость газа, которую рекомендуется брать для стандартных условий, чтобы тем самым компенсировать погрешность в результатах при использовании формулы (4.11) для реального газа.

Приняв приближённо: $Z_d \approx Z_н$; $Z_с \approx Z_к$; $T_d \approx T_н$; $p_с/p_d \approx \varepsilon$, получим объём расширившегося «мёртвого» остатка:

$$V_d = V_м \frac{T_d Z_d}{T_c Z_c} \cdot \frac{p_c}{p_d} = V_м \frac{Z_н}{Z_к} \varepsilon^{1/k},$$

а затем

$$\lambda_{\text{о}} = 1 - a\left(\frac{Z_{\text{н}}}{Z_{\text{к}}}\varepsilon^{1/k} - 1\right). \qquad (4.12)$$

§ 4.3. Мощность одноступенчатого компрессора

Понятия «индикаторная мощность» рабочей камеры или всего компрессора $\sum N_{\text{инд}}$ аналогичны соответствующим понятиям в теории насосов. Рассмотрим способы вычисления индикаторной мощности при заданных условиях перекачивания газа.

1. С использованием адиабатического индикаторного КПД, который для поршневой машины идентичен внутреннему адиабатическому и, следовательно, зависит не только от внутренних потерь, но и от степени приближения действительного процесса сжатия к адиабатическому:

$$\sum N_{\text{инд}} = N_{\text{ад}}/\eta_{\text{ад.и}}. \qquad (4.13)$$

На рис. 4.5 показан характер изменения $\eta_{\text{ад.и}}$ в зависимости от начального и конечного давлений. Вариант этого способа – применение формулы

$$\sum N_{\text{инд}} = \left(1 + \Delta c_{\text{инд}}\right)N_{\text{ад}}, \qquad (4.14)$$

где $\Delta c_{\text{инд}}$ – коэффициент индикаторных потерь, определяемый по опытному графику (см. рис. 4.5, *б*)[13].

а *б*

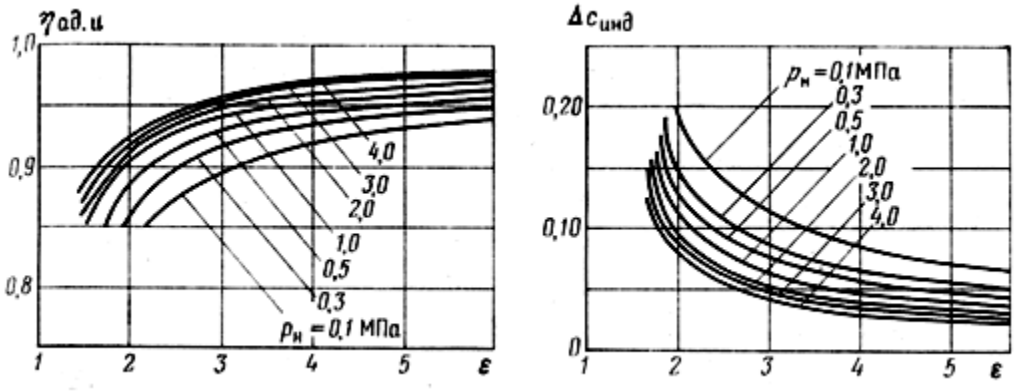


Рис. 4.5. График зависимости внутреннего адиабатического КПД коэффициента индикаторных потерь от давления [15]

[13] Очевидно, что указанные варианты расчёта индикаторной мощности связаны формулой:

$$\left(1 + \Delta c_{\text{инд}}\right) = \frac{1}{\eta_{\text{ад.и}}}.$$

2. По методу М. И. Френкеля индикаторную мощность можно вычислить путём замены в формуле адиабатической мощности отношения давления ε большей величиной $\acute{\varepsilon} = \varepsilon(1 + \delta)$:

$$\sum N_{\text{инд}} = p_{\text{н}} \overline{V_s} \lambda_{\text{о.а}} \frac{k}{k-1} \left[(\acute{\varepsilon})^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right], \qquad (4.15)$$

где $\lambda_{\text{о,а}}$ – объёмный коэффициент при адиабатическом расширении газа ($n_{\text{р}} = k$); δ – сумма относительных потерь при всасывании и выталкивании, определяемая по графику (рис. 4.6): $\delta = \delta_1 + \delta_2$.

По оси абсцисс отложены давления в трубопроводе, при которых происходит, соответственно, всасывание или выталкивание.

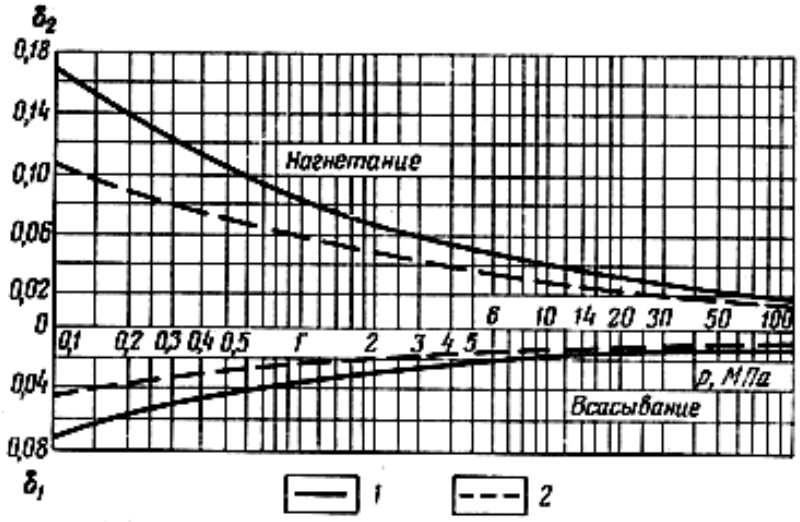


Рис. 4.6. График для определения потерь мощности [15]:

1 – по средним данным; *2* – по сниженным значениям

График построен для воздуха, а при перекачивании других газов следует учитывать, что потеря давления пропорциональна плотности газа.

3. Наиболее удобный способ определения индикаторной мощности – по графику удельной индикаторной мощности:

$$N_{\text{инд.уд}} = \sum N_{\text{инд}} / \overline{V}_{\text{о}} , \qquad (4.16)$$

построенному по данным испытания аналогичных компрессоров (рис. 4.7, *а*).

С помощью графиков (см. рис. 4.4 и 4.7, *а*) легко определить число компрессоров выбранной модели, необходимых для заданной подачи сухого газа $(\text{V}_{\text{о}})_{\text{общ}}$ при известных условиях перекачивания, а также рассчитать загрузку компрессоров.

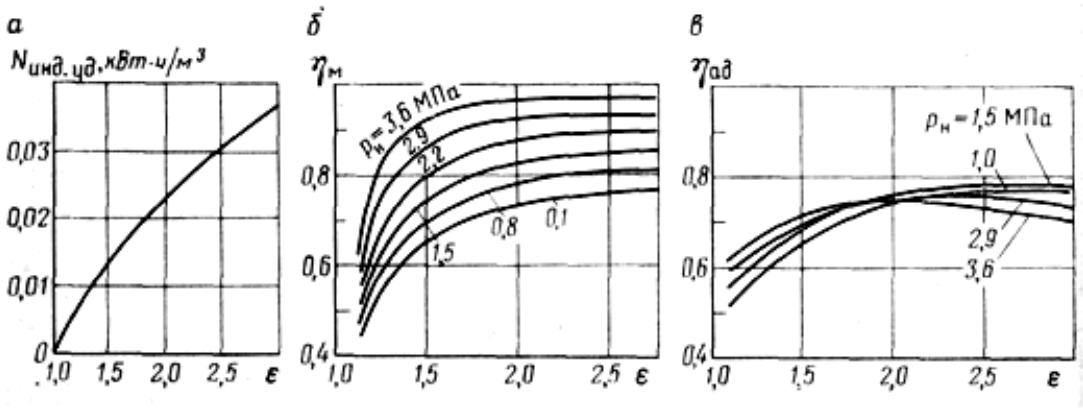


Рис. 4.7. Графики удельной индикаторной мощности и КПД поршневых компрессоров

Исходя из номинальной индикаторной мощности и определив по графику $N_{инд.уд}$ для заданного значения ε, находим объёмную подачу для одной машины $\overline{V}_о$ изформулы (4.16) и число компрессоров $z = \left(\overline{V_c}\right)_{общ}/\overline{V_о}$. Зная начальные условия, далее вычислим $\overline{V}_н$ из формулы

$$\frac{p_н \overline{V}_н}{T_н Z_н} = \frac{p_c \overline{V}_о}{T_о},$$

где индекс «0» соответствует стандартным условиям ($Z_0 = 1$).

По $\overline{V}_н$ и ε на графике рис. 4.4 находим точку, координированную этими величинами, и назначаем тот объём «мёртвого» пространства, при котором будет обеспечиваться требуемый расход газа на входе в компрессоры.

При перекачивании углеводородных газов в расчёт индикаторной мощности компрессора вносятся поправки на реальность газа.

Мощность компрессора можно определить также по адиабатической мощности, если имеются данные об адиабатическом КПД (см. рис. 4.7, *в*):

$$\eta_{ад} = \eta_{ад.и}\,\eta_м.$$

Мощность компрессора

$$N = \sum N_{инд} + N_м, \qquad (4.17)$$

где $N_м$ – мощность механического трения. Можно использовать механический КПД (см. § 1.3. Мощность и КПД компрессора), учитывая, однако, что значение $\eta_м$ изменяется в зависимости от нагрузки (см. рис. 4.7, *б*), поскольку при неизменной частоте вращения вала механические потери приблизительно постоянные. Чем меньше начальное давление газа и чем меньше значение ε, тем меньше нагружен компрессор и тем ниже механический КПД.

§ 4.4. Характеристики одноступенчатого компрессора

Многие компрессоры предназначены для работы при постоянных давлениях всасывания и нагнетания. Но существуют области применения, в которых машины должны быть приспособлены к изменению давлений – закономерного, когда компрессоры предназначаются для работы в нескольких различных режимах с переходом от одних к другим, или же являющегося следствием нарушений в работе аппаратов и трубопроводов (засорения и т. п.), включённых в газовую сеть.

Во всех случаях важно, чтобы машины могли выполнять свои функции при ограничениях в располагаемой мощности, максимальном крутящем моменте, допускаемой нагрузке на поршневой шток и допускаемой конечной температуре. Для расчёта загрузки машины по различным показателям, так же как и в других проточных машинах, служат характеристики.

Выбор системы координат зависит от условий перекачивания газа и целей расчёта. Графики строят по результатам испытания компрессора на газе определённого состава. При отсутствии опытных данных используют теоретические формулы.

Характер кривых зависимостей $\overline{V}_{\text{н}}$ и $N_{\text{инд.уд}}$ от ε показан на примерах (см. рис. 4.4 и 4.7, *а*). Теоретическую кривую мощности компрессора при перекачивании идеального газа можно построить по приведенным выше формулам, представленным в следующем виде:

$$N = \sum \frac{N_{\text{инд}}}{\eta_{\text{м}}} = K p_{\text{н}} f_{\text{н}} + N_{\text{м}} \;\text{ или }\; K p_{\text{к}} f_{\text{к}} + N_{\text{м}}, \tag{4.18}$$

где

$$K = \frac{k}{k-1}\overline{V}_s\left(1 + \Delta c_{\text{инд}}\right) \text{ или } = \frac{k}{k-1}\overline{V}_s/\eta_{\text{адм}};$$

$$f_{\text{н}} = \left(1 + a - a\varepsilon^{1/k}\right)\left(\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1\right);\; f_{\text{к}} = f_{\text{н}/\varepsilon}.$$

При постоянном начальном давлении форма кривой мощности определяется функцией $f_{\text{н}}$ (рис. 4.8, *а*), а когда $p_{\text{к}}$ = idem, – функцией $f_{\text{к}}$ (рис. 4.8, *б, в*). Линии *А – А* и *В – В* на графиках являются геометрическим местом максимумов мощности при различных значениях клиренса[14].

[14] В цилиндрах двустороннего действия допустимо использовать арифметическое среднее клиренсов обеих (штоковой и бесштоковой) камер.

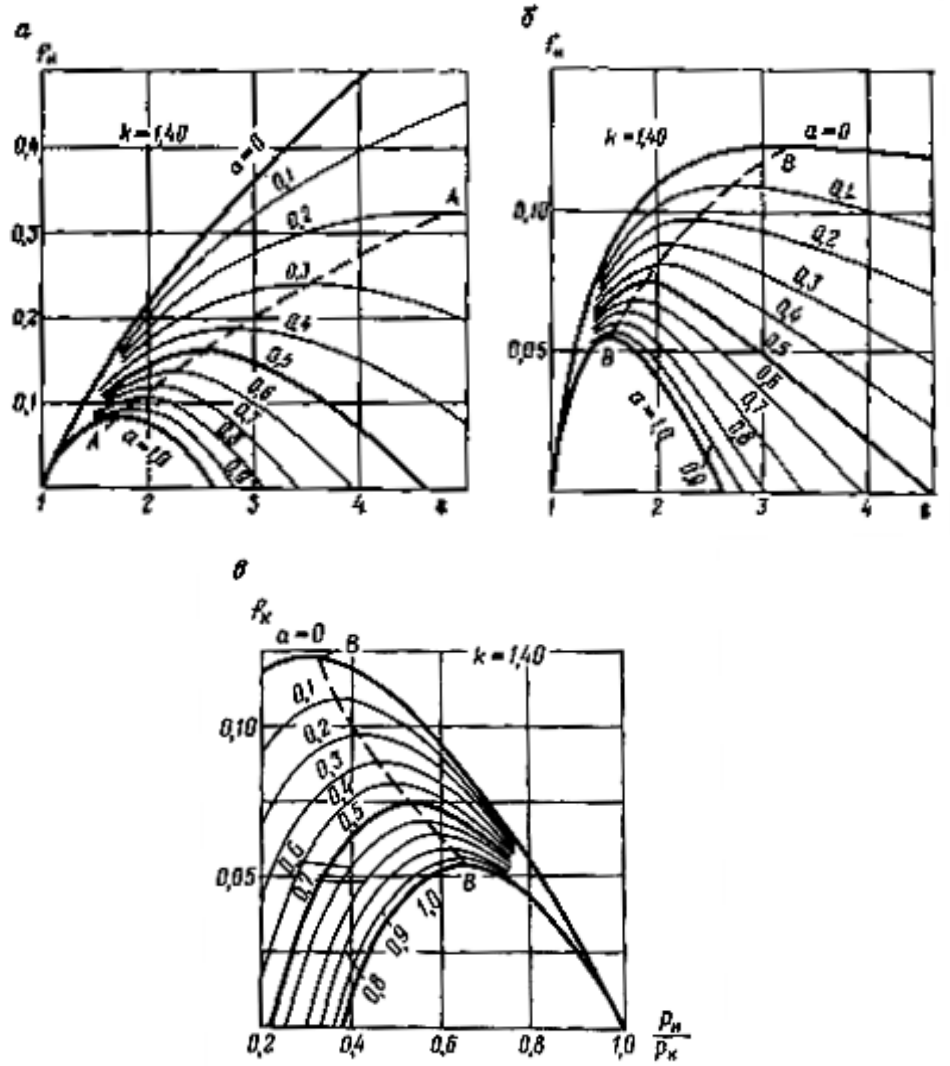


Рис. 4.8. Исходные графики для построения теоретических кривых мощности

Теоретические экстремальные значения $\varepsilon_э$ при постоянном значении $\eta_{ад}$ определяют по трансцендентным уравнениям, получаемым из условий $\frac{d f_н}{d\varepsilon} = 0$ или $\frac{df_к}{d\varepsilon} = 0$. В частном случае при $a = 0$ функция $f_к$ максимальна при $\varepsilon_э = k^{\frac{k}{k-1}}$, тогда как $f_н$ максимума не имеет.

Если при расчёте мощности учитывать изменение $\eta_{ад.и}$ в зависимости от ε, то положение и значение максимума кривой мощности изменяются.

Работа компрессора в режиме максимума мощности *A* характерна тем, что при любом изменении конечного давления мощность компрессора снижается. Аналогично при работе в режиме *B* любое изменение $p_н$ разгружает машину. Поэтому при частых изменениях давления на входе или на выходе компрессора ограниченной мощности, работающего без постоянного обслуживания, во избежание перегрузки машины желательно, чтобы машина действовала в указанных режимах.

Поскольку с увеличением клиренса значения ε с максимумами функций $f_н$ и $f_к$ сближаются (см. рис. 4.8, *а* и *б*), то при одновременном изменении начального и конечного давлений с этой точки зрения выгодно применять компрессор с большим клиренсом.

Цифрами обозначены шифры ступенчатой настройки регуляторов с определённым клиренсом. Кривые, отрезки которых составляют пилообразный график мощности, по форме соответствуют рис. 4.8, *в*.

Диаграмма на рис. 4.9 более удобна в том отношении, что позволяет производить тот же расчёт при любых (в заданном диапазоне) конечном и начальном давлениях.

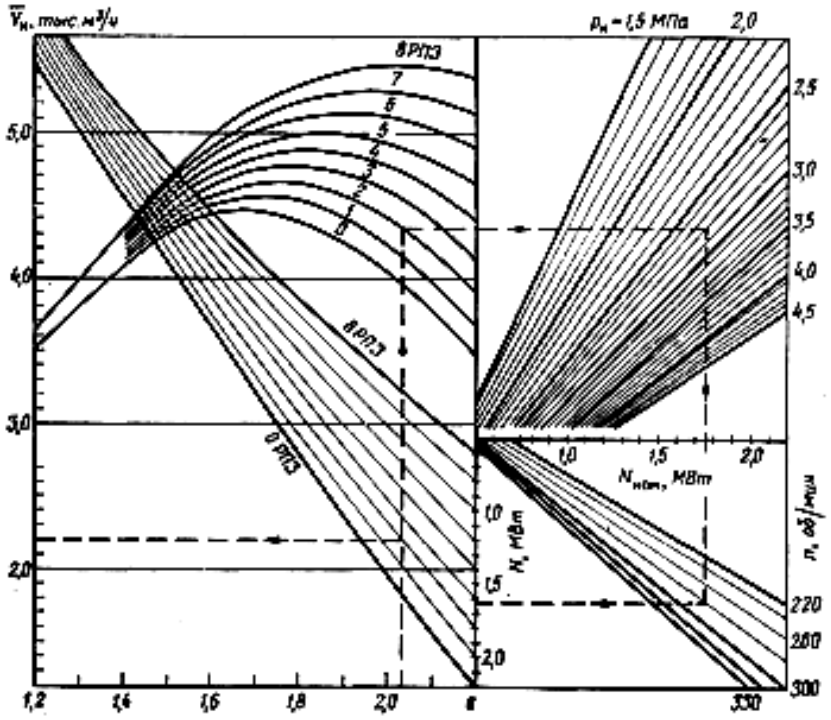


Рис. 4.9. Комбинированный график для определения объёмного расхода газа на входе и мощности газомотокомпрессора МК-8

График составлен по данным испытания ВНИИГазом и заводом «Двигатель Революции» газомотокомпрессора МК-8 на газе, содержащем не менее 90 % метана и не более 5 % этана. Семейство параболических кривых по номограмме аналогично графику рис. 4.8, *а*, а правая часть графика служит для умножения на $p_н$ величины, полученной в левой части, и для корректировки номинальной мощности $N_{ном}$ (при 300 об/мин) по фактической частоте вращения вала. Пунктиром показан пример использования графика для определения мощности, снимаемой с вала машины, и объёмного расхода газа на входе компрессора. Шифр «2РПЗ» означает, что закрыты две из восьми подключаемых полостей мёртвого пространства.

На диаграмме в координатах $p_н$, $p_к$ линии равных ε представлены лучами, исходящими из начала координат. На биссектрисе прямого угла расположены точки, соответствующие режимам сжатия при ε = 1, а на оси ординат – режиму с бесконечно большим ε. Достоинство диаграммы в том, что варианты сочетаний $p_н$ и $p_к$, диктуемые технологическим процессом, можно сравнить на диаграмме с предельными характеристиками компрессора.

Кривая изомощности для одной частоты вращения вала при постоянном клиренсе (рис. 4.10, *а*) разделяет области режимов перегрузки и режимов неполного использования номинальной мощности. Точками *A* и *B* отмечены те же режимы, что и на рис. 4.8. При построении теоретических кривых изомощности с постоянным адиабатическим КПД в отсутствии утечек газа все точки *A* (или *B*) находятся на одном луче (на рис. 4.10, *а* – соответственно на лучах ε = 5,75 и ε = 2,40); в действительности линии *A – A* и *B – B* в координатах $p_н$, $p_к$ не прямые.

Влияние клиренса на положение кривой изомощности (в данном примере 295 кВт) показано на рис. 4.10, *б*. Наглядно видно, что увеличению клиренса отвечает более высокий уровень давлений на входе и выходе и что при этом точки *A* и *B* сближаются.

С увеличением частоты вращения вала кривые изомощности смещаются к началу координат, т. е. при заданной мощности любого компрессора большим значениям $\overline{V}_н$ соответствуют пониженные уровни давлений, и, наоборот, с повышением давлений (при равныхε) объёмный расход газа на входе снижается. На диаграмме $p_н$, $p_к$, кроме линий мощности в качестве предельных характеристик можно нанести также линии объёмной подачи, допускаемой нагрузки на поршневой шток и температурного предела.

Если в формулу объёмной подачи в отсутствие утечек

$$\overline{V}_o = \overline{V}_s \lambda \frac{p_н}{p_о} \frac{T_о}{T_н}$$

в левую часть подставить потребную подачу, то для заданного клиренса изолинии подачи $\overline{V}_о$ в тех же координатах представляются почти прямыми (рис. 4.10, *в*). Для больших подач аналогичные характеристики изображаются линиями, параллельными представленной на графике и смещёнными в сторону увеличения $p_н$.

Усилие в поршневом штоке

$$R = p_к F - p_н (F - f),$$

где F, f – площади поршня и штока. При заданном R это выражение также представляется прямой.

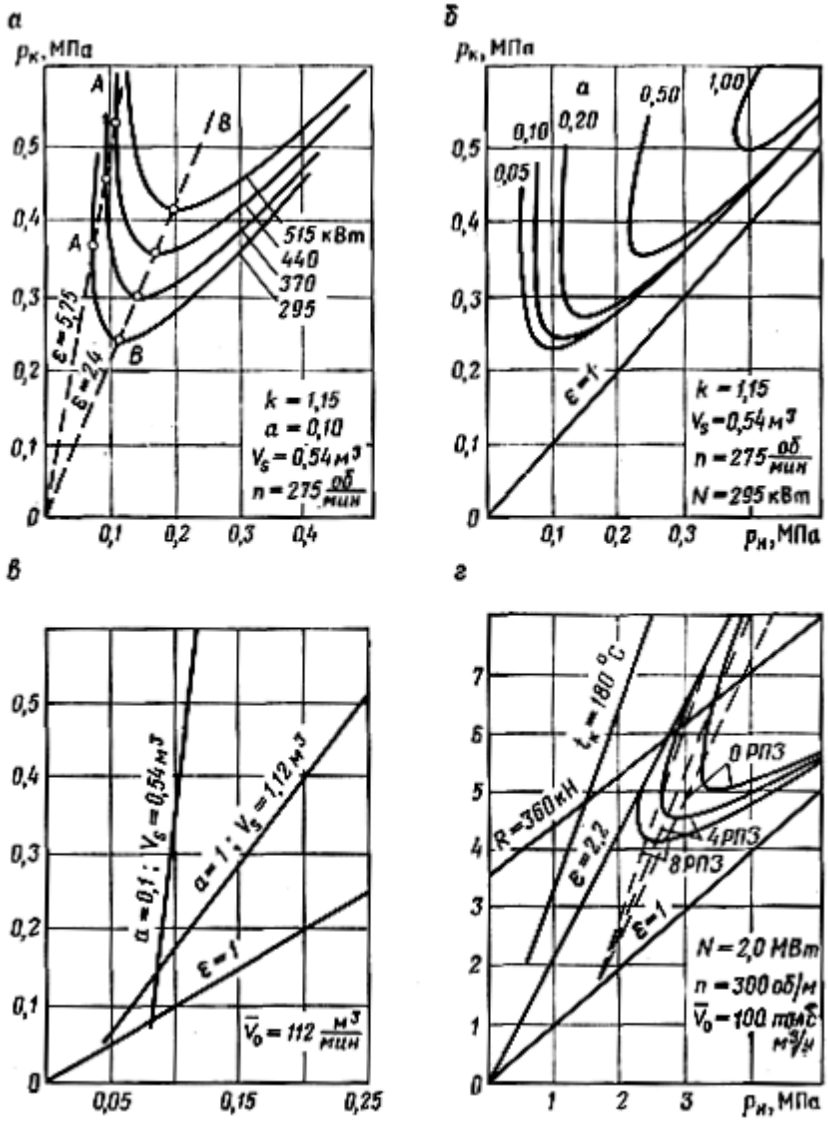


Рис. 4.10. Графики мощности и объёмного расхода газа на входе поршневого компрессора: *а* – линии изомощностей при постоянном клиренсе; *б* – линии изомощности при переменном клиренсе; *в* – линии равной объёмной подачи $\overline{V}_0$; *г* – комбинированный график с предельными показателями для газомотокомпрессора МК-8 (пунктиром проведены линии подачи $\overline{V}_0$ = 100 тыс. м^3/ч)

Конечная температура $T_к = T_н \varepsilon^{\frac{n_т - 1}{n_т}}$, откуда $p_к = p_н \left(\frac{T_к}{T_н}\right)^{\frac{n_т}{n_т - 1}}$, т. е. линия постоянной конечной температуры – прямая.

Если нанести полученные линии на общий график, то можно определить зону возможных режимов сжатия для данной машины при выбранных значениях частоты вращения вала и клиренса.

На рис. 4.10, *г* показан комбинированный график суказанными линиями характеристик, построенными по данным рис. 4.9. Пунктиром нанесены линии объёмной подачи $\overline{V}_0$ = 100 тыс. м^3/ч для трёх значений клиренса.

Глава 5. СТУПЕНЧАТОЕ СЖАТИЕ ГАЗА В ПОРШНЕВОМ КОМПРЕССОРЕ

§ 5.1. Назначение и схема ступенчатого сжатия

Ступенчатое сжатие газа приводит к усложнению компрессорного хозяйства, и его применение вызвано следующими причинами.

Прежде всего, оно необходимо в случае, когда температура конца сжатия газа превышает допускаемую по условиям безопасности и нормальной смазки компрессора. При температуре, достигающей 180-200 °С, компрессорное масло начинает интенсивно разлагаться. На горячих поверхностях образуется нагар – слой продуктов окисления масла, лакообразная пленка из загустевшего масла. Нагар ухудшает охлаждение, мешает правильному действию поршневых колец (вплоть до заклинивания, поломок колец, задиров цилиндра) и клапанов, увеличивает силы трения, износ и аэродинамическое сопротивление клапанов. В воздушных компрессорах нагар в нагнетательных трубах может самовозгораться, что сопровождается повышением температуры. Раскаливание стенок воздухопровода нередко приводит к разрушительным взрывам, если при этом концентрация паров масла в воздухе достигает предела взрываемости. Поэтому степень повышения давления в одной ступени компрессора ограничивают, за исключением небольших компрессоров с благоприятными условиями охлаждения, значением $\varepsilon \approx 4$.

Ограничение температуры сжимаемого газа – не единственная причина применения ступенчатого сжатия, которое используется и в компрессорах без смазки цилиндров. Дело в том, что при расчленении процесса повышения давления газа на ступени с промежуточными охлаждениями работа изменения давления совершается при меньших удельных объемах, благодаря чему достигается экономия мощности. Вместе с тем увеличиваются потери в клапанах и межступенных коммуникациях, усложняются компрессор и вся компрессорная установка за счет охладителей и коммуникаций, так что для данного значения ε существует некоторое рентабельное число ступеней, зависящее от соотношения между стоимостью машины и затратами энергии на сжатие газа.

Чем меньше затраты на энергию (например, при систематически неполной загрузке компрессора) и чем больше расходы на промежуточное охлаждение, тем выгоднее компрессор с малым числом ступеней. На практике применяют следующие числа ступеней z [15]:

z.....	1	2	3	4	5 – 7
ε.....	≤ 7	5 – 30	13 – 150	35 – 400	150 – 1100

Принципиальная схема процесса представлена на рис. 5.1, *а*. Поток газа проходит как бы через ряд одноступенчатых машин *1*, *2*, *3*, *4*, включённых последовательно и объединённых внутренними коммуникациями с охладителями, влагомаслоотделителями и сепараторами газоконденсата. Для каждой ступени сохраняются обозначения одноступенчатого сжатия с указанием номера ступени в индексе соответствующей величины, например, $p_{нi}$, $p_{кi}$, $T_{нi}$, $T_{кi}$ и т. д.[15]

В связи с возможным отбором (или подводом) газа после некоторой ступени (на рисунке – $\overline{m}_{о}$ после второй ступени) различают массовые расходы газа до и после отбора.

Расходы газа на входе каждой ступени (индекс «н*i*») неодинаковые также вследствие внешних утечек $\overline{m}_{yi}$, перетеканий $\overline{m}_{ni}$ и конденсации высококипящих компонентов газа $\overline{m}_{вi}$.

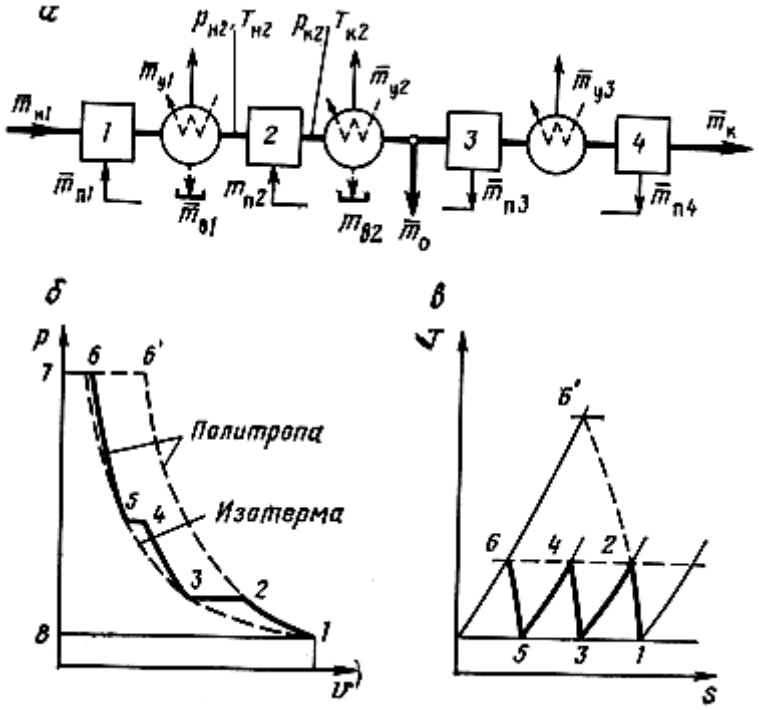


Рис. 5.1. К ступенчатому сжатию газа:

а – принципиальная схема: $\overline{m}_{y}$ – внешние утечки в атмосферу;
$\overline{m}_{п}$ – перетекания из полостей высокого давления;
$\overline{m}_{о}$ – отбор газа; *б, в* – графики рабочего процесса, построенные в различных координатах

[15] На схеме обозначены только для второй ступени (i = 2).

Например, для первой ступени:

$$\bar{m}_{\text{н1}} = \bar{m}_{\text{к}} + \bar{m}_{\text{о}} + \sum_1^4 (\bar{m}_{yi} + \bar{m}_{ei}).$$

Для второй ступени:

$$\bar{m}_{\text{н2}} = \bar{m}_{\text{н1}} - \bar{m}_{y1} - \bar{m}_{\text{в1}} + \bar{m}_{n1},$$

где $\bar{m}_{n1}$ – массовый расход газа, перетекающего из полостей высокого давления.

Аналогично составляют уравнения баланса масс для любой ступени. Эти уравнения можно также представить в объёмных величинах, если все члены поделить, например, на начальную плотность газа.

Гидравлические (точнее, газодинамические) потери в охладителях приводят к тому, что давление газа после каждого охладителя несколько меньше, чем давление перед охладителем. Эти потери оценивают с помощью коэффициентов $x_1 = \frac{p_{\text{н2}}}{p_{\text{к1}}}$; $x_2 = \frac{p_{\text{н3}}}{p_{\text{к2}}}$ и т. д., зависящих от конструкции охладителя и рассчитываемых по скоростям и плотностям газа. Ориентировочно x = 0,90 – 0,99. Степень повышения давления в z-ступенчатом компрессоре:

$$\varepsilon = \frac{p_{\text{к}}}{p_{\text{н}}} = \frac{p_{\text{к1}}}{p_{\text{н}}} \cdot \frac{p_{\text{н2}}}{p_{\text{к1}}} \cdot \frac{p_{\text{к2}}}{p_{\text{н2}}} \cdots \frac{p_{\text{к}}}{p_{\text{н}z}} = \varepsilon_1 \chi_1 \varepsilon_2 \chi_2 \cdots \varepsilon_z,$$

где ε_1, ε_2, ... – степени повышения давления в первой, второй и т. д. ступенях.

Распределение температур в многоступенчатом компрессоре зависит от степени охлаждения газа в охладителях. Оно называется полным, если температура газа на входе в последующую ступень такая же, как начальная температура предыдущей, т. е. $T_{\text{н}(i+1)} = T_{\text{н}i}$. Практически охлаждение не бывает полным. Предел возможного охлаждения газа определяется начальной температурой охлаждающего агента (воды, воздуха). В совершенных конструкциях охладителей разность температуры охлаждённого газа и начальной температуры воды равна всего лишь 5 °С, но чаще составляет 10-15 °С. Следовательно, для полного охлаждения необходимо, чтобы поступающая вода была холоднее газа, всасываемого первой ступенью, что бывает далеко не всегда.

§ 5.2. Мощность компрессора при ступенчатом сжатии

На рис. 5.1, *б*, *в* представлены диаграммы изменения состояния газа в трёхступенчатом компрессоре. Для упрощения принято, что охлаждение полное и изобарическое (охладители идеальные, без потерь). Суммарная работа изменения давления, затраченная в трёх ступенях, эквивалентна площади *1234 ... 81*. Выигрыш в работе по сравнению со сжатием без промежуточного охлаждения эквивалентен площади *234566'2*. Недоохлаждение газа вызывает в следующей

ступени увеличение работы (примерно 0,3 % на каждый градус). Поэтому для повышения экономичности компрессора стремятся к возможно более полному охлаждению газа в промежуточных охладителях.

Указанный выигрыш в работе зависит также от распределения давления по ступеням компрессора. Можно распределить давления так, что мощность, потребляемая компрессором, станет минимальной.

Индикаторная мощность многоступенчатого компрессора слагается из индикаторных мощностей всех ступеней:

$$\sum N_{\text{инд}} = N_{\text{инд.1}} + N_{\text{инд.1}} + \ldots,$$

причём $N_{\text{инд.1}}$, $N_{\text{инд.2}}$ ... определяются по методам, изложенным в гл. 4. Обозначим через $\eta_{\text{ад.1}}$, $\eta_{\text{ад.2}}$ ... адиабатические индикаторные КПД в ступенях. При сжатии идеального газа

$$\sum N_{\text{инд}} = \frac{k}{k-1} R \left[\frac{\overline{m_{\text{н1}}} T_{\text{н1}}}{\eta_{\text{ад.1}}} \left(\varepsilon_1^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \right] + \frac{\overline{m_{\text{н2}}} T_{\text{н2}}}{\eta_{\text{ад.2}}} \left(\varepsilon_2^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) + \\ + \frac{\overline{m_{\text{н3}}} T_{\text{н3}}}{\eta_{\text{ад.3}}} \left(\varepsilon_3^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right).$$

Введём обозначения:

$$\psi_2 = \frac{\overline{m_{\text{н2}}}}{\overline{m_{\text{н1}}}} \cdot \frac{T_{\text{н2}}}{T_{\text{н1}}} \cdot \frac{\eta_{\text{ад.1}}}{\eta_{\text{ад.2}}}; \quad \psi_3 = \frac{\overline{m_{\text{н3}}}}{\overline{m_{\text{н1}}}} \cdot \frac{T_{\text{н3}}}{T_{\text{н1}}} \cdot \frac{\eta_{\text{ад.1}}}{\eta_{\text{ад.3}}} \ .$$

Учитывая, что $\varepsilon = \varepsilon_1 x_1 \varepsilon_2 x_2 \varepsilon_3$, выделим из выражения индикаторной мощности следующую функцию:

$$F(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = \left(\varepsilon_1^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) + \psi_2 \left(\varepsilon_1^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) + \psi_3 \left[\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1 x_1 \varepsilon_2 x_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right].$$

Из условий $\frac{\partial F}{\partial \varepsilon_1} = 0$, $\frac{\partial F}{\partial \varepsilon_2} = 0$ при их совместном решении найдём оптимальные степени повышения давления в ступенях:

$$\varepsilon_1 = \sqrt[3]{\frac{\varepsilon}{x_1 x_2} (\psi_2 \psi_3)^{\frac{k}{k-1}}} \varepsilon_2 = \varepsilon_1 \psi_2^{\frac{k}{k-1}} \varepsilon_3 = \varepsilon_1 \psi_3^{\frac{k}{k-1}}. \qquad (5.1)$$

Полученные формулы легко обобщаются для любого числа ступеней z. При одинаковых адиабатических КПД, полном охлаждении и постоянстве расходов газа во всех ступенях получим условие:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \cdots = \varepsilon_z = \sqrt[z]{\frac{\varepsilon}{x_1 x_2 \cdots x_{z-1}}}, \qquad (5.2)$$

т. е. в этом случае оптимальные степени повышения давления в ступенях одинаковые. При этом индикаторную мощность можно определить так:

$$\sum N_{\text{инд}} = z\frac{p_{\text{н}}\overline{V}}{\eta_{\text{ад.}u}}\frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{\varepsilon}{x_1 x_2 \cdots x_{z-1}}\right)^{\frac{k-1}{zk}} - 1\right]. \qquad (5.3)$$

По многим причинам распределение давлений (в расчётном режиме) отличается от оптимального, что вызывает некоторое увеличение потребляемой мощности. Однако даже заметное отклонение от оптимальных значений приводит к сравнительно небольшому перерасходу мощности. Например, при ε = 51, $x_1 = x_2 = 0{,}97$, $\Psi_1 = \Psi_2 = 1{,}10$, $k/(k-1) = 3{,}50$ оптимальные значения $\varepsilon_1 = 4{,}72$, $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 3{,}39$. Если принять все степени повышения давления одинаковыми и равными $\sqrt[3]{\frac{51}{0{,}97^2}} = 3{,}79$, то перерасход индикаторной мощности составляет всего 1,4 %.

Экономичность работы многоступенчатого компрессора оценивают двумя способами – по изотермическому КПД ($\eta_{\text{из}} = N_{\text{из}}/N$) или по удельному расходу мощности.

Изотермическую мощность принято определять из условия, что во всех ступенях, кроме первой, рабочий процесс проходит при температуре поступающей охлаждающей воды. В ступенях высокого давления учитывают отклонение объёма реального газа от идеального.

ГОСТ 18985–73 на воздушные поршневые стационарные компрессоры с конечным давлением 0,88 МПа ограничивает следующий удельный расход мощности при стандартных условиях испытания:

Объёмный расход газа на входе компрессора, м³/мин	3	6	10	20	30	50	100
Удельный расход мощности, кВт·мин/м³	6,5/6,2	14	5,7	5,6	5,3	5,4	

§ 5.3. Промежуточные давления

Оптимальное распределение давлений можно получить для заданной степени повышения давления выбором соответствующих рабочих объёмов в ступенях. Если же имеется компрессор с данными размерами цилиндров, то промежуточные давления устанавливаются при работе компрессора сами собой в зависимости от начального и конечного давлений.

Для установившегося режима вследствие постоянства количества газа, проходящего через все ступени (если не учитывать конденсацию газа между ступенями и разницу в утечках), справедливо приближённое равенство

$$\frac{p_{н1}\overline{V}_{н1}}{T_{н1}Z_{н1}} = \frac{p_{н2}\overline{V}_{н2}}{T_{н2}Z_{н2}} = \cdots = \frac{p_{нz}V_{нz}}{T_{нz}Z_{нz}}\ ^{16}. \qquad (5.4)$$

Имея в виду, что $\overline{V}_{нi} = \overline{V}_{si}\lambda_i$, и учитывая только различие в объёмных коэффициентах отдельных ступеней, из предыдущего выражения получим:

$$\left.\begin{aligned} \frac{p_{н2}}{p_{н1}} &= \frac{\overline{V}_{s,1}}{\overline{V}_{s,2}} \cdot \frac{\lambda_{о1}}{\lambda_{о1}} \cdot \frac{T_{н2}Z_{н2}}{T_{н1}Z_{н1}} \\ \frac{p_{н3}}{p_{н2}} &= \frac{\overline{V}_{s,2}}{\overline{V}_{s,3}} \cdot \frac{\lambda_{о2}}{\lambda_{о3}} \cdot \frac{T_{н3}Z_{н3}}{T_{н2}Z_{н2}} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \end{aligned}\right\}$$

Отношения начальных давлений в двух соседних ступенях зависят только от отношений их рабочих объёмов, объёмных коэффициентов, начальных температур и коэффициентов сжимаемости.

Если не учитывать влияние мёртвых пространств (через λ_{oi}) и различия в начальных температурах, то для идеального газа при ориентировочном расчёте можно считать:

$$\frac{p_{н2}}{p_{н1}} = \frac{\overline{V}_{s.1}}{\overline{V}_{s.2}}; \frac{p_{н3}}{p_{н2}} = \frac{\overline{V}_{s.2}}{\overline{V}_{s.3}} \quad \text{и т. д.},$$

т. е. при заданном начальном давлении все промежуточные давления зависят только от соотношения рабочих объёмов в ступенях компрессора и поэтому остаются неизменными при всех частотах вращения вала и конечных давлениях.

В действительности на распределение промежуточных давлений влияют многие факторы, главным из которых является соотношение объёмных коэффициентов (при отсутствии промежуточного отбора газа).

Если компрессор работает при конечном давлении, которое меньше номинального, то это сказывается главным образом на последней (z-й) ступени, в которой уменьшается степень повышения давления. Как следствие этого, возрастают объёмный коэффициент λ_{oz} и объёмный расход газа на входе в z-ю ступень. Новому соотношению $\overline{V}_{нz}$ и $\overline{V}_{н(z-1)}$ соответствует пониженное давление в коммуникации. В свою очередь, хоть и в меньшей мере, чем в z-й ступени, это приводит к повышению объёмного коэффициента в предпоследней ступени и к уменьшению начального давления этой ступени и конечного давления предыдущей. Таким образом, снижение давления на выходе компрессора вызывает падение всех промежуточных давлений и перераспределение степеней повышения давления, что заметнее проявляется в последней ступени. Поскольку

[16] В числителе – для компрессоров типа ВУ с воздушным охлаждением, остальные цифры – для компрессоров с водяным охлаждением.

степень повышения давления в первой ступени ε_1 всё же снижается, то объёмный расход газа на входе компрессора при пониженном конечном давлении возрастает, причём с увеличением числа ступеней этот эффект становится менее заметным. Мощность компрессора при этом падает, главным образом за счёт разгрузки последних ступеней. Повышение давления на выходе сверх номинального по соображениям безопасности не допускается и ограничивается предохранительным клапаном.

Начальное давление влияет на промежуточные непосредственно. При отсутствии мёртвых пространств все промежуточные давления изменились бы пропорционально начальному. В действительности степени повышения давления в низших ступенях не остаются прежними, а принимают новые значения, причём изменение более заметно в последних ступенях.

Процесс ступенчатого сжатия газа по характеру изменения его состояния приближается к одноступенчатому изотермическому. Поэтому, как и в случае одноступенчатого компрессора, работающего в области $\varepsilon > \varepsilon_э$ (см. § 4, 4.4), с падением начального давления (при неизменном конечном давлении) мощность компрессора падает. Однако в связи с увеличением ε конечные температуры газа во всех ступенях возрастают, особенно в последней ступени, и могут достигнуть опасного предела. Поэтому снижение давления на входе многоступенчатого компрессора может производиться только в определённых границах.

Увеличение начального давления по сравнению с номинальным в этом смысле безопасно, но оно ограничивается, во-первых, располагаемой мощностью привода, а во-вторых, прочностью деталей компрессора.

На рис. 5.2 показано изменение указанных величин при повышении давления на приёме трёхступенчатого компрессора 8ГК–3. Объёмная подача изменяется линейно, поскольку плотность всасываемого газа пропорциональна начальному давлению, а влияние объёмного коэффициента первой ступени не ощущается. Также в линейной зависимости возрастают мощности и усилия в поршневых штоках первой и второй ступеней. В третьей ступени с увеличением начального давления при неизменном значении конечного мощность изменяется так же, как в одноступенчатом компрессоре: сначала возрастает, а затем падает. Усилие в поршневом штоке третьей ступени уменьшается. Суммарная мощность возрастает, но вследствие увеличения подачи удельный расход мощности на сжатие газа сокращается.

Поскольку детали компрессора, в частности поршневые штоки, рассчитываются на передачу определённых усилий, то использование мощности ком-

прессора при повышенном давлении оказывается возможным, если только заменить цилиндры для снижения объёма всасываемого газа и усилий в штоках.

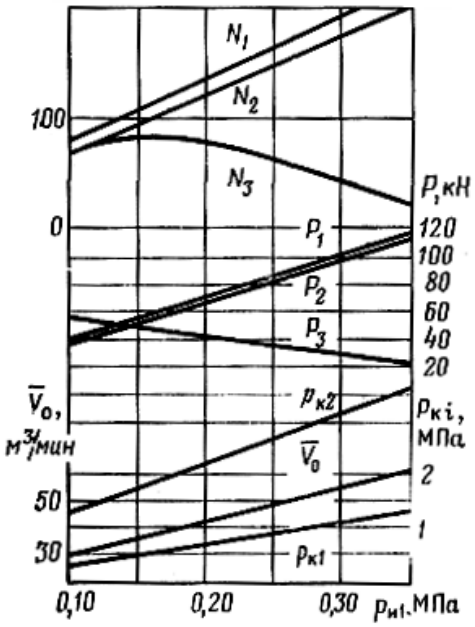


Рис. 5.2. График изменения рабочих показателей трёхступенчатого компрессора при повышении начального давления:

$N_1 – N_3$ – индикаторная мощность по ступеням;

$\overline{V}_0$ – подача;

$p_{к1}$, $p_{к2}$ – конечное давление в ступенях; $P_1 – P_3$ – усилия в поршневом штоке

Изменение промежуточных давлений при постоянных условиях всасывания в первую ступень, неизменном конечном давлении и неизменной температуре охлаждающей воды служит признаком неисправности компрессора.

Уравнение баланса массовых расходов (5.4) позволяет судить о влиянии неисправностей на промежуточные давления. При повышении сопротивления всасывающей линии, вызванном загрязнением фильтра, снижается начальное давление первой ступени и все промежуточные. Повышение сопротивления в промежуточных коммуникациях увеличивает давление газа только перед сопротивлением, а давление при входе в следующую ступень практически не изменяется.

С ухудшением охлаждения в промежуточном холодильнике вследствие увеличения объёма газа, подаваемого к следующей ступени, промежуточное давление повышается. Неплотности клапанов и поршневых колец в первой ступени уменьшают объём всасываемого газа, в результате чего все промежуточные давления снижаются.

Если же неисправность возникает в другой ступени и объём газа, всасываемого этой ступенью, уменьшается, то это приводит к повышению плотности газа и давления перед ступенью.

§ 5.4. Расчёт основных размеров ступеней компрессора

Расчёт основных размеров ступеней компрессора состоит в определении хода поршней, их площадей и диаметров. В основе расчёта лежит формула подачи, которая на основании сведений, приведенных в § 4.2, может быть представлена в виде:

$$\overline{V}_{\text{н}} = \overline{V}_{s,1}\left[1 - a\left(\varepsilon^{1/n_p} - 1\right)\right]\lambda_{\text{т}}\lambda_{\text{г}} \qquad (5.5)$$

откуда следует для секундного рабочего объёма цилиндра

$$\overline{V}_{s,1} = \frac{\overline{V}_{\text{н}}}{[1-a(\varepsilon^{1/n_p}-1)]\lambda_{\text{т}}\lambda_{\text{г}}} \tag{5.6}$$

или, переходя к геометрическим размерам:

$$\overline{V}_{s,1} = \frac{\overline{V}_{\text{н}}}{[1-a(\varepsilon^{1/n_p}-1)]\lambda_{\text{т}}\lambda_{\text{г}}n}, \tag{5.7}$$

где n – число оборотов вала компрессора в мин; остальные обозначения – см. гл. 4.

Для расчёта рабочего объёма $V_{s,1}$, м^3, цилиндра ступени необходимо иметь числовые значения $\overline{V}_{\text{н}}$, a, ε, $n_{\text{р}}$, n, $\lambda_{\text{т}}$, $\lambda_{\text{г}}$.

Подача $\overline{V}_{\text{н}}$ при условиях всасывания должна быть задана; относительный объём мёртвого пространства a, показатель политропы расширения $n_{\text{р}}$ и коэффициенты $\lambda_{\text{т}}$ и $\lambda_{\text{г}}$ задаются, как указано в § 4.2 и 4.4.

Частоту вращения принимают в зависимости от подачи компрессора. Компрессоры малой подачи соединяются с двигателем непосредственно эластичной муфтой, и для них n = 730 об/мин. Компрессоры средней подачи приводятся в движение также от асинхронных электродвигателей, но через клиноремённую передачу, и в этом случае n = 400 – 500 об/мин. Крупные компрессоры приводятся в движение синхронными двигателями с n = 125 и 167 мин$^{-1}$.

Степень повышения давления ступени компрессора определяется по данным § 5.1. При принятом числе ступеней z и заданных начальном и конечном давлениях p_1 и $p_{\text{к}}$ степень сжатия ступени определяется соотношением

$$\varepsilon = \sqrt[z]{\frac{\varepsilon_{\text{к}}}{\lambda_{\varepsilon}^{z-1}}}, \tag{5.8}$$

где $\varepsilon_{\text{к}} = p_{\text{к}}/p_1$; λ_{ε} – коэффициент, учитывающий потери давления в промежуточных охладителях. В ориентировочных расчётах можно принимать $\lambda_{\varepsilon} \approx 0{,}93$ одинаковым для всех ступеней.

Рабочий объём цилиндра определяется площадью поршня $\Omega_{\text{п}}$ и его ходом S:

$$V_{\text{р}} = S\Omega_{\text{п}}. \tag{5.9}$$

Для ступени компрессора, образованной поршнем одного диаметра D_1:

$$V_p = 0{,}785 D_1^2 S. \tag{5.10}$$

Для ступени, образованной дифференциальным поршнем с диаметрами D_1 и D_2:

$$V_p = 0{,}785(D_1^2 - D_2^2)S. \tag{5.11}$$

Из уравнений (5.10) и (5.11) можно определить ход поршня и диаметры, приняв отношение S/D_1, рекомендуемое практикой. Для вертикальных бес-

крейцкопфных компрессоров S/D_1 = 0,5, для горизонтальных крейцкопфных компрессоров S/D_1 = 0,6 – 0,9.

Определение размеров цилиндров отдельных ступеней многоступенчатых компрессоров производится с учётом последовательного уменьшения объёма сжимаемого газа.

Пример 5.1. Определить основные размеры и мощность горизонтального компрессора с дифференциальным поршнем, если известно, что $\overline{V}_1$ = 10 м^3/мин; p_1 = 0,1 МПа; $p_к$ = 0,9 МПа.

Охлаждение происходит в промежуточном охладителе до начальной температуры t = 25 °С.

Решение. Принимаем число ступеней z = 2. Газовым сопротивлением при входе в цилиндр пренебрегаем.

Согласно формуле (5.8):

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{0{,}9}{0{,}1 \cdot 0{,}93}} = 3{,}1.$$

Промежуточное давление за первой ступенью

$$p_{пр} = \varepsilon p_1 = 3{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}31 \text{ МПа}.$$

Рабочий объём цилиндра первой ступени по формуле (5.7) при a = 0,03; $n_р$ = 1,2; $\lambda_т$ = 0,92; $\lambda_г$ = 0,97; n = 500 об/мин:

$$\acute{V}_p = \frac{10}{[1 - 0{,}03(3{,}1^{0{,}833} - 1)]0{,}92 \cdot 0{,}97 \cdot 500} 0{,}0235 \text{ м}^3,$$

поэтому 0,785 $D_1^2 S$ = 0,0235. Принимаем S/D_1 = 0,7. Для определения D_1 имеем уравнение 0,0235 = 0,55D_1^3, откуда следует: D_1 = 350 мм; S = 250 мм.

При охлаждении в промежуточном охладителе до начальной температуры

$$\ddot{V}_p = \dot{V}_p \frac{p_1}{p_{пр}\lambda_\varepsilon} = 0{,}0235 \frac{0{,}1}{0{,}31 \cdot 0{,}93} = 0{,}0082 \text{ м}^3.$$

Из уравнения (5.11) получим:

$$D_2 = \sqrt{D_1^2 - \frac{\ddot{V}_p}{0{,}785S}} = \sqrt{0{,}35^2 - \frac{0{,}0082}{0{,}785 \cdot 0{,}250}} = 0{,}285 \text{ м}; \quad D_2 = 285 \text{ мм}.$$

Глава 6. РОТОРНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

§ 6.1. Общие сведения

Роторные компрессоры по устройству и действию родственны роторным насосам. Эти компрессоры имеют более высокий КПД, нежели центробежные, а в сравнении с поршневыми обладают достоинствами динамических машин: малой массой, компактностью, простотой конструкции и уравновешенностью благодаря отсутствию кривошипно-шатунного механизма, равномерностью подачи газа. Роторные компрессоры удобны в обслуживании, их легко перевести на автоматическое или дистанционное управление. Все эти качества особенно важны для использования роторных компрессоров в передвижных компрессорных станциях (лёгкое основание, ограниченное пространство, непостоянное обслуживание).

Некоторые виды роторных компрессоров могут подавать чистый газ без примесей масла, другие – газожидкостную смесь; они могут быть выполнены в виде вакуумных насосов, а также детандеров (расширителей) для систем подготовки нефтяного газа на промыслах.

По устройству роторные компрессоры подразделяют на следующие группы:

1) одновальные – пластинчатые; жидкостно-кольцевые; трохоидные; с катящимся ротором;

2) двухвальные – коловратные (типа Рутс); винтовые.

Все роторные компрессоры не имеют всасывающих клапанов, а нагнетательные клапаны устанавливаются лишь в компрессорах с катящимся ротором и в некоторых пластинчатых. Для малых машин и вакуумных насосов, а при низкой степени повышения давления и для крупных компрессоров используют воздушное охлаждение. В других случаях цилиндры охлаждают водой. Применяют также впрыскивание масла и воды в рабочую полость. При этом достигается такое охлаждение газа, что отпадает необходимость в промежуточном охладителе. Масло и вода, впрыскиваемые в рабочие камеры, выполняют также функции уплотнения и способствуют уменьшению износа трущихся рабочих органов (пластин, винтов и др.).

§ 6.2. Пластинчатые компрессоры

Пластинчатый компрессор состоит из цилиндра, в котором вращается эксцентрично расположенный ротор с пластинами, уложенными в пазы. В отличие от шиберного насоса объём камер (ячеек), разделённых пластинами, при вращении ротора изменяется от максимального значения до минимального, вследствие чего газ сжимается постепенно с момента отсечки камеры от всасывающего канала в точке *a* (рис. 6.1) до момента, когда передняя пластина камеры достигает кромки выхлопного окна *b*.

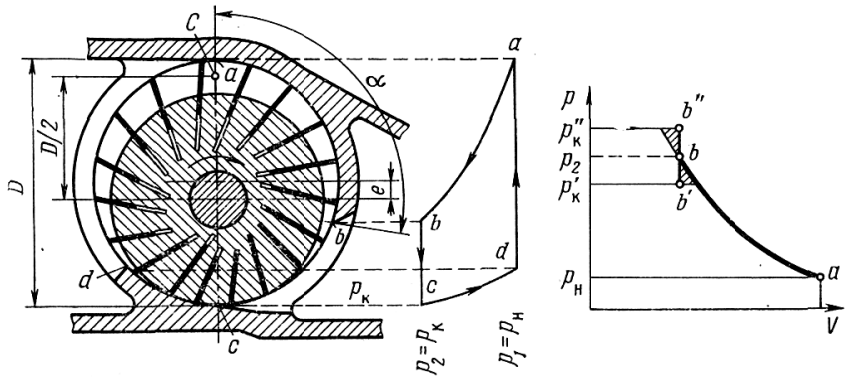


Рис. 6.1. Схема пластинчатого компрессора и индикаторные диаграммы:
abcd – нормальная ($p_2 = p_к$): *abb*$''$ – линия сжатия с «недожатием» газа ($p_2 <$); *abb*$'$ – то же, с «пережатием» газа ($p_2 >$)

После мгновенного выравнивания давление в камере сохраняется постоянным, при этом газ выталкивается в нагнетательный канал до тех пор, пока передняя пластина камеры не достигает точки, в которой ротор почти касается цилиндра (точка *c*). При движении камеры в области от *c* до *d* расширяется остаток газа, заключённый в «мёртвом» пространстве (в зазоре между ротором и цилиндром в его нижней части).

Диаграмма изменения давления, изображенная справа на рис. 6.1, напоминает индикаторную диаграмму поршневого компрессора. Но это только в том случае, если давление сжатия p_2, зависящее от степени сжатия камеры на участке *ab*, равно давлению в нагнетательном патрубке $p_к$ (нормальная диаграмма). В противных случаях индикаторные диаграммы изменяются по линиям *bb′* или *bb″*. Выравнивание давления p_2 в камере и конечного давления $p_к$ происходит скачком в момент соединения рабочей камеры с областью нагнетания. При этом непроизводительно затрачивается дополнительная работа (заштрихованные площади).

Отсюда следует, что при наиболее выгодных условиях работы пластинчатых компрессоров давление в нагнетательном патрубке должно быть равно давлению сжатия. Однако и при значительном различии давлений указанные потери не превышают потерь в клапанах компрессоров с возвратно – поступательным движением поршней.

Число пластин (от 2 до 30) зависит от размеров машины, перепада давления в компрессоре, от материала пластин, способа смазки и охлаждения. Чем больше пластин, тем меньше перепад давления между соседними камерами. При этом уменьшаются перетекания газа и снижаются напряжения изгиба в пластинах, но одновременно усиливается износ цилиндра. Материал пластин – сталь, композиции на основе синтетических и углеграфитов, армированный тефлон. Пластины из малопрочных материалов толще, чем стальные, и чтобы не снижался рабочий объём компрессора, устанавливают меньшее их число, хотя это и приводит к увеличению перепада давления между соседними камерами. При меньшем числе пластин требуется более обильная смазка цилиндра для снижения перетекания газа. При впрыскивании масла число пластин снижают во избежание увеличенных аэродинамических потерь. Наклонное расположение пластин в сторону вращения вала способствует снижению трения пластин в пазах и опасности их защемления.

Частоту вращения ротора ограничивает допускаемая окружная скорость конца пластины, равная примерно 13 м/с для стальных и 8 – 18 м/с – для пластмассовых и графитовых пластин. Превышение частоты вращения сверх номинальной (паспортной) приводит к быстрому износу пластин.

Для уменьшения трения в цилиндр вставляют два чугунных или бронзовых беговых кольца. Пластины прижимаются к беговым кольцам и скользят по их внутренней поверхности. Вследствие вращения колец относительная скорость между ними и пластинами небольшая, благодаря чему взаимный износ колец и пластин меньше, нежели трущейся пары пластина – цилиндр в отсутствие колец. При этом окружную скорость можно увеличить примерно до 18 м/с.

У машин с небольшой частотой вращения ротора собственной инерции для уплотнения пластин не хватает, и поэтому для прижатия их к цилиндру используют спиральные пружины.

В одноступенчатом компрессоре степень повышения давления обычно не превышает 5. Более высокие значения ε (до 16) получают в двухступенчатых машинах с промежуточным охлаждением. Обычно их устанавливают на общей оси с электродвигателем, реже вторую ступень размещают над первой, связывая роторы обеих ступеней парой цилиндрических шестерён.

Рабочий объём пластинчатого компрессора при числе пластин $z \geq 12$ можно определить приближённым методом (см. раздел «Роторно-поступательные насосы»)[17]. Так как линейная скорость точки *c*, отстоящей от оси вращения на *D*/2 (см. рис. 6.1), равна πDn, то секундный рабочий объём

$$\overline{V}_p = 2\pi\chi Deln,$$

где χ – коэффициент стеснения рабочего объёма пластинами $\left(\chi = 1 - \frac{sz}{\pi D}\right)$; *D*, *l* – диаметр и длина ротора; *e* – эксцентриситет; *s*, *z* – толщина и число пластин.

Объёмный расход газа на входе компрессора

$$\overline{V}_{\text{н}} = \lambda\overline{V}_p,$$

где λ – коэффициент, которым учитывают те же факторы, что и в поршневой машине, – подогрев газа при всасывании, перетекания газа через уплотнения, а также влияние мёртвого пространства. Этот коэффициент можно определить по опытной формуле

$$\lambda = 1{,}00 - (0{,}05 - 0{,}10)\varepsilon,$$

где 0,05 – коэффициент для крупных машин; 0,10 – для малых[18].

Внутреннюю степень повышения давления можно определить из уравнения политропы:

$$\frac{p_2}{p_{\text{н}}} = \left(\frac{V_{\text{н}}}{V_2}\right)^m.$$

Степень сжатия $V_{\text{н}}/V_2$ зависит от угла сжатия α (см. рис. 6.1). Можно показать, что $\frac{V_{\text{н}}}{V_2} \approx \frac{1}{2}(1 + \cos\alpha)$. Поэтому давление в конце сжатия

$$p_2 = p_{\text{н}}\left(\frac{2}{1 + \cos\alpha}\right)^m,$$

где *m* – показатель политропы, при сжатии воздуха равный 1,5 – 1,6 (подвод тепла за счёт трения пластин). Если вместо p_2 и α подставлять текущие значения соответствующих величин, то последнюю формулу можно использовать для построения теоретической линии сжатия.

При расчёте мощности компрессора с заданным отношением $p_{\text{к}}/p_{\text{н}}$ можно использовать статистические данные о внутреннем изотермическом или адиабатическом и механическом КПД. Эти величины изменяются в довольно широких пределах в зависимости от отношения давлений.

---

[17] Точный метод геометрического расчёта пластинчатого компрессора при любом числе пластин с учётом их наклона см. [5, с. 214].

[18] Классификация роторных и поршневых машин по объёмному расходу газа на входе одинаковая.

Вакуумные насосы рассчитаны на объёмный расход газа на входе 0,01 – 100 м^3/мин (0,6 – 6000 м^3/ч), а компрессоры – на 0,1 – 60 м^3/мин (6 – 3600 м^3/ч).

§ 6.3. Жидкостно-кольцевые компрессоры

Жидкостно-кольцевые компрессоры (рис. 6.2, *а*) по образованию рабочей полости родственны пластинчатым, но серповидное пространство в них ограничено жидкостным кольцом, формирующимся внутри цилиндра при вращении в нём рабочего колеса с радиальными или загнутыми вперёд лопастями. Всасывающие и нагнетательные окна расположены в торцовых крышках, закрывающих цилиндр с двух сторон[19].

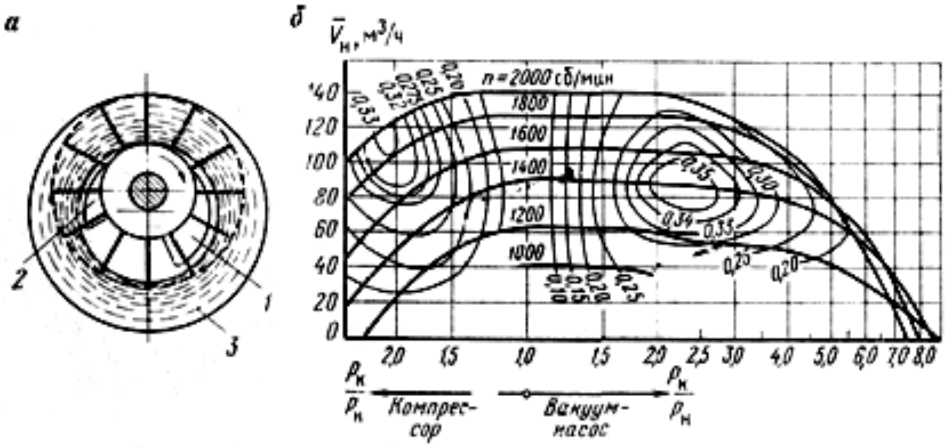


Рис. 6.2. Схема (*а*) и характеристика (*б*) жидкостно-кольцевого компрессора:
1 – отверстие всасывания; *2* – отверстие нагнетания; *3* – жидкостное кольцо

Установленная степень повышения давления, как и в пластинчатом компрессоре, определяется положением всасывающего и нагнетательного окон.

Обычно в начале сжатия газа в ячейку подаётся охлаждённая жидкость взамен нагретой, выбрасываемой вместе с газом через нагнетательное окно.

Циркуляция жидкости обеспечивает столь интенсивный отвод тепла от сжимаемого газа, а также тепла, генерируемого при вихревом её движении между лопастями, что процесс сжатия протекает почти изотермически.

Достоинства жидкостно-кольцевых компрессоров: простота конструкции, отсутствие масла и трущихся элементов в рабочей полости машины, хорошее уплотнение зазоров жидкостью, низкий уровень шума и равномерная, практически без пульсаций, подача газа.

[19] Как в открытовихревом насосе. В пластинчатом компрессоре подвод и отвод газа – по периферии, как в закрытовихревом насосе.

Эти достоинства обеспечивают высокую надёжность компрессоров в самых тяжёлых условиях эксплуатации при минимальных требованиях к обслуживанию; возможность сжатия токсичных, взрывоопасных, лёгкоразлагающихся, полимеризующихся и воспламеняющихся газов, паров и газожидкостных смесей, в том числе агрессивных и загрязнённых механическими примесями; возможность использования в качестве вакуумных насосов; перспективность применения в качестве химических реакторов для среды жидкость – газ (благодаря интенсивному перемешиванию двух фаз на границе контакта).

Жидкостно-кольцевые компрессоры в одноступенчатом исполнении рассчитаны на давление до 0,2 МПа, а при трёх ступенях – до 2 МПа. Объёмный расход газа на входе компрессоров составляет до 10 тыс. $м^3$/ч.

Предельный вакуум, достигаемый водокольцевыми вакуумными насосами, определяется давлением насыщенного пара при температуре водяного кольца (95 %-ный вакуум в одноступенчатых компрессорах, 97 %-ный в двухступенчатых). Более глубокий вакуум достигается при замене воды жидкостью с низким давлением паров – соляным раствором, маслом или серной кислотой.

Частота вращения ротора – от 4 (крупные компрессоры) до 60 об/с (небольшие машины). При малой частоте вращения жидкостное кольцо разрушается.

Рабочий объём рассматриваемого типа машин можно определить по соответствующей формуле для пластинчатого компрессора, если диаметр цилиндра заменить внутренним диаметром жидкостного кольца. Указанный способ расчёта справедлив при условии, что внутренняя поверхность кольца, концентричная стенке корпуса, касается поверхности ступицы (это условие обеспечивает отсутствие мёртвого пространства), а всасывающее окно расположено так, что межлопастная ячейка отсекается от него при максимальном её объёме (как и у пластинчатого компрессора). Действительная форма внутренней поверхности жидкостного кольца сильно отличается от указанной идеальной, особенно вблизи нагнетательного окна. Помимо этого, вследствие завихрений вращающейся жидкости трудно определить границу между жидкостью и газом. Неточность расчёта рабочего объёма компенсируется коэффициентом объёмного расхода λ, который так же, как и у поршневых машин, зависит в большей степени от ε и от объёма мёртвого пространства, остающегося между ступицей рабочего колеса и жидкостным кольцом в месте минимального расстояния между ними. В компрессорах со средним значением $\overline{V}_{н}$ этот коэффициент находится в пределах 0,60 – 0,70.

В компрессорах большое, а в вакуумных насосах решающее влияние на коэффициент λ оказывает зазор между рабочим колесом и крышками цилиндра (из-за перетекания сжатого газа). Зазор в 0,1 - 0,2 мм зависит от точности изготовления.

Жидкостно кольцевые компрессоры имеют сравнительно низкий изотермический КПД. В лучших образцах максимальное его значение равно 0,55 – 0,60. Из универсальной характеристики компрессора с линиями постоянных изотермических КПД (см. рис. 6.2, *б*) видно, что при работе в режиме компрессора оптимальная частота вращения значительно выше, нежели в режиме вакуумного насоса. Оптимальная окружная скорость концов лопастей равна 16,5 – 20 м/с для компрессоров и 12,5 – 15,5 м/с для вакуумных насосов (при работе на воде). Как для компрессора, так и для вакуумного насоса оптимум степени повышения давления $\varepsilon \approx 2$.

§ 6.4. Другие одновальные компрессоры

Трохоидный компрессор построен по схеме, которая в последние годы всё шире используется как в компрессорах, так и в двигателях внутреннего сгорания. Основными органами служат две детали: охватывающая и охватываемая. Цилиндрическая поверхность одной из них выполняется по трохоиде, а другой – по огибающей семейства трохоид.

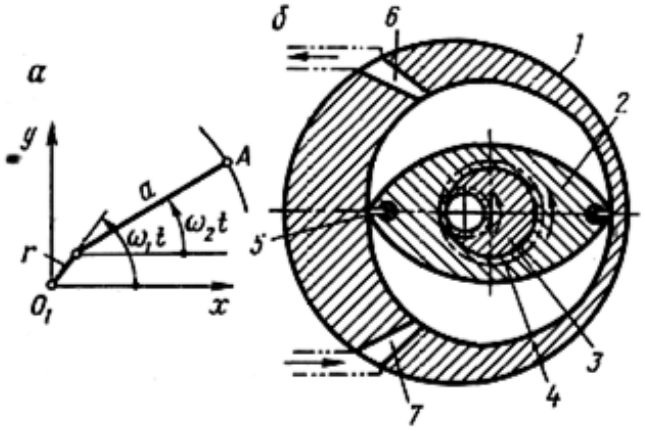


Рис. 6.3. Схема трохоидного компрессора:

а – образование трохоиды; *б* – элементы машины: *1* – корпус, *2* – ротор, *3* – эксцентриковый вал, *4* – зубчатая передача, *5* – радиальное уплотнение, *6, 7* – газообменные каналы

Трохоида – кривая, описываемая точкой *A* (рис. 6.3, *а*). Звено длиной *r* (эксцентриситет) вращается с угловой скоростью ω_1, а звено длиной *a* (произ-

водящий радиус) – со скоростью ω_2. Передаточное отношение $z = \omega_1/\omega_2$; параметр формы $k = a/r$. Кривая при $z > 0$ называется эпитрохоидой, при $z < 0$ – гипотрохоидой. Эпи- и гипотрохоиды с заострениями (при $k = |z|$) называются циклоидами, а при $k > |z|$ – укороченными трохоидами.

При относительном вращении двух деталей между профилированными поверхностями образуются камеры переменного объёма, в которых осуществляется рабочий процесс.

Наибольшее применение нашла геометрическая схема компрессора с эпитрохоидной расточкой в неподвижном корпусе и двухвершинным ротором, совершающим планетарное вращение (рис. 6.3, *б*). Это вращение обеспечивается передачей с внутренним зацеплением. Воздух всасывается и нагнетается через газообменные каналы. За один оборот ротора каждая его грань совершает один рабочий цикл, т. е. такой компрессор двукратного действия.

Трохоидные машины долгое время не реализовались из-за отсутствия эффективного уплотнения рабочих камер. В последние годы эта проблема решена с помощью контактной системы уплотнений. Применение последних снижает требования к макрогеометрии и точности изготовлення профилированных поверхностей, что упрощает изготовление трохоидного компрессора по сравнению с другими роторными машинами.

Изотермический КПД более высокий, чем у других роторных компрессоров, и приближается к уровню поршневых, а по ресурсу в условиях запылённости воздуха превышают последние. Небольшой относительный остаточный объём (менее 0,01) позволяет сжимать воздух в одной ступени до 0,8 – 0,9 МПа при $\overline{V}_{\text{н}}$ до1 м^3/мин (у охлаждаемых до12 м^3/мин) и до 0,4 МПа при $\overline{V}_{\text{н}}$ до 40 – 50 м^3/мин.

Трохоидные компрессоры, выпускаемые в нашей стране, предназначаются для пневмосистем железнодорожного и автомобильного транспортов. За рубежом их применяют в различных областях, в том числе в вакуумной и холодильной технике.

Компрессоры с катящимся ротором удобны при работе с переменным ε, поскольку конечное давление сжатия, как и в поршневых машинах, зависит от противодавления в нагнетательном трубопроводе. Их изготовляют при $\overline{V}_{\text{н}}$ до 1000 м^3/ч и применяют в вакуумных системах и в холодильных установках.

§ 6.5. Коловратный компрессор

Коловратный компрессор типа Рутс (рис. 6.4), применяемый при невысоких давлениях, действует аналогично коловратному насосу, т. е. порция газа переносится между зубьями ротора при постоянном объёме, а сжатие газа происходит в момент, когда рабочая камера сообщается с нагнетательной стороной машины.

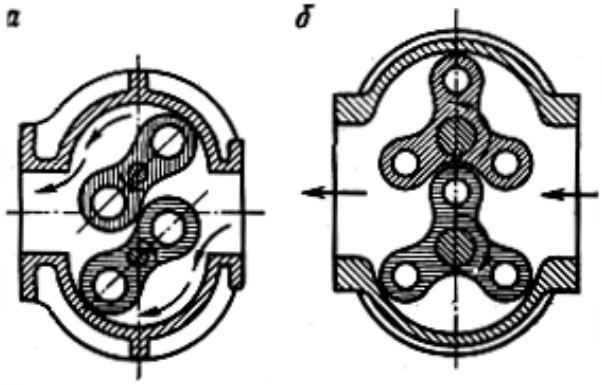


Рис. 6.4. Схемы коловратных нагнетателей:
а – двухлопастного; *б* – трёхлопастного

Вследствие малого числа зубьев передача равномерного вращения от одного ротора к другому становится затруднительной. Вследствие малого числа зубьев передача равномерного вращения от одного ротора к другому становится затруднительной. Передача осуществляется зубчатой парой, расположенной вне компрессора, а между роторами сохраняется зазор в 0,1 – 0,2 мм, что позволяет избежать их износа и необходимости вводить в компрессор смазку. Это – важное достоинство таких машин, используемых в качестве газодувок и вакуумных насосов там, где присутствие масла в сжимаемом газе недопустимо. С другой стороны, они пригодны для нагнетания запылённого газа.

Коловратные компрессоры широко используются для наддува двигателей внутреннего сгорания. Их главное достоинство – надёжность и долговечность благодаря исключительной простоте конструкции. Объёмный расход газа на входе – от 10 до60000 м^3/ч, в вакуум-насосах – до 100 тыс. м^3/ч. Степени повышения давления – до 1,4, в редких случаях до 1,8. При более высоких отношениях (примерно до 2,5) применяется двухступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением.

Для уменьшения пульсации газа и снижения уровня шума зубья роторов имеют спиральную форму. Существуют секционные машины, роторы секций в которых насажены на вал со смещением на 45-60°. С этой же целью кромки входного и выходного окон в цилиндрах делают наклонными.

Рабочий объём компрессора

$$V_{\text{р}} = 2\Delta l = 2\pi R^2 \Theta l,$$

где Δ – разность между площадью круга радиусом R, описанного сечением ротора, перпендикулярным к его оси, и площадью этого сечения; l – длина ротора;

Θ – коэффициент использования сечения цилиндра (для двухзубых роторов Θ = 0,51…0,59, для трёхзубых Θ = 0,49…0,52). Коэффициент объёмного расхода газа зависит от степени повышения давления (λ = 0,60…0,90).

Поскольку процесс нагнетания в рассматриваемых машинах протекает без внутреннего сжатия, то полезной мощностью будет изохорическая мощность (как в насосах):

$$N_n = \overline{V}(p_к - p_н).$$

Мощность на валу нагнетателя определяется посредством КПД (который можно назвать изохорическим)[20]:

$$N = \overline{V}(p_к - p_н)/\eta,$$

где η = 0,87…0,94. При расчётах мощности коловратного компрессора можно также исходить из адиабатической мощности, используя адиабатический КПД η = 0,5…0,7.

§ 6.6. Винтовые компрессоры

Винтовые компрессоры – двухроторные (реже трёхроторные) машины, выполненные в виде винтовой зубчатой передачи с большим углом подъёма (рис. 6.5). Торцы винтов повёрнуты относительно друг друга на углы τ_1 и τ_2. Условие зацепления винтов:

$$\tau_1 r_1 = -\tau_2 r_2,$$

где z_1 и z_2 – число зубьев соответственно ведущего и ведомого роторов.

Между соседними зубьями каждого винта образуются полости, ограниченные в радиальном направлении цилиндрическими, а по длине – торцовыми поверхностями расточек в корпусе. При зацеплении винтов каждая полость в различной степени (в зависимости от углового положения) заполняется зубьями соседнего ротора, причём линия контакта зубьев разделяет полость на две части[21]. Одна из них (нижняя) сообщается с областью всасывания через окно, расположенное внизу переднего торца, а вторая (верхняя) может сообщаться с нагнетательным окном, которое расположено на задней торцовой плоскости, а также на цилиндрических поверхностях расточек корпуса под винты.

---

[20] Этим коэффициентом учитываются все виды потерь и, кроме того, исправляется неточность расчёта полезной мощности по формуле для изохорического сжатия.

[21] Термин «линия контакта зубьев» – условный, так как в действительности контакта между винтами может и не быть.

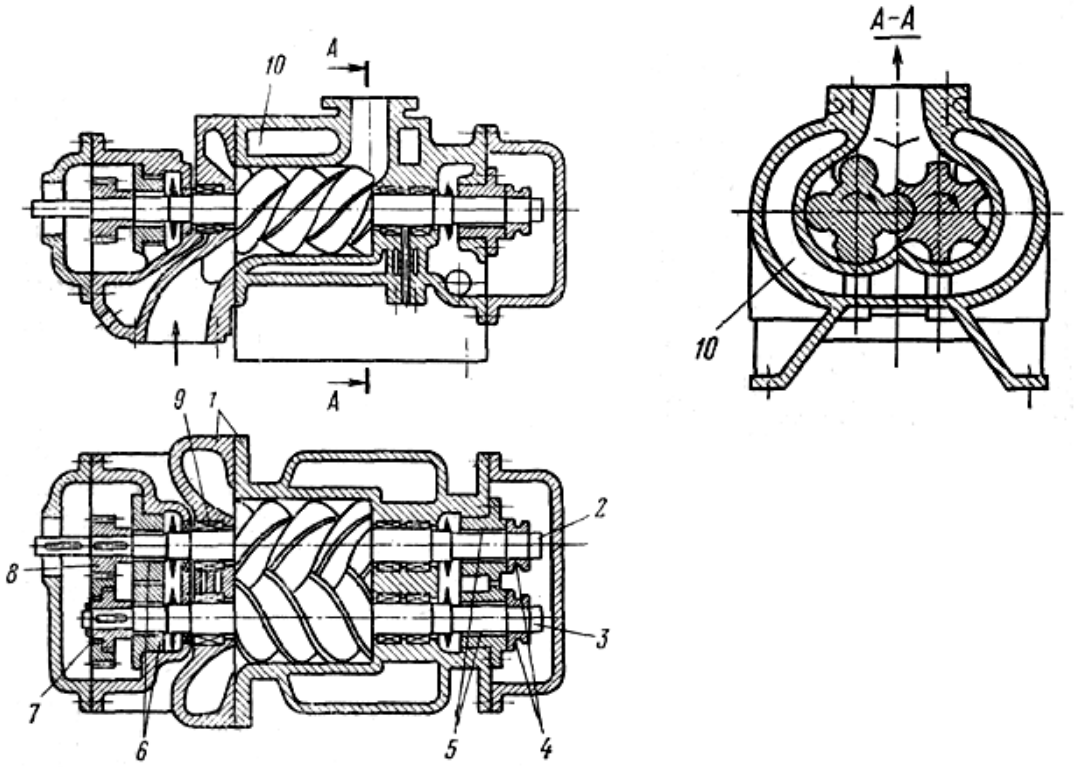


Рис. 6.5. Винтовой компрессор с охлаждаемым корпусом:

1 – корпус; *2* – ведущий ротор; *3* – ведомый ротор; *4* – упорные подшипники; *5*, *6* – опорные подшипники; *7*, *8* – шестерни связи; *9* – уплотнения; *10* – полости для охлаждения

Последовательность рабочего процесса в компрессоре показана на рис. 6.6.

При вращении винтов объём нижней части полости увеличивается, благодаря чему обеспечивается всасывание газа, а объём верхней части уменьшается, вследствие чего сначала происходит сжатие газа, а затем выталкивание (когда у заднего торца данная полость достигает нагнетательного окна). В момент, когда зуб ведомого ротора начинает входить в полость $П_1$ ведущего ротора (рис. 6.7, *а*), объём её начинает сокращаться. Вначале темп сокращения очень невысокий, поэтому отсечку полости от всасывающего окна по кромке *abc* (рис. 6.7, *б*) задерживают до тех пор, пока в результате соединения впадин обоих винтов не начнёт образовываться парная

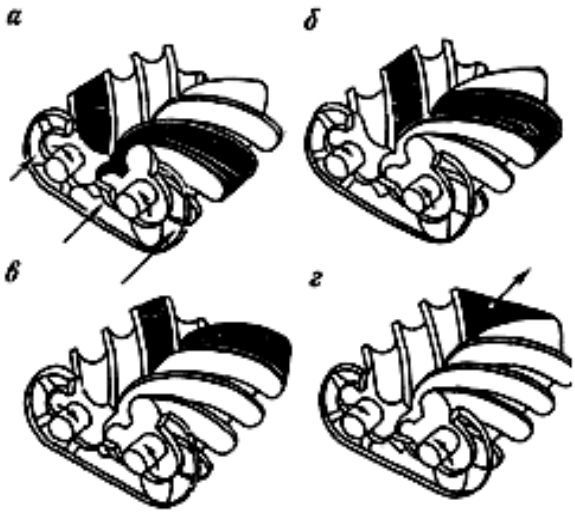


Рис. 6.6. Последовательность рабочего процесса в компрессоре:

а – всасывание; *б* – сжатие; *в* – окончание сжатия; *г* – выталкивание газа

полость $П_{1,2}$ (чтобы не было потерь при соединении пространств с различными давлениями).

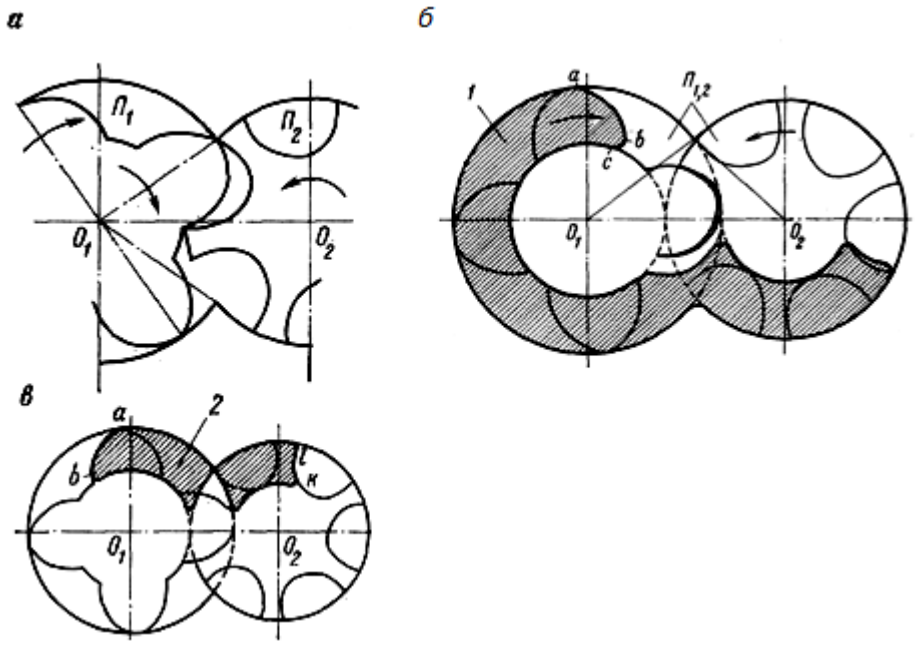


Рис. 6.7. Схемы взаимного расположения роторов и окон:

а – в начале входа зуба в полость ведущего ротора; *б* – начало сжатия; *в* – конец сжатия; *1* – окно всасывания; *2* – нагнетательное окно

Начиная с этого положения в сокращающейся изолированной полости $П_{1,2}$ происходит сжатие до момента, когда сечения полости не достигнут кромок нагнетательного окна *ab* и *k1* (рис. 6.7, *в*). Степень сжатия, определяющая внутреннее повышение давление газа в полости, зависит от положения кромок нагнетательного окна по отношению к началу сжатия.

Профили зубьев подбираются с таким расчётом, чтобы при взаимной обкатке винтов их зубья сопрягались теоретически без зазора. Были исследованы различные зубья – симметричного и асимметричного профиля с циклоидальным, круговым и эллиптическим профилем, корригированные и без коррекции. Большинство заводов-изготовителей выпускает компрессоры с цевочным зацеплением, т. е. таким, у которого круговой профиль зуба очерчен из центра, расположенного на делительной окружности винта (рис. 6.8, *а*). Достоинство кругового профиля – возможность выполнить точную обработку зуба и иметь малые зазоры, что важно для достижения хорошей герметичности полостей. Недостатки – малое сечение впадины, ослабление зуба и острые грани у ведомого винта, негерметичность в осевом сечении.

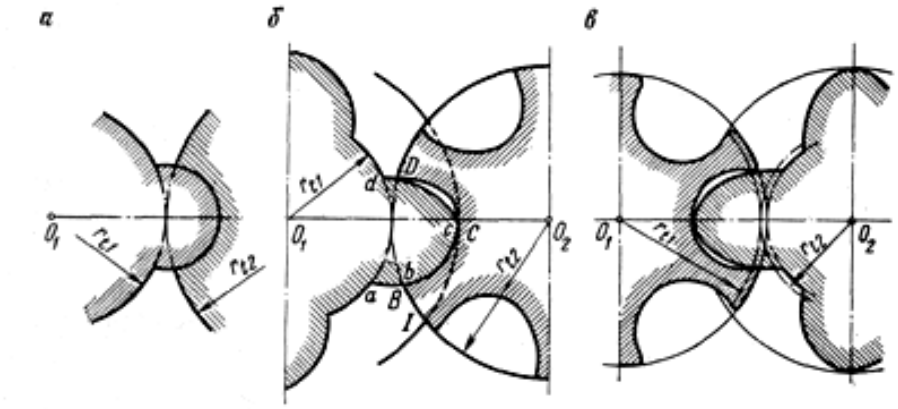


Рис. 6.8. Профили роторов винтовых компрессоров:
а – с цевочным зацеплением; *б* – асимметричный; *в* – эллиптический

Применяются также зубья циклоидальной формы симметричной или асимметричной. Асимметричные профили составляются из ветвей различных кривых.

Например, линии зуба и впадины со стороны низкого давления, где не требуется осевая герметичность, в основном круговые (*bc* и *BC* на рис. 6.8, *б*), в то время как со стороны высокого давления – трохоидные. Линия *cd* на ведущем зубе – эпициклоида, описанная точкой *D* ведомого винта при качении окружности радиуса r_{t2} по окружности радиуса r_{t1}. Участок *CD*–удлинённая эпициклоида, описанная точкой *c* ведущего винта при качении окружности радиуса r_{t2} по окружности радиуса r_{t1}. Участок *CD*–удлинённая эпициклоида, описанная точкой *c* ведущего винта при качении окружности радиуса r_{t1} по окружности радиуса r_{t2}.

Для типоразмерных рядов винтовых машин в нашей стране принят эллиптический профиль (рис. 6.8, *в*), обеспечивающий наилучшие показатели работы компрессора [13, стр. 334].

Винтовые компрессоры подразделяют на две группы:

1) сухого сжатия, в рабочее пространство которых не подаётся ни смазывающая, ни охлаждающая жидкость; охлаждение – обдувом корпуса или потоком воды или масла через рубашку корпуса и полые винты, подаваемый газ не содержит масла и продуктов износа деталей;

2) мокрого сжатия с впрыскиванием жидкости в полости компрессора с целью охлаждения и уплотнения; компрессор называется маслозаполненным, если вводится значительное количество такой жидкости. В машинах мокрого сжатия после компрессора устанавливают отделители жидкости.

В компрессоре сухого сжатия, так же как в коловратном, зубья не соприкасаются благодаря шестерням связи, синхронизирующим движение винтов. Зазор между зубьями шестерён приблизительно в два раза меньше зазора между зубьями винтов, что исключает взаимное касание винтов при работе. Зазоры обеспечивают свободное вращения винтов при деформации роторов под действием давления газа и изменения температуры, но должны быть минимальными для уменьшения перетеканий газа. Поэтому стремятся к тому, чтобы роторы были жёсткими. Жёсткость роторов помимо соотношения диаметров и длины винта зависит также от числа зубьев z_1 и z_2. С их увеличением жёсткость возрастает, что позволяет увеличить отношение давления при тех же зазорах. Однако при этом объёмы впадин между зубьями уменьшаются, что приводит к снижению рабочего объёма компрессора. Оптимальное и наиболее распространённое сочетание зубьев $z_1 = 4$ и $z_2 = 6$. В этом случае достигается равнопрочность роторов и появляется возможность выполнять их с одинаковым внешним диаметром D, что важно для технологии изготовления винтов.

Достоинство компрессоров сухого сжатия – нагнетание газа без загрязнения продуктами смазки. Недостатки – высокий уровень шума; сравнительно небольшое повышение давления в одной ступени ($\varepsilon \leq 4$). Шум винтового компрессора вреден для здоровья главным образом вследствие высокой частоты звуковых колебаний (200 – 2000 Гц), что определяется числом зубьев и частотой вращения роторов. Звуковые колебания более высоких частот менее интенсивны. Для уменьшения шума винтовые компрессоры снабжают поглощающими и резонансными глушителями, укрывают звукоизолирующими кожухами.

Повышение давления в одной ступени ограничено тем же фактором, что и в поршневых машинах, – конечной температурой сжатия. Охлаждение корпуса водой в винтовом компрессоре малоэффективно, так как процесс сжатия газа проходит гораздо быстрее, чем в поршневом. Вместе с тем превышение определённой температуры при заданных зазорах недопустимо из-за опасности заклинивания роторов при температурных деформациях.

Для снижения температуры нагнетания и увеличения допустимого значения ε применяют впрыскивание воды или масла в компрессор. Масло обволакивает тонкой плёнкой винты и уменьшает сечения щелей. Смазываемые винты могут контактировать, поэтому конструктивно маслозаполненный компрессор отличается тем, что в нём отсутствуют шестерни связи.

Концевые уплотнения машины упрощены, поскольку уплотнение здесь осуществляется тем же маслом, которое подаётся в рабочую полость для охла-

ждения газа и в подшипники. Ненапряжённый температурный режим и большая жёсткость роторов (меньшее расстояние между подшипниками), достигаемая в результате упрощения узлов концевых уплотнений, позволяет в два раза уменьшить конструктивные зазоры и увеличить степень повышения давления в одной ступени до 9, а в отдельных случаях – до 17.

Несмотря на то, что впрыскивание масла приводит к увеличению газодинамических потерь, вследствие снижения интенсивности перетекания газа и приближения процесса сжатия к изотермическому энергетические показатели самого маслозаполненного компрессора выше, чем у компрессора сухого сжатия.

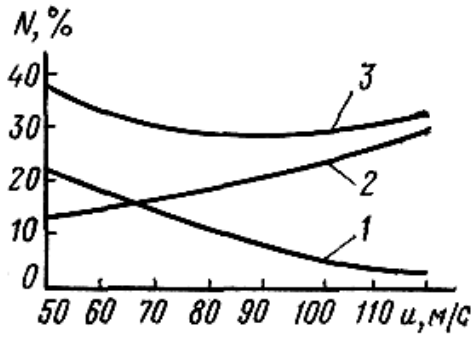


Рис. 6.9. Потери мощности (в % от адиабатической) в зависимости от окружной скорости:

1 – от внутренних перетечек;
2 – газодинамические потери;
3 – суммарные потери

КПД винтового компрессора так же, как и компрессоров других типов, зависит от частоты вращения вала. Значение оптимальной окружной скорости винтов зависит от соотношения между потерями от внутренних перетеканий газа и газодинамическими потерями (рис. 6.9).

В маслозаполненных машинах при меньших зазорах и больших динамических потерях оптимальная скорость на 60…65 % снижается, вследствие чего, а также благодаря наличию жидкости в рабочей полости, снижается уровень шума и его тональность, что позволяет отказаться от звукопоглощающих устройств. Таким образом, в конструкции этой группы компрессоров устраняются основные недостатки машин сухого сжатия. Вместе с тем компрессорная установка усложняется системой подачи, улавливания масла и возврата его в циркуляционную систему (рис. 6.10).

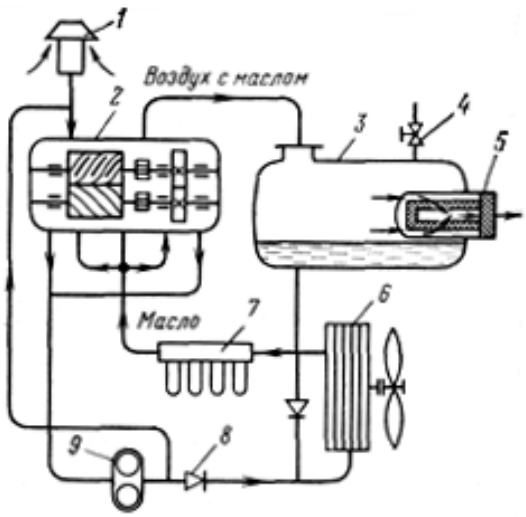


Рис. 6.10. Схема установки маслозаполненного компрессора:

1 – воздушный фильтр;
2 – компрессор; *3* – маслосборник;
4 – предохранительный клапан;
5 – маслоотделитель второй ступени;
6 – маслохолодильник; *7* – масляные фильтры;*8* – обратный клапан;
9 – масляный насос

Недостатком является также сравнительно большой расход масла. При ε = 8…9 в компрессоре циркулируют 5…8 кг масла на 1 кг сжимаемого воздуха, а унос масла

с воздухом составляет 0,25…0,5 г/кг. Содержание масла в нагнетаемом воздухе можно уменьшить, но тогда возрастает потеря давления в маслоотделителях. Если воздух подаётся к пневматическому инструменту, требующему некоторого количества масла в сжатом воздухе для смазки трущихся деталей, то указанный расход масла частично оправдывается.

При одинаковых ε удельный расход мощности в маслозаполненных машинах всегда больше, чем в машинах сухого сжатия, вследствие затрат энергии на подачу масла в компрессор под давлением, на движение двухфазной среды в коммуникациях и в маслоотделителях.

Они применяются в первую очередь в передвижных компрессорных установках, обычный привод которых (дизель) удобен для регулирования подачи воздуха изменением частоты вращения вала. Невысокая температура нагнетаемого воздуха в значительной степени увеличивает срок службы шланов, которые присоединяются к компрессорной установке. Небольшие размеры компрессора позволяют разместить его непосредственно на картере двигателя, что упрощает монтаж.

Верхняя граница конечного давления в двухступенчатом винтовом компрессоре сухого сжатия (≈ 1,2 МПа) обусловлена нагрузочной способностью упорных подшипников, которая не позволяет увеличить разность давлений газа на входе и выходе второй ступени более чем на 0,7…0,9 МПа. При давлениях, больших 1,2 МПа, винтовые компрессоры приходится изготовлять многокорпусными, в результате чего установки становятся слишком громоздкими. Совершенствование машин позволяет расширить границы достигаемых давлений. Одна из фирм, повысив несущую способность опор, выпустила компрессоры сухого сжатия с давлением до 4 МПа.

Рабочий объём винтового компрессора определяется по площадям f_1 и f_2 торцового сечения винтовых впадин ведущего и ведомого роторов длиной l:

$$V_p = (f_1 + f_2) l z_1 = \sigma D^2 l_1,$$

где σ – коэффициент, зависящий от формы профиля зубьев; для кругового профиля σ = 0,1143.

Коэффициент объемного расхода газа λ на входе зависит от тех же факторов, что и в поршневом компрессоре. Особенность винтовых компрессоров – высокие значения этого коэффициента (0,85…0,92); при высоких частотах вращения он близок к единице и даже может превышать её. Это объясняется влиянием скоростного наддува и относительно малым объёмом мёртвого пространства (менее 0,5 % для несимметричного и около нуля для кругового профиля).

Скоростной (инерционный) наддув состоит в том, что в результате торможения газа, поступающего с большой скоростью из всасывающего патрубка, давление в винтовых полостях в конце этапа всасывания оказывается выше начального (коэффициент давления $\lambda_р > 1$). Эффект усиливается с увеличением частоты вращения.

Процесс сухого сжатия близок к адиабатическому, так как длительность его очень мала (< 0,01 с). При впрыскивании воды или масла показатель политропы в зависимости от интенсивности охлаждения для воздуха находится в пределах 1,1…1,4.

Мощность винтового компрессора обычно рассчитывают по адиабатическому КПД, который при сухом сжатии составляет:

для крупных машин 0,80…0,83 при ε = 3,2…4,2;

для средних машин 0,76…0,81 при ε = 3,2…4,2;

для малых машин 0,70…0,75.

При впрыскивании небольшого (8…14 % по массе) количества воды адиабатический КПД увеличивается на 4…8 %. Для маслозаполненных машин, поскольку в них осуществляется высокое сжатие в одной ступени, $\eta_{ад} = 0,68…0,74$ (рис. 6.11, *а*). Кривые коэффициента λ типичны для объёмных машин; они «падают» почти линейно с увеличением ε. Под влиянием снижения относительного значения количества перетекающего газа через щели и инерционного наддува при высоких частотах вращения вала кривые λ располагаются выше, чем при низких частотах. Кривые КПД «плоские» в широком диапазоне ε, что указывает на приспособленность компрессора к работе на переменных режимах.

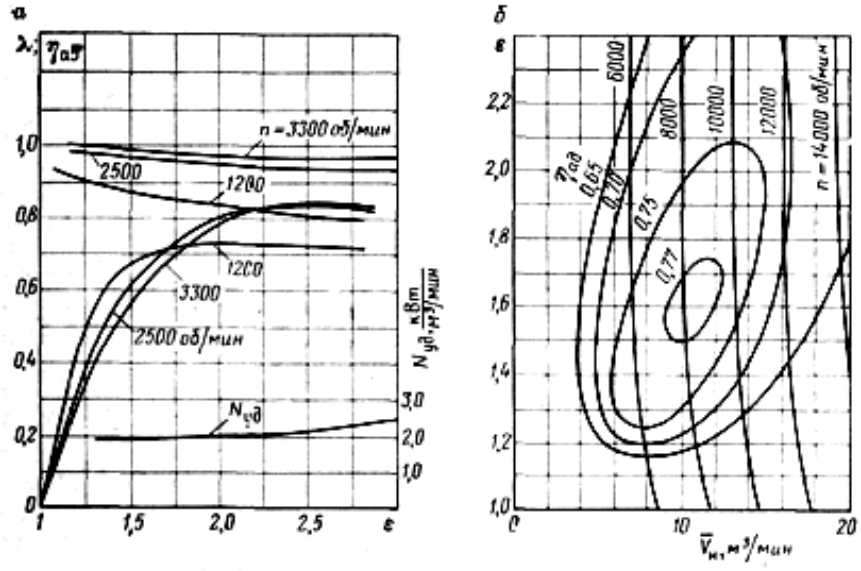


Рис. 6.11. Характеристика винтового компрессора:

а – с кривыми удельной мощности; *б* – с кривыми постоянного адиабатического КПД

«Топографическая» характеристика представлена на рис. 6.11, *б*. На ней отчётливо видна область наивысших значений КПД при изменении частоты вращения и степени повышения давления.

По удельному расходу мощности винтовые компрессоры пока уступают поршневым, что объясняется тем, что они находятся на начальной стадии развития.

§ 6.7. Винтовые компрессорные установки, применяемые в нефтяной и газовой промышленности

Винтовые компрессоры имеют важное значение для оснащения буровых и нефтепромысловых компрессорных установок.

Существуют унифицированные ряды винтовых машин.

Один ряд компрессоров сухого сжатия включает десять базовых компрессоров. К нему относятся одноступенчатые машины с максимальным давлением 0,4 МПа и двухступенчатые – до 1,15 МПа с объёмным расходом воздуха $\overline{V}_{\text{н}}$ от 0,38 до 96 тыс. м^3/ч.

К другому ряду относятся маслозаполненные одноступенчатые, рассчитанные на конечное давление 0,8 МПа, воздушные компрессоры с объёмным расходом воздуха $\overline{V}_{\text{н}}$ от 0,24 до 24 тыс. м^3/ч. Кроме воздушных машин, на базе этого ряда выпускаются компрессоры, предназначенные для сбора и транспортирования нефтяных газов.

Таблица 6.1

Основные технические показатели электроприводных компрессоров

Марка	Тип	$\overline{V}_{\text{н}}$, м^3/мин	$p_{\text{н}}$, МПа	$p_{\text{к}}$, МПа
ВК-11 (6ВКМ-25/8)	Воздушный	25	0,1	0,8
5ВКМ-16/8		16	0,1	0,8
ВК-20М-1		13,8	0,1	0,85
ВК4		10	0,1	0,8
ВК-4/5-13	Для нефтяного газа	4,7	0,5	1,3
ВКГ-20/5		21	0,08	0,5
13ВК		30	0,1	1,2
7ВКГ-25/5		27	0,07…0,08	0,5
7ВКГ-50/7		50	0,08…1,2	0,8
15ВК	Для газонефтяной смеси	6,3	0,15…0,4	0,8…1,1

Маслозаполненный компрессор ВК-11 с непосредственным приводом от асинхронного двигателя мощностью 200 кВт (n = 2960 об/мин) с автоматическим регулированием подачи используется в лёгких буровых установках. Установка смонтирована на раме, имеет двухступенчатый маслоотделитель.

Маслозаполненный компрессор ВК-20М-1, выпускаемый серийно, предназначен для питания пневматической системы буровой установки (в частности, СБУ-160).

Компрессор ВК-4/5-13 предназначен для дожатия нефтяного газа первой ступени сепарации и подачи его в камеру сгорания двигателя, используемого для привода генератора переменного тока в передвижной электростанции. В транспортабельной установке агрегаты смонтированы на раме – салазках и закрыты кожухом. Частота вращения вала компрессора 15 тыс. об/мин, привод от электродвигателя через мультипликатор. Для охлаждения масла и газа установлены аппараты воздушного охлаждения. Система автоматически обеспечивает контроль параметров и защиту от аварийных режимов работы.

Компрессор ВКГ-20/5 используется для сжатия нефтяного газа второй ступени сепарации. Этот компрессор интересен тем, что в нём применено впрыскивание нефти, используемой также для смазки подшипников и шестерён связи. Установка, смонтированная на раме-салазках, предназначена для работы на открытых площадках.

Компрессор 7ВКГ-25/5, также нефтезаполненный, имеет непосредственный привод от электродвигателя мощностью 160 кВт (n = 2965 об/мин). Расход нефти на охлаждение газа составляет 70…80 л/мин, на смазку и на затвор узлов концевого уплотнения 10…15 л/мин. Нефть, впрыскиваемая в компрессор, улавливается в нефтеотделителе (сепраторе), а затем в сетчатом фильтре. Очищенный газ поступает к потребителю, а отделённая нефть под давлением газа направляется в нефтяной резервуар.

Моноблочный агрегат 7ВКГ-50/7 построен с использованием более мощного маслозаполненного компрессора (N = 400 кВт) усовершенствованной конструкции.

Насос-компрессор 15ВК мощностью 102 кВт ($n \approx$ 1500об/мин) предназначен для сжатия газонефтяной смеси с количеством жидкой фазы по объёму до 2,1 %. Смазка подшипников и шестерён связи осуществляется перекачиваемой смесью. Особенность конструкции – наличие на стороне нагнетания клапанов, способствующих снижению гидравлических ударов при большом содержании жидкости в смеси.

Глава 7. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПРЕССОРОВ

§ 7.1. Области применения и функции компрессорных машин

Так же как и насосы, компрессорные машины широко используются в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве. Появление новых и совершенствование традиционных методов производства энергии, добычи и переработки сырья, интенсификация всех видов транспорта и развитие транспортных средств, рост механизации труда, внедрение в технологические процессы автоматики и новых средств контроля и управления, а также прогресс техники улучшения производственных и бытовых условий обусловливают непрерывное расширение областей применения компрессорных машин в весьма широком диапазоне давлений и потребных мощностей при различных эксплуатационных требованиях. Перечислим основные функции компрессорных машин в промышленности.

1. **Подача газа (смеси газов, воздуха) в аппараты**, **печи и машины для технологической обработки** (очистка, разделение, улавливание жидких фракций), химического синтеза (производство спирта, полиэтилена и др.), для сгорания (в двигателях, печах) и для осуществления и интенсификации других процессов (очистка нефтепродуктов от сернистых соединений, переработка нефти и нефтепродуктов); **закачка воздуха в пласт** для внутрипластового горения.

2. **Перемещение газа:** сбор природного газа из «слабых» газовых скважин и нефтяного из нефтяных скважин с перекачиванием его на головную компрессорную станцию; транспортирование по магистральным газопроводам.

3. **Аккумулирование газа:** в пластах – для подземного хранения, поддержания и восстановления пластового давления; в сосудах – для хранения и перевозки в газообразном или жидком виде; в сосудах – для питания пневматических систем воздухом силового назначения (привод грузоподъёмных, транспортных и других машин, различных инструментов и приспособлений; запуск ДВС; управление тормозами и трансмиссиями; питание пневматических КИП и органов систем автоматического регулирования и управления); в трубопроводах и ёмкостях – для испытания на прочность и плотность путём опрессовки.

4. **Удаление газа:** создание вакуума в сосудах; вентиляция помещений; отсасывание продуктов сгорания из печей и топочных устройств.

5. **Создание потока газа** для транспортирования твёрдых тел и жидкости (вынос выбуренной породы при бурении скважины и ремонте скважины; извлечение жидкости из скважины при компрессорном способе добычи нефти; пневматический транспорт сыпучих материалов и капсул с грузом) или для теплопередачи (в охладителях, охлаждающих рубашках машин, подогревателях, градирнях, сушилках, холодильных установках) или для других целей (например, создание газового затвора в уплотнительном устройстве вала компрессора).

§ 7.2. Выбор компрессоров

Исходные данные для выбора компрессоров:

1) объёмный расход газа на входе в компрессор или, в общем случае, расход сжатия газа и вероятный режим его потребления;

2) конечное давление, равное давлению в воздухосборнике, или задаваемое по назначенному режиму трубопровода, технологической установки и т. п.;

3) условия всасывания (температура, давление, относительная влажность газа на приёме или диапазон изменения этих величин);

4) характеристика перекачиваемого газа (молярный состав, загрязнённость, токсичность, способность к полимеризации и др.);

5) вид привода или требования к нему;

6) особые требования (отсутствие смазки в газовом тракте; ограничение массы машин, её габаритов, вибрации, уровня шума; герметичность машины и др.).

Тип и марку компрессора определяют прежде всего по основным показателям выпускаемых компрессоров – конечному давлению $p_к$ и объёмному расходу газа на входе $\overline{V}_н$.

На рис. 7.1 показаны области применения основных типов компрессоров. В области сравнительно небольших расходов (менее 10 тыс. м^3/ч) и высоких конечных давлений (более 10 МПа) выпускаются только поршневые компрессоры. Верхняя граница области применения центробежных компрессоров ~ 2 МПа (линия I), а при последовательном соединении машин – ~ 8 МПа (линия II).

В последние годы для нефтехимического производства выпускаются двухкорпусные центробежные компрессоры, рассчитанные на конечное давление 30…40 МПа и даже до 200 МПа (область их применения очерчена линиями III и IV). Компрессоростроители работают над созданием центробежных компрессоров на давление 275 МПа.

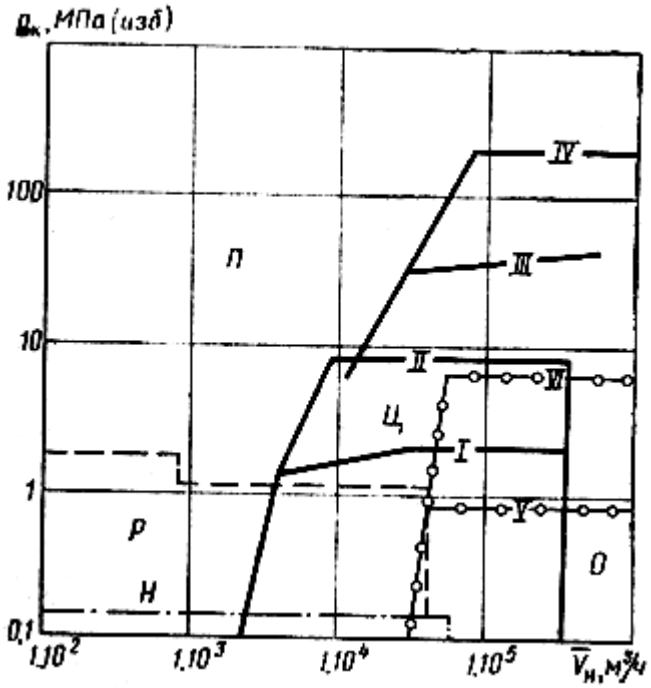


Рис. 7.1. Области применения компрессоров:

П – поршневых; Р – роторных; Ц – центробежных;
О – осевых; Н – коловратных нагнетателей (типа Рутс)

Верхняя граница V области применения осевых компрессоров ~ 0,8 МПа, а в комбинации с центробежными машинами и промежуточным охлаждением газа – 6 МПа (линия VI).

Как видно на рис. 7.1, области применения различных компрессоров в определённых пределах взаимно перекрываются. В связи с совершенствованием выпускаемых машин границы такого перекрытия расширяются. Поскольку для одних и тех же давлений можно использовать различные машины, выбор того или другого типа осуществляется с учётом других критериев.

В некоторых случаях на выбор типа компрессора может влиять или стать решающим условие, чтобы в сжимаемом газе отсутствовали даже следы масла. В других случаях, наоборот, необходимы именно смазываемые машины. Дело в том, что воздух, всасываемый компрессором, часто загрязнён триокисью серы SO_3, являющейся продуктом сгорания топлив. Она соединяется с конденсирующейся влагой и образует слабый раствор серной кислоты H_2SO_4. Если в компрессоре смазываются цилиндры, то масло, попадая в сжатый воздух, служит некоторой защитой трубопроводов, рабочих органов пневматических инструментов и приборов, тогда как воздух, свободный от содержания масла, этим достоинством не обладает.

Важное качество компрессора – уровень его шума.

По нормам, действующим в нашей стране, компрессорные установки должны быть спроектированы так, чтобы уровень шума при длительной непрерывной работе компрессора не превышал 85 дБ. Чтобы удовлетворить этому требованию, некоторые типы компрессоров нуждаются в специальных средствах снижения уровня шума, тогда как для других машин такой проблемы не существует. Благодаря поглощению звука в массивном корпусе пластинчатый компрессор работает тише, нежели винтовой сухого сжатия. Для борьбы с шумом используются металлические или пластмассовые кожухи, покрытые антивибрационной мастикой, с шумопоглощающими панелями из стекловолокна. В некоторых типах машин устанавливают поглощающие и резонансные глушители, отрегулированные на наиболее интенсивную часть спектра шума. Другие машины не подвержены ослаблению звука, имеющего высокую энергию в той части частотного спектра, которая наиболее чувствительна для наших органов.

Вибрация компрессоров передаётся непосредственно через корпус и строительные конструкции. Она имеет более низкий порядок частот, нежели звуки, но способна распространяться дальше и сохраняться дольше. С целью снижения амплитуды вибрации до уровня, признанного допускаемым для данной установки, применяют гасительное устройство. Гашение вибраций может потребовать значительных затрат в средств, и поэтому, если вибрация существенная, при выборе компрессоров следует оценивать их также и с этой точки зрения.

Во многих случаях при выборе типа и марки компрессора важным требованием является обеспечение герметичности машины. В роторных, центробежных и осевых компрессорах уплотняется выход вала из корпуса, а в поршневых – выход штока из цилиндра. При оценке герметичности следует обращать внимание на действие уплотнительных систем при остановке машины и запуске.

За границей областей применения указанных типов компрессоров часто используют комбинации машин разных типов. Так, при больших объёмах перекачиваемого газа и высоком давлении последовательно устанавливают осевой и центробежный или центробежный и поршневой компрессоры. Существуют каскады из трёх или даже четырёх машин, включённых последовательно, например, из осевого, центробежного, поршневого и мембранного компрессоров.

Экономические соображения. При различных вариантах удовлетворения перечисленных требований их сравнивают по экономичности. Эффект от применения той или иной машины выявляется по совокупному значению двух видов затрат средств – капитальных и эксплуатационных.

К капитальным затратам относятся единовременные расходы на приобретение оборудования (компрессора, привода, вспомогательного оборудования) и его установку (сооружение фундамента, укрытий, зданий). Эксплуатационные расходы включают в себя следующие элементы затрат: расход энергоресурсов (электроэнергия, топливо и проч.), амортизация (резервирование средств для капитального ремонта и замены использованной машины), обслуживание и текущий ремонт, заработная плата обслуживающего персонала.

Совокупный эффект перечисленных затрат учитывают следующим образом. Обозначим капитальные затраты в двух сравниваемых вариантах K_1 и K_2, а годовые эксплуатационные расходы – соответственно $Э_1$ и $Э_2$. В общем случае $K_2 > K_1$, но $Э_2 < Э_1$. Эти неравенства означают, что более дорогая, но эффективная установка обеспечивает экономию в эксплуатации. Критерий целесообразности реализации варианта 2 – условие, что более дорогая установка должна окупаться за обусловленный срок $t_н$, называемый нормативным сроком окупаемости:

$$(Э_1 - Э_2)t_н > K_2 - K_1.$$

Условие предпочтительности варианта 2 можно представить иначе:

$$Э_2 + E_н K_2 < Э_1 + E_н K_1 \quad \text{или} \quad C_2 < C_1,$$

где $E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (обратная величина нормативного срока окупаемости: $E_н = 1t_н$); C_2, C_1 – приведенные затраты соответственно по вариантам 2 и 1 ($C = Э + E_н K$).

§ 7.3. Регулирование компрессорных машин

Каждый компрессор или группа компрессоров включены в сеть. Сетью называется совокупность устройств (трубопроводов, аппаратов и др.), через которые проходит перекачиваемый газ. В общем случае часть сети расположена на входе в компрессор, а часть на выходе. Каждая часть сети характеризуется некоторой зависимостью между расходом газа и давлениями в начале и конце части сети. В большинстве случаев характеристика сети определяется линейными и местными сопротивлениями и может быть получена из приближённого уравнения:

$$p_1^2 - p_2^2 = A\bar{\rho}RTZ\overline{V_0^2},$$

где p_1, p_2 – давление в начале и конце сети; A – коэффициент сопротивления сети, зависящей от её размеров и конструкции; $\bar{\rho}$ – относительная (по воздуху) плотность газа; R, T, Z – газовая постоянная, абсолютная температура и средний

коэффициент сжимаемости перекачиваемого газа; $\overline{V_0}$ – расход газа в стандартных условиях.

В нагнетательной части сети давление p_2 обычно задано и поэтому её характеристика (рис. 7.2, *а*) выражается уравнением:

$$p_{\text{к}} = p_{1,\text{н}} = \sqrt{p_2^2 + A_{\text{н}} R T_{\text{н}} Z_{\text{н}} \overline{V_0^2} \bar{\rho}} \,.$$

Для стороны всасывания параметром характеристики (рис. 7.2, *б*) служит давление в начале сети p_1, так что

$$p_{\text{н}} = p_{2,\text{в}} = \sqrt{p_2^2 + A_{\text{в}} R T_{\text{в}} Z_{\text{в}} \overline{V_0^2} \bar{\rho}} \,.$$

Потребный режим работы сети (точка *M*) определяется расходом и соответствующим давлением. По условиям технологического процесса этот режим может отличаться от номинального режима компрессоров по разным причинам.

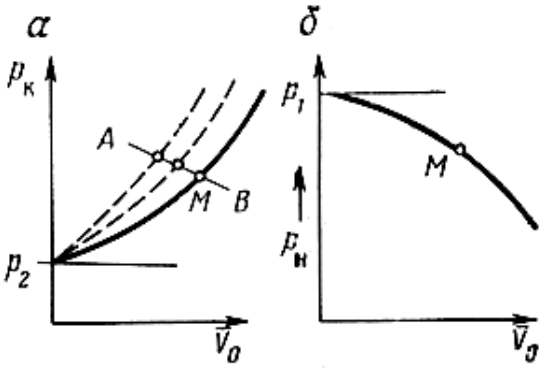


Рис. 7.2. Характеристики сети:
а – нагнетательной;
б – со стороны всасывания

Часто рабочие условия при проектировании установки недостаточно известны, вследствие чего после её пуска возникает несоответствие номинальных технических показателей машины и показателей рабочего режима; в другом случае при выборе не оказалось машины, удовлетворяющей поставленным требованиям. Такое рассогласование может происходить также во время эксплуатации компрессоров в связи с изменением концевого давления, температуры и состава газа или теплообменников, расстройств и нарушений в работе оборудования и т. п.

В некоторых случаях машины должны работать в нескольких совершенно различных режимах с переходом от одних к другим.

Может также существовать определённая закономерность непрерывного изменения потребных режимов, выражаемая линией *AB* на графике $\overline{V}_0 - p_{\text{к}}$ (см. рис. 7.2, *а*).

Частные задачи регулирования – регулирование на постоянное давление, на постоянный расход и на постоянную мощность двигателя. Постоянное давление на выходе компрессора поддерживается, например, при обслуживании пневматического хозяйства, каково бы ни было потребление воздуха из сети. Постоянный расход должен обеспечиваться при подаче газа или воздуха в ко-

личестве, достаточном для потребителей, независимо от сопротивления при перекачке. Например, определённое количество газа требуется для топок, для бытовых нужд, а сопротивление сети может изменяться в зависимости от температуры и т. п. Задача регулирования на постоянную мощность возникает, когда компрессор работает при переменных давлениях на входе и выходе. Так, например, на компрессорной станции газового промысла необходимо обеспечить постоянство мощности газомоторного компрессора при всех изменениях давления газа, поступающего из эксплуатируемых скважин, а также давления в газопроводе.

Назначение регулирования – привести характеристику компрессора в соответствие с характеристикой потребного режима сети при условии наиболее полного использования установленной мощности двигателей.

Методы регулирования компрессоров

Регулирование может быть прерывистым (периодическое прекращение работы компрессора), ступенчатым и плавным; ручным или автоматическим.

Универсальные способы регулирования (применяемые для всех видов машин):

1) временная остановка компрессора;
2) изменение частоты вращения вала компрессора;
3) дросселирование на входе в компрессор;
4) перепуск газа из нагнетательной линии в подводящую линию (или в атмосферу).

Остановка одной или нескольких машин позволяет регулировать общую подачу компрессорной станции. При работе одиночного компрессора периодическая его остановка обеспечивает снижение подачи в среднем за периоды пуска. Остановка компрессора выполняется двумя способами: остановкой двигателя и отключением компрессора от работающего двигателя с помощью пневматических или электромагнитных муфт. Преимущество первого способа – прекращение расхода энергии с момента остановки агрегата. Преимущество второго способа – поддержание установившегося режима работы двигателя и упрощение автоматизации управления агрегата (редкие пуск и остановка осуществляются вручную). При частых остановках (обычно объёмных машин) выявляется общий недостаток метода регулирования остановками – нарушение теплового режима компрессора, что приводит к неравномерному нагреву рабочих орга-

нов и заставляет устанавливать в машине повышенные зазоры, что нежелательно. Остановки и пуски можно делать редкими, но тогда необходимо иметь большой ресивер.

Изменение частоты вращения вала компрессора – универсальный способ изменения характеристики компрессора при условии, что двигатель допускает экономичное изменение частоты вращения. Способ применяется для компрессоров, имеющих привод от газовой или паровой турбины или от двигателя внутреннего сгорания, преимущественно от дизеля, допускающего большое изменение скорости вращения – около 50 %. Частота вращения вала газомоторных компрессоров в небольших пределах регулируется автоматическим приспособлением. В случае привода от трёхфазного электродвигателя возможно ступенчатое регулирование, если двигатель имеет переменное число полюсов. Однако этот двигатель имеет крупные габариты и высокую стоимость. Существует метод плавного регулирования асинхронных электродвигателей с фазовым ротором при помощи так называемого вентильного каскада. Эта схема нашла некоторое применение на компрессорных станциях магистральных газопроводов.

Метод регулирования изменением частоты вращения вала компрессора наиболее экономичный. Исключение составляют некоторые типы роторных компрессоров. Например, в пластинчатом компрессоре удельный расход энергии при снижении частоты вращения вала повышается, так как относительные потери мощности от неплотности возрастают. Диапазон выгодного регулирования зависит от типа компрессора и формы кривой зависимости КПД от частоты вращения и степени повышения давления.

При постоянной частоте вращения двигателя ступенчатое регулирование компрессора можно осуществлять при помощи коробки передач, что усложняет привод, а главное – посредством гидродинамической муфты, что, однако, снижает экономичность регулирования почти до уровня, присущего дросселированию в потоке газа.

Дросселирование на входе в компрессор приводит к уменьшению плотности газа и, следовательно, к снижению подачи компрессора. Объёмный расход газа $\overline{V}_{\text{н}}$, зависящий от степени повышения давления, при постоянном конечном давлении падает из-за увеличения ε, что ещё больше снижает количество подаваемого газа. Понижение давления перед компрессором при сохранении конечного давления вызывает возрастание конечной температуры, что может быть особенно опасным при работе на воздухе, содержащем пары масла. При перекачивании горючих газов разрежение при входе в компрессор может

привести к подсасыванию из атмосферы воздуха вследствие негерметичности узла регулирования, к образованию полимерных соединений и взрывоопасных смесей. Дросселирование сопровождается увеличением удельного расхода энергии, что снижается эффективность его применения по сравнению с другими способами длительного регулирования.

Перепуск газа из нагнетательной линии в область всасывания – основное средство разгрузки компрессора при пуске. Если при этом нагнетательный трубопровод остаётся под давлением, то на нём устанавливают обратный клапан или задвижку. Дроссельный перепуск применяется в сочетании с другими методами ступенчатого регулирования.

Методы регулирования динамических компрессорных машин

1. **Дросселирование на выходе компрессора** по своему принципу и эффективности аналогично такому же способу регулирования центробежного насоса.

2. **Дросселирование на входе в компрессор.** Каждому положению дросселя соответствует своя линия изменения начального давления в зависимости от расхода газа $\overline{V}_0$ и, следовательно, свои характеристики $p_к - \overline{V}_0$ при постоянной частоте вращения (рис. 7.3, *а*).

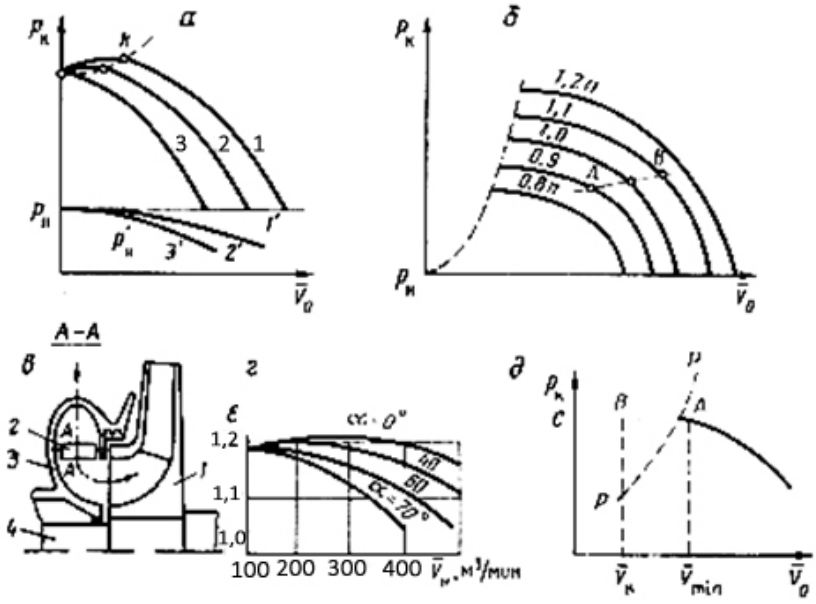


Рис. 7.3. Способы регулирования подачи компрессоров:

а – характеристики при дросселировании во всасывающей линии;
б – характеристики при изменении частоты вращения; *в* – схема устройства для регулирования лопастями при входе: *1* – рабочее колесо, *2* – поворотные лопасти, *3* – корпус компрессора, *4* – вал; *г* – изменение характеристик: *α* – угол поворота лопастей; *д* – регулирование перепуском газа

Линии всех характеристик *1*, *2*, *3*, … сходятся в одной точке, поскольку при закрытой задвижке на выходе дросселиование на входе не имеет значения. При дросселировании критическая точка характеристики *k* смещается влево. Поэтому при запуске и остановке машины, чтобы избежать работы в помпажной зоне, следует закрывать дроссель, а затем манипулировать с задвижкой на выкиде.

3. **Изменение частоты вращения.** Поле характеристик машины при различных частотах вращения (рис. 7.3. *б*) может быть использовано для определения и поддержания той частоты вращения, при которой компрессор подаёт необходимое количество газа при заданном противодавлении (по пересечению линии *AB* потребных режимов с кривыми $p_к - \overline{V}_0$).

4. **Поворот лопастей направляющего аппарата** (рис. 7.3, *в*). При закручивании потока газа перед входом в рабочее колесо с помощью лопастей скорость c_{0u} может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Скорость c_{0u}, согласно уравнению Эйлера, изменяет удельную работу рабочего колеса, а следовательно, и характеристику $\varepsilon - \overline{V}_0$ компрессора (рис. 7.3, *г*), особенно значительно для рабочего колеса с малым отношением D_2/D_1. По эффективности этот способ выше, чем дросселирование, но уступает регулированию частотой вращения.

5. **Поворот лопастей диффузора.** При изменении угла установки лопастей диффузора и уменьшении входного угла наклона $\alpha_{2л}$ граница помпажа отодвигается в сторону меньших значений $\overline{V}_н$. По расходу энергии этот способ экономичнее, нежели предыдущий, но конструктивно более сложный.

6. **Перепуск газа.** Для устойчивой работы компрессора при малых расходах газа (за границей помпажа) применяется перепуск газа на вход в компрессор (или выпуск в атмосферу). При уменьшении подачи непосредственно перед границей зоны помпажа *P – P* (точка *A* на рис. 7.3, *д*) открывается клапан, выпускающий часть газа из нагнетательной линии. При этом потребитель получает количество газа в объёме $\overline{V}_н$, а на вход компрессора направляется объём $\overline{V}_{min} - \overline{V}_B$.

Методы регулирования поршневых компрессоров

Рассмотрим особенности применения некоторых универсальных методов, а также присущие только поршневым компрессорам.

1. **Дросселирование на входе в компрессор.** Объёмный расход газа на входе компрессора $\overline{V}_{н}$ зависит от степени повышения давления, и поэтому при постоянном давлении в сети нагнетания и снижении его перед компрессором $\overline{V}_{н}$ уменьшается из-за увеличения ε (рис. 7.4, *а*), в результате чего ещё больше (помимо влияния уменьшения плотности всасываемого газа) уменьшается подача газа ($\overline{m}_{к}$ или $\overline{V}_{0}$).

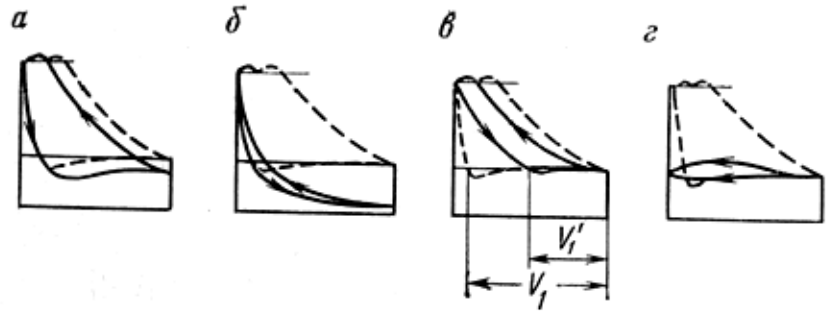


Рис. 7.4. Индикаторные диаграммы при регулировании:

а – дросселированием во всасывающей линии; *б* – перекрытием всасывающей линии; *в* – включением дополнительной полости; *г* – отжимом всасывающего клапана

Характер изменения объёмного расхода $\overline{V}_{н}$ и мощности поршневого компрессора при изменении начального давления всасывания рассмотрен выше (гл. 4 для одной ступени и гл. 5 – для ступенчатого сжатия). Частный случай дросселирования – полное перекрытие всасывания (рис. 7.4, *б*).

2. **Изменение объёма мёртвого пространства** цилиндров осуществляется присоединением к нему дополнительных полостей, благодаря чему уменьшается объёмный коэффициент. Объёмный расход газа на входе компрессора при наименьшем (собственном) мёртвом пространстве объёма $V_{м}$ пропорционален объёму V_1 (рис. 7.4, *в*), а при подключении дополнительной полости $V_{Д}$ – объёму $V_1^{'}$, который меньше объёма V_1. Дополнительные полости постоянной ёмкости (карманы) или переменной ёмкости (вариаторы) выполняют в крышке цилиндра или в отдельных баллонах. Экономичность этого способа высокая; при снижении расхода $\overline{V}_{н}$ на 30 % повышение удельного расхода энергии не превышает 2 %. При определённом значении объёма мёртвого пространства $\lambda_{о} = 0$, и данная рабочая камера прекращает подачу.

Присоединением дополнительной полости только к первой ступени многоступенчатого компрессора нельзя регулировать объёмный расход газа на входе компрессора в широких пределах. В последней ступени может возникнуть недопустимо высокая температура из-за возрастания отношения давлений. Для

такого регулирования дополнительной полостью снабжают кроме первой ступени также последнюю ступень.

3. **Присоединение дополнительной полости на части хода.** Сущность этой разновидности предыдущего метода, обеспечивающего плавность регулирования, заключается в том, что клапан *1* (рис. 7.5, *а*), присоединяющий карман *2*, остаётся открытым до тех пор, пока с изменением положения поршня сила давления газа на клапан не превзойдёт усилие со стороны задатчика *6*. При расширении газа в мёртвом пространстве клапан *1* снова открывается, когда давление в цилиндре падает ниже давления газа в кармане, зависящего от усилия задатчика с пружиной *6* (см. рис. 7.5, *а*).

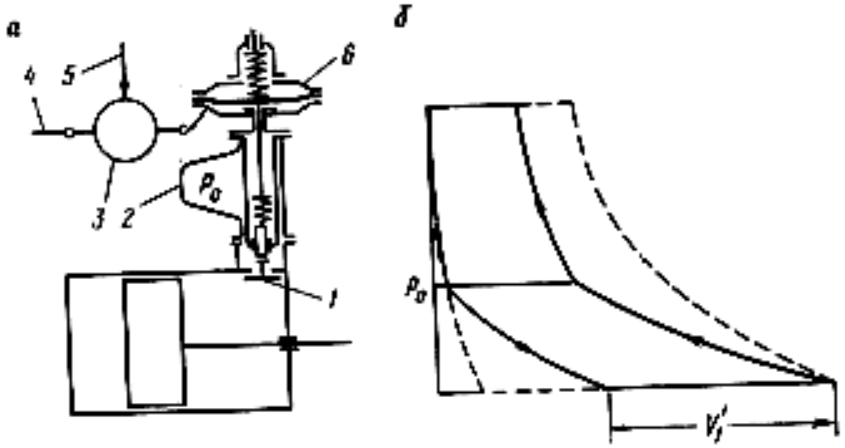


Рис. 7.5. Регулирование присоединением дополнительной полости на части хода:

а – схема устройства: *1* – клапан,*2* – карман,*3* – регулятор давления, *4* – сжатый воздух *5* – всасывающий коллектор двигателя, *6* – задатчик;
б – индикаторная диаграмма при регулировании

Это усилие можно поставить в зависимость от нагрузки на двигатель так, чтобы обеспечить её постоянство автоматическим изменением подачи компрессора.

4. **Отжим всасывающих клапанов** производится вилкой, действующей на пластину клапана. На схеме (рис. 7.6) вилка *4* связана с поршнем *2*, находящимся в цилиндре *3* и нагруженным пружиной.

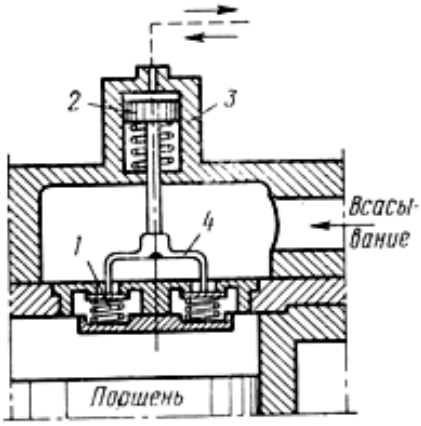


Рис. 7.6. Схема устройства для отжима всасывающего клапана

К цилиндру подводится газ из области нагнетания. Поршень опускается, и вилка держит клапан *1* открытым до тех пор, пока давление на выкиде компрессора не снизится до нормально-

го. Здесь осуществлено автоматическое прерывистое регулирование. Имеются также автоматические системы с плавным регулированием, обеспечивающим открытие клапана на части хода, а также устройства для отжима клапана вручную. По экономичности этот способ уступает рассмотренным выше, так как при отжатом клапане в цилиндре затрачивается некоторая мощность (см. рис. 7.4, *г*).

5. **Изменение хода поршня** применяют в СПДК (см. рис. 3.4). При небольшом уменьшении хода поршня не только уменьшается описываемый им объём, но и увеличивается мёртвое пространство, вследствие чего достигается значительное снижение объёма всасываемого газа.

6. **Комбинированное регулирование** сочетает достоинства различных методов. Все виды ступенчатого регулирования могут бать дополнены дроссельным перепуском через обводную линию. Для сокращения числа дополнительных полостей применяют подъёмники всасывающих клапанов, которые также служат для разгрузки компрессора при пуске.

Методы регулирования роторных компрессоров

Регулирование закрытием всасывающей линии представляет собой вариант отключения компрессора переводом его на холостой ход путём сочетания перепуска через обводную линию с перекрытием подводящей линии.

Изменение индикаторной диаграммы пластинчатого или винтового компрессора показано на рис. 7.7.

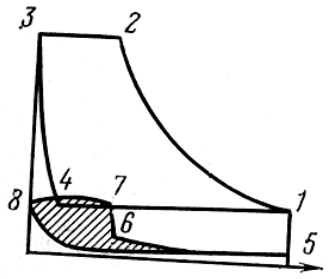


Рис. 7.7. Индикаторная диаграмма пластинчатого или винтового компрессора:

1, *2*, *3*, *4* – при нормальной работе;
5, *6*, *7*, *8* – при закрытии всасывания

Кроме того, применяются все универсальные методы, перечисленные выше.

§ 7.4. Испытания компрессоров

Как и насосы, компрессоры проверяют с различными целями, зависящими от вида испытания, применительно к конкретному типу машин, согласно стандарту или нормативно-технической документации на изготовления. Например, в правилах приёмки поршневых воздушных стационарных компрессо-

ров общего назначения в ГОСТ 20073–74 регламентированы состав и методы пяти видов проверки: предварительных, приёмочных, приёмо-сдаточных, периодических и испытаний на надёжность.

Для воздушных поршневых компрессоров стандартизованы следующие условия испытания: давление на входе – атмосферное, температура воздуха – 293±10 К, степень повышения давления – номинальная ± 2 %, температура охлаждающей воды 288 К (с отклонением + 15 или – 10 К), частота вращения вала – номинальная ± 3 %. В общем случае эти условия приводятся в утверждённой методике испытания.

Некоторые из испытаний проводятся только на стенде изготовителя, другие – также у потребителя. Газовые компрессоры на месте эксплуатации испытывают на натурном газе, а на заводском стенде – «с открытым контуром» на воздухе или «в закрытом контуре» на разреженном воздухе (для экономии мощности привода), или на имитирующем газе с последующим приведением результатов к натурному газу.

При испытаниях регистрируют частоту вращения вала компрессора, параметры потоков газа, охлаждающей воды и масла в контрольных сечениях трубопроводов (расход, давление, амплитуду колебания давления, температуру, относительную влажность), мощность компрессора, уровни вибрации в определённых точках, уровень звуковой мощности шума и другие (например, величины износа деталей механизма движения и «наработку на отказ» в испытаниях на надёжность).

Расход газа может быть измерен следующими способами: с помощью нормальных сужающих устройств (диафрагмой и др.); путём наполнения баллонов и их взвешивания (при небольшой подаче компрессора); с помощью газовых часов или газомеров (с небольшой точностью); по индикаторным диаграммам; по тепловому балансу холодильника (косвенный способ, требующий измерения масс и температур всех агентов теплообмена – газа, воды, конденсата, внешней среды).

При определении объёмного расхода газа на входе компрессора по объёмному расходу газа $\overline{V}_{\text{с}}$ через мерное сужающее устройство, установленное на выходе, используют формулу

$$\overline{V}_{\text{н}} = \overline{V}_{\text{с}} \frac{p_{\text{с}} - \varphi_{\text{с}} p_n}{p_{\text{н}} - \varphi_{\text{н}} p_n} \cdot \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{с}}}.$$

Индекс «н» характеризует состояние газа при входе в компрессор, а «с» – перед расходомером; φ – относительная влажность; $p_п$ – давление насыщенного водяного пара при соответствующей температуре. Разность (p – φ$p_п$) – парциальное давление сухого газа в смеси с водяным паром. Внешние утечки из компрессора не учитываются.

При наполнении мерной ёмкости осушенным газом

$$\overline{V_н} = \frac{V_в}{\tau} \cdot \frac{T_н}{p_н - \varphi_н p_{пн}} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right),$$

где $V_е$ – объём мерной ёмкости; τ – время наполнения; p_1, p_2 – давление в ёмкости в начале и в конце наполнения; T_1, T_2 – соответствующие температуры.

Наиболее сложная задача – измерение мощности компрессора. При испытании небольших машин применяют мотор-весы, соединённые с электродвигателем, или же измеряют электрическую мощность по приборам и вычитают потери в электродвигателе.

В случае привода через мультипликатор можно замерить крутящий момент, воспринимаемый корпусом мультипликатора $M_М$, угловые скорости валов компрессора $\omega_к$ и двигателя $\omega_Д$, а затем вычислить мощность, потребляемую компрессором, по формуле:

$$N = \frac{M_M \omega_к}{\frac{i}{\eta_м} \pm 1},$$

где $I = \omega_к/\omega_д$ и $\eta_м$ – передаточное отношение и КПД мультипликатора, знак плюс соответствует противоположному, а знак минус – одинаковому направлению вращения валов.

При испытании динамических компрессоров с приводом от газовых или паровых турбин непосредственный замер вращающего момента затруднителен. В этом случае мощность компрессора N определяется методом теплового баланса:

$$N = N_к + N_м = \overline{m_н} \left[(i_к - i_н) + \frac{c_к^2 - c_н^2}{2} \right] + N_{охл} + N_{л,к} + N_м ,$$

где $N_{охл}$ – мощность, затраченная на подогрев охлаждающей воды; $N_{л,к}$ – мощность, соответствующая теплообмену путём лучеиспускания и конвективному теплообмену через корпус компрессора; $N_м$ – мощность механического трения, которую находят по теплу, отданному охлаждающему маслу. Остальные обозначения см. в главе 1.

При испытании поршневого компрессора индикаторная мощность $N_{инд}$ суммируется по всем рабочим полостям цилиндров. Индикаторная диаграмма

может быть записана по ходу поршня (см. § 4.1) или по углу поворота коленчатого вала.

В последнем случае вносят поправку на запаздывание записи процесса при передаче сигнала звуковой волной по индикаторному каналу. Время запаздывания $\tau = l_к/c$, где $l_к$ – длина канала; c – скорость звука при температуре газа в цилиндре, принимаемая равной средней арифметической между начальной и конечной температурами. Соответствующая фаза запаздывания $\Delta\varphi = \omega\tau$, где ω – угловая скорость. На этот угол смещается индикаторная диаграмма $p(\varphi)$ в сторону нарастающих углов (рис. 7.8, *а*).

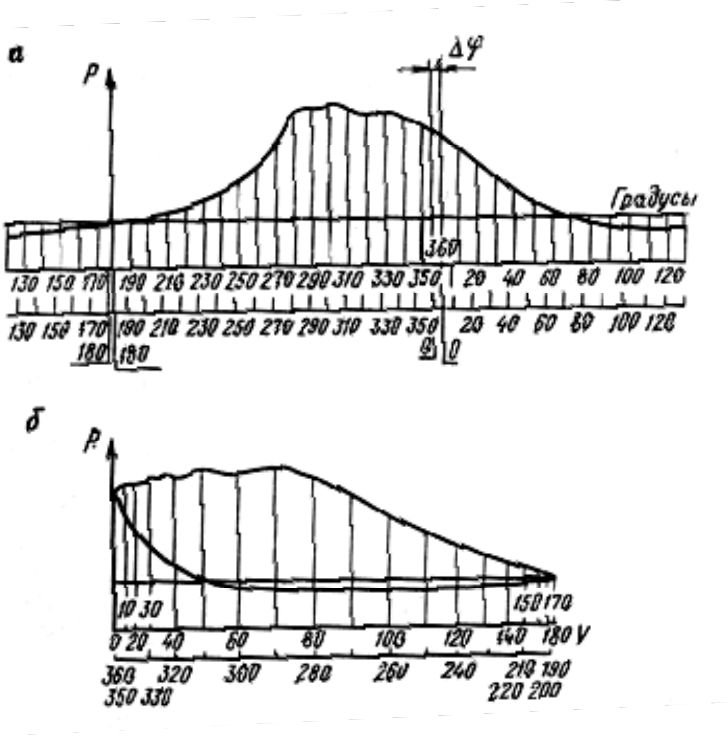


Рис. 7.8. Индикаторная диаграмма:

а – по углу поворота вала; *б* – в координатах V, p

Мощность, затрачиваемая на преодоления трения, определяется с учётом затрат на привод вспомогательных механизмов от вала компрессора $N_{всп}$:

$$N_м = N_в - \sum N_{инд} - N_{всп}.$$

Механический КПД компрессорной части газомоторного компрессора определяется как отношение индикаторной мощности компрессорных цилиндров к эффективной мощности силовой части, известной по её характеристике.

§ 7.5. Основные сведения об эксплуатации компрессоров

Общие положения

Компрессоры имеют сложное хозяйство по смазке деталей, их охлаждению, регулированию и защите. Надёжная, экономичная и безопасная их работа обеспечивается при соблюдении положений эксплуатационных инструкций, разрабатываемых для каждого предприятия на основе инструкций заводов-изготовителей в соответствии с Правилами Ростехнадзора, Правилами устройства и обслуживания воздушных компрессоров и воздухопроводов, Инструкцией по охране труда и Правилами пожарной безопасности.

Для каждого компрессора предусмотрен паспорт, в котором содержатся подробная техническая характеристика, результаты испытания, чертежи компрессора, оперативные схемы всех трубопроводов и электрических соединений и другие материалы.

На основании испытаний и данных эксплуатации устанавливаются нормы расхода энергии, смазочного материала, охлаждающей воды, а также нормы хранения запасных частей.

В компрессорной должна вестись техническая документация, предусмотренная Правилами Ростехнадзора, а также вахтенный и ремонтный журналы по установленной форме.

Пуск и остановка компрессоров – ответственная часть обслуживания. Независимо от типа компрессора при подготовке к пуску осматривают машину, удаляют посторонние предметы и инструмент. Проверяют затяжку болтов, исправность ограждений. Контролируют заправку смазочной системы, проверяют правильность действия масляной системы и в случае необходимости очищают её элементы. Открывают вентиль для охлаждения компрессора и холодильников, контролируют слив воды и выпуск воздуха из верхней части водяных пространств через краны; компрессор переводят на режим холостого хода, открывают все продувочные вентили у холодильников и влагомаслоотделителей, проверяют правильное положение пускорегулирующей аппаратуры (вентилей, задвижек). Проворачивают вручную маховик поршневого компрессора или включают на короткое время электродвигатель центробежного компрессора с целью проверки отсутствия ударов, толчков, задевания движущихся частей о неподвижные, вибрации подшипников, подачи масла к подшипникам.

Перед пуском компрессора приводят в действие пусковой масляный насос. Включают двигатель и по достижении рабочей скорости снова проверяют

подачу масла. Загрузку многоступенчатых компрессоров осуществляют последовательным закрытием продувочных вентилей первой, второй и т. д. ступеней, при этом следят, чтобы давления по ступеням не превосходили предельных. Загрузку центробежного компрессора производят постепенным открыванием задвижек на всасывающем и нагнетательном трубопроводах и закрыванием на обводной линии.

Перед остановкой компрессор переводят на холостой ход. У центробежного компрессора закрывают линию всасывания и на время остановки машины приводят в действие масляный пусковой насос. После остановки выключают линии смазки, закрывают задвижку на выходе и прекращают подачу воды. Приводят машину в состояние готовности к пуску.

Контроль за работой компрессора. В вахтенный журнал через определённые промежутки времени записывают давление и температуру газа в подводящей и отводящей линиях каждой ступени (или корпуса) компрессора, давления и температуры в маслопроводах и водопроводах, количество подаваемого газа, расход энергии, воды на охлаждение и др.

Во время работы компрессора необходимо систематически выполнять следующие работы:[22]

1. Наблюдать за действием масляной системы. Проверять работу лубрикаторов, следить за наличием масла в них. Если в лубрикатор попадает машинное масло, то во избежание взрыва в воздушном компрессоре необходимо немедленно остановить компрессор и промыть лубрикатор. Проверять по манометру давление масляного насоса (нормальное 0,15 – 0,25 МПа) и следить за уровнем масла в маслосборнике. Поворотом рукоятки периодически очищать фильтр грубой очистки.

2. Следить за правильностью распределения давления по ступеням компрессора, а в случае отклонений от нормального остановить машину.

3. Следить за температурой в конце сжатия каждой ступени. При достижении предельной температуры компрессор должен быть остановлен.

4. Следить за показаниями приборов, указывающих потребление энергии (амперметра, вольтметра и др.).

5. Проверять температуру охлаждающей воды на выходе.

6. Продувать промежуточные холодильники и влагомаслоотделители. Следить, чтобы в воздухосборнике не накапливались влага и масло, и время от времени продувать его.

---

[22] Эти рекомендации даны для поршневого компрессора, но во многом относятся и к другим компрессорам.

7. Следить за исправностью всех предохранительных клапанов.

8. Следить за плотностью всех соединений и немедленно устранять обнаруженную неисправность. Не допускается крепление соединений на ходу компрессора под давлением (отрыв болта может вызвать повреждение соединения и причинить увечья).

9. Следить за затяжкой фундаментных болтов. Затягивать их разрешается только на остановленном компрессоре.

10. Регулярно следить за состоянием фундамента, обращая внимание на малейшие трещины в нём. Содержать в чистоте компрессор, фундамент и пол вокруг машины.

Смазка компрессоров. Смазка служит для уменьшения износа, снижения работы трения и улучшения КПД, а также для охлаждения трущихся частей, повышения уплотняющей способности поршневых колец и сальников, обеспечения герметичности щелевых уплотнений в компрессорах.

Для смазки центробежных компрессоров применяют турбинные масла различных марок. Поршневые компрессоры могут иметь совместную и раздельную систему смазки. В бескрейцкопфных компрессорах, а также газомотокомпрессорах цилиндры и механизмы движения смазываются одним и тем же маслом – компрессорным или авиационным (МС – 20, МК – 22), залитым в картер. В крейцкопфных машинах (кроме ГМК) обычно имеются две независимые системы смазки

Механизм движения смазывается машинным маслом средней вязкости (индустриальные 30, 45, и 50)[23].

Для смазки цилиндров и сальников применяют только высококачественные масла, обладающие высокой стабильностью (способностью противостоять окислению), температурой вспышки не ниже 210 °С, кинематической вязкостью 12 – 20 $см^2/с$ при 100 °С, а также незначительной кислотностью. Для смазки воздушных компрессоров применяют компрессорное масло марки 12 («М») и 19 («Т»).

Для компрессоров, сжимающих инертные, а также углеводородные и коксовые газы, не окисляющие масло, рекомендуются цилиндровые масла. Кислородные компрессоры смазываются смесью воды с глицерином, хлорные – концентрированной серной кислотой.

---

[23] Цифры означают среднюю вязкость в $мм^2/с$ при 50 °С.

Применение масла, не соответствующего требуемому качеству, вызывает усиленный износ машины и отложение нагара (см. § 5.1). Поддержание правильного режима смазки, своевременная смена масла обеспечивают надёжную работу всякой машины и снижение расхода энергии.

Срок замены масла определяется по данным эксплуатации в зависимости от системы смазки и условий работы компрессора.

Охлаждение компрессоров. Охлаждение компрессоров бывает водяное или воздушное. Выбор вида охлаждения зависит от источников водоснабжения, наличия оборудования и от экономических соображений. Крупные и средние компрессоры обычно охлаждают водой, а компрессоры малой производительности имеют воздушное охлаждение.

Существуют две системы водоснабжения компрессорных установок – оборотная (система циркуляционного водяного охлаждения) и прямоточная (охлаждение проточной водой). Прямоточная система простая, но требует большого расхода и естественного источника мягкой воды. В оборотной системе вода подаётся только для покрытия потерь и сама охлаждается в охладительных устройствах. При этом система состоит из одного, двух или трёх циклов.

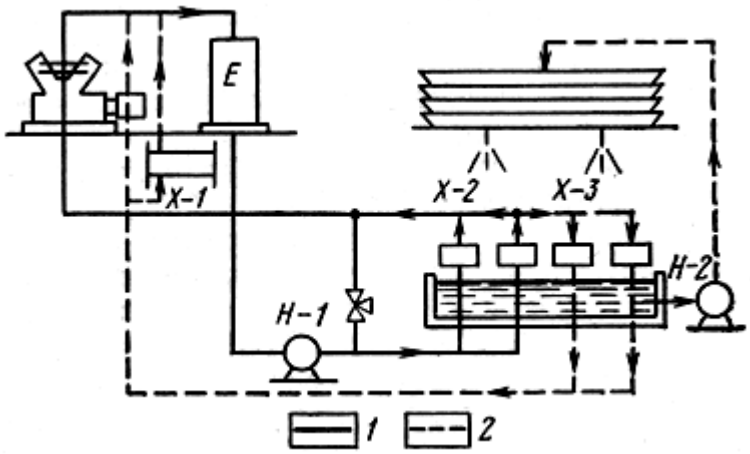


Рис. 7.9. Схема смешанного цикла охлаждения:

E – расширительный бак; *X* – 1 – масляный холодильник;
X – 2, *X* – 3 – водяные холодильники; *H* – 1, *H* – 2 – насосы:
1 – горячая ветвь; *2* – холодная ветвь

Циклы охлаждения бывают закрытыми или открытыми. В закрытом цикле количество и качество оборотной воды стабильны. В открытом цикле вода при охлаждении свободно испаряется, становится жёсткой и насыщается кислородом. Вследствие испарения воды на горячих поверхностях металлическое оборудование покрывается накипью и ржавеет.

Цикл оборотной системы охлаждения состоит из циркуляционных насосов, объектов охлаждения, охладительных устройств для воды, из трубопроводов и расширительных баков. Объекты охлаждения – двигатели и компрессоры, а также газовые, масляные и водяные потоки в охладителях. В качестве охладительных устройств служат градирни, холодильники (оросительные и кожухотрубные) и брызгательные бассейны.

В качестве примера на рис. 7.9 изображена схема смешанного цикла охлаждения газомоторных компрессоров.

Вся водяная система периодически очищается в сроки, установленные применительно к данным условиям.

Очистка газа от механических примесей. Для предохранения оборудования от преждевременного износа воздух или газ, всасываемый в машину, должен быть очищен от твёрдых частиц (пыли, песка, окалины, продуктов коррозии). Для очистки газа применяют масляные пылеуловители, висциновые фильтры и циклонные сепараторы. Принцип действия масляного пылеуловителя заключается в том, что в корпусе аппарата поток газа теряет скорость и изменяет направление над зеркалом солярового масла, в результате чего из газа выпадают крупные твёрдые частицы, поглощаемые маслом. Затем газ проходит через фильтр для дополнительной очистки. Загрязнённое масло из пылеуловителей периодически удаляется. Такие же аппараты служат в качестве масловлагоотделителей.

Металлические фильтры состоят из ряда ячеек (сот), заполненных металлическими или фарфоровыми кольцами или металлической стружкой. Фильтрующая набивка смазывается невысыхающим висциновым маслом и периодически промывается в щелочном растворе. Действие циклонных сепараторов основано на разделении компонентов потока, имеющих различную плотность, при винтовом движении.

В небольших компрессорах для очистки воздуха применяют матерчатые фильтры.

Автоматизация компрессоров

Система автоматизации представлена следующими элементами.

1. **Автоматический контроль и регистрация показателей действия установки.** Наиболее важная информация передаётся на центральный пульт.

2. **Сигнализация контрольная и аварийно-предупредительная.** Задача контрольной сигнализации – информировать о состоянии регулирующих органов («включено», «выключено»), аварийно-предупредительной – предупреждать световыми или звуковыми сигналами о недопустимом отклонении контролируемых величин от заданных.

3. **Блокировка защитная или защитно-разрешающая.** Защитная блокировка автоматической остановкой компрессора предотвращает аварию при перегрузке двигателя, в случае недостатка смазки и охлаждающей воды, при значительных отклонениях давления и температуры газа по ступеням от номинальных их значений, при повышении температуры подшипников и т. д. Защитно-разрешающая блокировка предотвращает ошибочные действия автоматического управления или обслуживающего персонала, например, пуск машины без охлаждения и др.

4. **Автоматическое регулирование** поддерживает в определённом интервале давление в воздухосборнике или в трубопроводе, изменяя подачу компрессоров или осуществляя их автоматический запуск и остановку.

5. **Автоматическое управление** обеспечивает подготовку к пуску, управление работой и выключение основного и вспомогательного оборудования в определённой последовательности.

Системы автоматизации бывают электрические, механические и смешанные. Автоматизация может быть частичной или полной.

Степень автоматизации зависит от назначения, условий работы и конструкции агрегата.

В комплекс автоматизации входят панели автоматики, исполнительные устройства, промежуточные элементы автоматики и отдельные местные органы с самостоятельными функциями.

Автономные станции КС–550 и газомотокомпрессоры ГМ–8 комплектуются пневматическими системами «Моноблок–5» и «Моноблок–1». На газомотокомпрессорах 10 ГКН применяют системы автоматики «Компрессор–2» и «Компрессор–3», а газомотокомпрессоры МК–8 снабжены системами автоматики «Курс–1». Наиболее совершенная система автоматики – у компрессоров ДР–12, включающая в себя, в частности, автоматическое поддержание (с применением вычислительного устройства) на заданном уровне крутящего момента двигателя путём воздействия на регуляторы подачи компрессора.

Техника безопасности

Общие требования безопасности к конструкциям на компрессоры и компрессорные установки всех видов установлены ГОСТ 12.2.016–76. Требования безопасности при монтаже, эксплуатации и ремонте регламентированы в нормативно-технической документации. «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов» распространяются на объёмные компрессоры, работающие на воздухе и инертных газах. В них содержатся требования к эксплуатации и ремонту. Действуют «Правила устройства и безопасной эксплуатации поршневых компрессоров, работающих на взрывоопасных и токсичных газах», которые не распространяются на поршневые газоперекачивающие агрегаты.

Требования к нефтепромысловым компрессорам содержатся в «Нормативах по технике безопасности на проектирование оборудования, установок и инструмента для нефтедобывающей промышленности», а к газокомпрессорным станциям и газокомпрессорным установкам – в «Правилах безопасности в нефтегазодобывающей промышленности».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении материалов данного учебного пособия необходимо пользоваться дополнительной специальной литературой по конструкциям компрессоров, чтобы быть в курсе тех изменений, которые вносятся в их конструкции, активно участвовать в практических занятиях по изучению узлов компрессорных станций.

Повышение уровня технического совершенства компрессоров, т. е. их качества, надежности и экономичности, осуществляется несколькими путями:

1. Разработка комплексных мероприятий по повышению качества изготовления. Сюда относятся и вопросы использования новых материалов, совершенствования конструкций и технологических процессов производства, а также широкой унификации агрегатов.

2. Проведение исследований по повышению надежности и установлению оптимальных режимов эксплуатации компрессоров. Сюда входит разработка стандартных методов и типовых программ испытаний (моторесурсные и специальные ускоренные испытания на надежность, всесторонние эксплуатационные испытания с проверкой надежности новых деталей и узлов, исследования эксплуатационной надежности импортного оборудования). Значительное внимание уделяется исследованиям наиболее тяжелых для компрессора пусковых режимов и внедрению средств технической диагностики при эксплуатации и ремонте.

3. Надежность и экономичность компрессоров обеспечиваются непрерывным совершенствованием системы технического обслуживания и ремонта оборудования, разработкой подробной эксплуатационной и ремонтной документации, нормативов численности обслуживающего и ремонтного персонала.

4. Одним из решений проектирования сложных конструктивных схем является внедрение современных информационных технологий и методик в общем и CALS-методологии – в частности. Концепция и стандарты CALS определяют набор правил и регламентов, в соответствии с которыми строится взаимодействие субъектов. Использование новых информационных технологий неизбежно влечет за собой пересмотр существующих принципов и методов проектирования. Сегодня уже недостаточно получения геометрической или математической модели проектируемого изделия и набора чертежей. В процессе моделирования необходимо получать динамические пространственные модели, отражающие полную структуру изделия, его взаимодействие с оборудованием.

Создание полной электронной модели изделия – основная задача CALS-технологии. Надежность поршневых компрессоров во многом зависит от стабильности подачи смазочного масла к подшипникам и другим трущимся деталям шатунно-поршневой группы. В связи с высокой растворимостью смазочных масел в хладоне-12 и фреонах требуется обеспечивать необходимое давление в системе и разгружать компрессор при пуске до достижения рабочего давления масла. Для этого используют различные способы: ручное и автоматическое управление всасывающим и нагнетательным вентилями, регулирование давления масла способом безопасного изменения подачи его насосом, контроль за давлением масла в эксплуатации. Часто совмещают эти способы. Например, автоматический контроль за давлением масла сочетается с использованием автоматических запорного, всасывающего и нагнетательного клапанов. Безаварийная работа обеспечивается и такими мерами, как тщательная очистка, сушка и вакуумирование холодильных агрегатов, использование чистых хладагентов и масел, повышение теплостойкости изоляции обмоток встроенных электродвигателей компрессоров. На надежности агрегатов сказывается и проводящаяся специализация заводов-изготовителей и ремонтных предприятий, внедрение крупносерийного способа производства, комплектная поставка оборудования и холодильных агрегатов с максимальной степенью готовности предприятиям, которые будут их эксплуатировать.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните, что такое компрессор?

2. Поясните, что такое компрессорная установка?

3. По каким основным признакам классифицируют компрессоры?

4. Что представляет компрессор объемного типа?

5. Назовите конструкции компрессоров объемного типа.

6. Что такое компрессор лопастного (динамического) типа?

7. Назовите конструкции компрессоров лопастного типа.

8. В каких отраслях народного хозяйства применяются компрессоры?

9. Назовите области применения компрессоров различных типов по производительности и давлению.

10. Назовите основные рабочие параметры компрессора.

11. Что такое компрессор угловой, горизонтальный, оппозитный?

12. Что такое компрессор многоступенчатый?

13. Что такое компрессор мембранный и каковы области его применения?

14. Объясните принцип работы компрессора с вращающимися поршнями (типа Руте).

15. Объясните принцип работы ротационно-пластинчатого компрессора.

16. Объясните принцип работы жидкостно-кольцевого компрессора.

17. Объясните принцип работы винтового компрессора.

18. В чем отличие винтового компрессора сухого трения от компрессора маслозаполненного?

19. Объясните принцип работы центробежного компрессора.

20. Объясните принцип работы осевого компрессора.

21. Что такое ступень сжатия и предварительного охлаждения криогенной установки?

22. Какие типы компрессоров применяются в криогенных установках?

23. Назовите основные уравнения газодинамики.

24. К каким лопастным компрессорам применимы уравнения количества и моментов количества движения газа?

25. Для каких целей используются треугольники скоростей на входе и выходе лопастного колеса?

26. Что такое теоретический, статический, динамический напор лопастного компрессора?

27. Назовите виды внутренних потерь в лопастном компрессоре.

28. Крейцкопфные и бескрейцкопфные компрессоры, их различие и области применения.

29. Что такое относительное мертвое пространство поршневого компрессора?

30. Объясните отличия объемной, массовой, приведенной производительностей компрессора.

31. Какие допущения вводятся при рассмотрении теоретического процесса поршневого компрессора?

32. Поясните, что такое индикаторная диаграмма компрессора?

33. Какие потери учитываются при рассмотрении действительного процесса поршневого компрессора?

34. Назовите условия перехода на многоступенчатое сжатие и его преимущества.

35. Каковы оптимальные степени повышения давления поршневых компрессоров?

36. Что такое коэффициент утечек, коэффициент производительности поршневого компрессора?

37. Из каких фаз состоит рабочий цикл винтового компрессора?

38. Каковы основные геометрические характеристики винтового зацепления компрессора?

39. Назовите основные профили винтового зацепления компрессора.

40. Назовите внутренние и внешние потери винтового компрессора.

41. Зачем эксцентриситет между ротором и статором у ротационно-пластинчатого компрессора?

42. Назовите основные элементы рабочих органов ротационно-пластинчатого компрессора.

43. Каковы основные потери в ротационно-пластинчатом компрессоре?

44. Для сжатия каких газов и при каких условиях применимо уравнение состояния идеального газа?

45. Какие факторы учитывает уравнение состояния реального газа?

46. Какие уравнения состояния используются для газовой смеси?

47. Каковы условия, необходимые для обеспечения изотермического и адиабатного сжатия в компрессоре?

48. Почему в компрессорной установке применяется охлаждение сжимаемого газа?

49. Поясните, что такое адиабатный, политропный, механический КПД компрессора?

50. Как рассчитывается газовая постоянная для смеси газов?

51. Объясните, как осуществляется регулирование работы компрессора.

52. Назовите способы регулирования поршневого компрессора.

53. Назовите способы регулирования работы винтовых компрессоров, их преимущества и недостатки.

54. Назовите характеристики ротационно-пластинчатого компрессора и их функциональную зависимость.

55. Назовите способы регулирования работы ротационно-пластинчатых компрессоров.

56. Назовите характеристики лопастного компрессора.

57. Объясните, что такое помпаж?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агроскин И. И., Пикалов Ф. И., Дмитриев Г. Т.* Гидравлика. М.: Энергия, 1964.

2. *Атомные электрические станции*. Вып. 3. М.: Энергия, 1980.

3. *Байбаков О. В.* Вихревые гидравлические машины. М.: Машиностроение, 1981.

4. *Башта Т. М.* Машиностроительная гидравлика. М.: Машгиз, 1963.

5. *Башта Т. М.* Объёмные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. М.: Машиностроение, 1974.

6. *Белоконь Н. И.* Основные принципы термодинамики. М.: Недра, 1968.

7. *Васильцов Э. А., Невелич В. В.* Герметичные электронасосы. М.: Машиностроение, 1968.

8. *Галимзянов Ф. Г.* Вентиляторы. Атлас конструкций. М.: Машиностроение, 1968.

9. *Гофлин А. П.* Аэродинамический расчет проточной части осевых компрессоров. М.: Машгиз, 1959.

10. *Расчёт, конструирование и эксплуатация турбобуров* / М. Т. Гусман, Б. Г. Любимов, Г. М. Никитин и др. М.: Недра, 1976.

11. *Объёмный гидропривод нефтепромыслового оборудования* / А. А. Даниелянц, А. В. Круткин, В. В. Орлов и др. М.: Недра, 1973.

12. *Поршневые компрессоры* / С. Е. Захаренко и др. М.-Л.: Машгиз, 1961.

13. *Казакевич В. В.* Автоколебания в компрессорах. М.: Машиностроение, 1974.

14. *Кириллов И. И.* Теория турбомашин. М.: Машиностроение, 1972.

15. *Ломакин А. А.* Центробежные и осевые насосы. М.: Машиностроение, 1966.

16. *Малюшенко В. В., Михайлов А. К.* Энергетические насосы: справочное пособие. М.: Энергоиздат, 1981.

17. *Малюшенко В. В., Михайлов А. К.* Насосное оборудование ТЭС. М.: Энергия, 1975.

18. *Мисарек Д.* Турбокомпрессоры. М.: Машиностроение, 1968.

19. *Михайлов А. К., Малюшенко В. В.* Конструкции и расчёт центробежных насосов высокого давления. М.: Машиностроение, 1971.

20. *Михайлов А. К., Малюшенко В. В.* Лопастные насосы. М.: Машиностроение, 1977.

21. *Насосы*. Каталог – справочник. М. – Л.: Машгиз, 1960.

22. *Николич А. С.* Поршневые буровые насосы. М.: Недра, 1973.

23. *Подобуев Ю. С, Селезнев К. П.* Теория и расчет центробежных и осевых компрессоров. М.: Машгиз, 1957.

24. *Пфлейдерер К.* Лопаточные машины для жидкостей и газов. М.: Машгиз, 1960.

25. *Рис В. С.* Центробежные компрессорные машины. М.: Машгиз, 1964.

26. *Робожев А. В.* Насосы для атомных электрических станций. М.: Энергия, 1979.

27. *Сакун И. А.* Винтовые компрессоры Л.: Машиностроение, 1970.

28. *Стесин С. П., Яковенко Е. А.* Гидродинамические передачи. М.: Машиностроение, 1973.

29. *Компрессорные машины* / К. И. Страхович, М. И. Френкель, И. К. Кондряков и др. М.: Гостоптехиздат, 1961.

30. *Сидоров М. Д.* Справочник по воздуходувным и газодувным машинам. М.: Машгиз, 1962.

31. *Синев Н. М., Удовиченко П. М.* Бессальниковые водяные насосы. М.: Атомиздат, 1972.

32. *Соколов Е. Я., Зингер Н. М.* Струйные аппараты. М.: Энергия, 1970.

33. *Центробежные вентиляторы* / Т. С. Соломахова и др. М.: Машиностроение, 1975.

34. *Соломахова Т. С, Чебышева К. В.* Центробежные вентиляторы: справочник. М.: Машиностроение, 1980.

35. *Степанов А. И.* Центробежные и осевые компрессоры, воздуходувки и вентиляторы. М.: Машгиз, 1960.

36. *Степанов А. И.* Центробежные и осевые насосы. М.: Машгиз, 1960.

37. *Ушаков К. А., Брусиловский И. В., Бушель А. Р.* Аэродинамика осевых вентиляторов и элементы их конструкций. М.: Госгортехиздат, I960. 422 с.

38. *Френкель JW. И.* Поршневые компрессоры. М.: Машиностроение, 1969.

39. *Хлумский В.* Ротационные компрессоры и вакуум-насосы. М.: Машиностроение, 1971.

40. *Храпач Г. К.* Эксплуатация компрессорных установок. М.: Недра, 1972.

41. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Энергия, 1977.

42. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Энергоатомиздат, 1984.

43. *Чиняев И. А.* Поршневые насосы. М. – Л.: Машиностроение, 1966.

44. *Чиняев И. А.* Роторные насосы. Л.: Машиностроение, 1969.

45. *Центробежные компрессорные машины* / Ф. М. Чистяков, В. В. Игнатенко, Н. Г. Романенко и др. М.: Машиностроение, 1969.

46. *Шерстюк А. Н.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Высшая школа, 1972.

47. *Яременко О. В.* Испытания насосов. М.: Машиностроение, 1976.

48. *Sedille M.* Ventilateursetcjmhresseurs centrifuges et axiaux Paris, Eyrolles – Masson, 1973.

49. *Sedille M.* Turbo – machines hydrauliquesetthermiques. Tome II.Pompes centrifuges etaxiales. Paris, 1967.

50. *Молодова Ю. И.* Компрессоры объемного действия. Типы и механизмы движения: учеб.-метод. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 41 с.

51. *Гидромашины и компрессоры*: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 151000 «Технологические машины и оборудование» / сост. Г. Р. Зиякаев; Томский политехн. ун-т. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2016. 56 с.

Учебное издание

Валентин Яковлевич ПОТАПОВ
Алексей Владимирович ДОЛГАНОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ГОРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие
для студентов специальностей: 21.05.04 – «Горное дело»,
15.03.02 – «Технологические машины и оборудование»

Редактор *Л. В. Устьянцева*
Компьютерная верстка *Горшковой Э. М., Сайгиной Н. Л.*

Подписано в печать 01.11.2018 г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 10,75. Уч.-изд. л. 11,45. Тираж 100 экз. Заказ

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ГИДРАВЛИКА

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация

№ 9 ***«Горные машины и оборудование»***

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2018

Авторы: Бебенина Т.П.

Одобрена на заседании кафедры
Технической механики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Таугер В.М.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 6 от 15.05.2018
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург
2019

Т. П. Бебенина

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Екатеринбург

2019

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕМА 1.Гидростатическое давление в точке жидкости……..6
2. ТЕМА 2. Сила давления жидкости на плоские поверхности……20
3. ТЕМА 3. Сила давления покоящейся жидкости на криволинейные поверхности…….34
4. ТЕМА 4. Расчет простых коротких трубопроводов……49
5.ТЕМА 5. Основы гидравлического расчета сложных трубопроводных систем……....66

Принятые обозначения и единицы физических величин

Геометрические величины

r, м, мм – радиусы сечений, стенок, отводов; расстояния точек в потоках от условного центра;

R, м – гидравлический радиус;

d, м, мм – диаметры;

b, B, l, L м, мм – ширина, длина, геометрический размер;

h, H, м – глубина, высота;

h_C, м – глубина погружения центра тяжести (C) стенки;

h_D, м – глубина погружения центра давления (D);

s, м, мм – расстояние, ход поршня;

A, м^2 – площадь фигуры, стенки, площадь поршня;

W, м^3 – объем жидкости, газа;

ω, м^2 – площадь (живого) сечения потока;

χ, м – смоченный периметр.

Механические величины

m, кг – масса жидкости, газа;

ρ, кг/м^3 – плотность (масса одной кубической единицы объема) жидкости, газа;;

γ, Н/м^3 – удельный (объемный) вес жидкости, газа;

F, P, N,G, Н – сила;

R, Н – сила давления;

p, Па – напряжение, давление жидкости, газа;

M, Нм (Дж) – момент силы;

N, Дж/с, Вт – мощность;

E, Дж – энергия;

e, м – удельная энергия.

Кинематические величины

g, м/с^2 – ускорение свободного падения;

u, v, м/с – действительная и средняя скорости;

a, м/с^2 – ускорение;

t, с – время.

Гидродинамические величины

Q, м^3/с – объемный расход жидкости;

H, м – напор;

h_w, м – потери напора жидкости, газа;

h_r, м – местные потери напора;

h_l, м – потери напора по длине (линейные);

T, ^oC, ^oK – температура

μ, Па·с – динамический коэффициент вязкости (динамическая вязкость);

ν, м^2/с – кинематический коэффициент вязкости (кинематическая вязкость);

ζ – коэффициент местного сопротивления;

λ – коэффициент (Дарси) гидравлического трения

μ, *m* – коэффициент расхода;

φ – коэффициент скорости;

η – кпд машины;

A, с^2/м^6 – удельное сопротивление трубопровода;

K, м^3/с – модуль расхода (расходная характеристика);

Re, Fr, Eu – числа Рейнольдса, Фруда, Эйлера.

Таблица соотношений единиц давления

Единица	**Па (Н/м^2)**	**ат (кгс/см^2)**	**кгс/м^2**	**ммвод.ст.**	**м вод.ст.**	**мм рт.ст**	**бар**
1 Па	1	$10,2\cdot10^{-6}$	$0,10^2$	0,102	$102\cdot10^{-6}$	$750\cdot10^{-5}$	10^{-5}
1 ат (кгс/см^2)	$9,81\cdot10^4$	1	10^4	10^4	10	735,6	0,981
1 кгс/м^2	9,81	10^4	1	1	10^{-3}	$73,5\cdot10^{-3}$	$98,1\cdot10^{-6}$
1 мм вод.ст.	9,81	10^{-4}	1	1	10^{-3}	$73,5\cdot10^{-3}$	$98,1\cdot10^{-6}$
1 м вод.ст.	$9,81\cdot10^3$	0,1	10^3	10^3	1	73.56	$98,1\cdot10^{-3}$
1 мм рт.ст	133,3	$1,36\cdot10^{-3}$	13.6	13,6	$13,6\cdot10^{-3}$	1	$1,33\cdot10^{-3}$
1 бар	10^5	1,02	$10,2\cdot10^3$	$10,2\cdot10^3$	10,2	750	1

Таблица с дополнительными (английскими) единицами измерения давления

Единицы	**атм**	**бар**	**Па**	**мм вод.ст**	**мм рт.ст**	**psi**	**ат (кгс/см^2)**	**inch Hg**
атм	1	1,013	101325	10332	760	14,696	1,0333	29,92
бар	$9,87\cdot10^{-1}$	1	10^5	$1,02\cdot10^4$	$7,5\cdot10^2$	14,51	1,0198	29,53
Па	$9,87\cdot10^{-6}$	10^{-5}	1	0,102	$7,5\cdot10^{-3}$	$1,45\cdot10^{-4}$	$1,02\cdot10^{-5}$	$2,95\cdot10^{-4}$
мм вод.ст.	$9,68\cdot10^{-5}$	$9,81\cdot10^{-5}$	9,81	1	$7,36\cdot10^{-2}$	$1,42\cdot10^{-3}$	10^{-4}	$2,896\cdot10^{-3}$
мм рт.ст.	$1,32\cdot10^{-3}$	$1,33^{-3}$	$1,33\cdot10^2$	13,6	1	$1,93\cdot10^{-2}$	$1,36\cdot10^{-3}$	$3,94\cdot10^{-2}$
psi	$6,8\cdot10^{-2}$	$6,9\cdot10^{-2}$	$6,9\cdot10^3$	$7,03\cdot10^2$	51,7	1	$7,03\cdot10^{-2}$	2,04
ат (кгс/см^2)	$9,68\cdot10^{-1}$	$9,8\cdot10^{-1}$	$9,8\cdot10^4$	10^4	$7,36\cdot10^2$	14,22	1	28,96
inch Hg	$3,3\cdot10^{-2}$	$3,39\cdot10^{-2}$	$3,386\cdot10^3$	$3,45\cdot10^2$	25,4	0,49	$3,45\cdot10^{-2}$	1

ТЕМА 1

Гидростатическое давление в точке жидкости

Методические указания по решению задач Тема 1
Гидростатическое давление в точке жидкости

1. При решении используются все законы гидростатики и основное уравнение гидростатики:

$$\boldsymbol{p = p_0 + \rho g h}.$$

2. Учитывается определение манометрического давления и вакуума

3. Проводится **плоскость уровня**, во всех точках которой давление одинаково. Проводится так, чтобы она прошла через одну жидкость, **не прерываемую** другой. Относительно нее записывается **уравнение равновесия – равенства давления.**

4. При необходимости, если в системе не одна жидкость, используется несколько плоскостей уровня. При переходе от одной плоскости к другой учитывается, что в точках, расположенных **ниже** плоскости **давление** увеличивается с глубиной на величину весового давления (+ $\boldsymbol{\rho g h}$), **выше** – уменьшается (- $\boldsymbol{\rho g h}$).

5**. Абсолютное давление** в точках установки пружинных приборов:

манометра $\boldsymbol{p_{абс} = p_а + p_{ман}}$

вакуумметра $\boldsymbol{p_{абс} = p_а - p_{вак}}$

6. В расчетах применяются единицы системы СИ: Па, м, с; поэтому необходимо выполнять перевод производных единиц измерения всех параметров заданных в других системах.

7. Если при определении давления абсолютное подставляется в виде

$$\boldsymbol{p_{абс} = p_а + p_x},$$

то (+ $\boldsymbol{p_x}$) соответствует манометрическому давлению,
(-$\boldsymbol{p_x}$) – вакуумметрическому.

Задача 1.1.

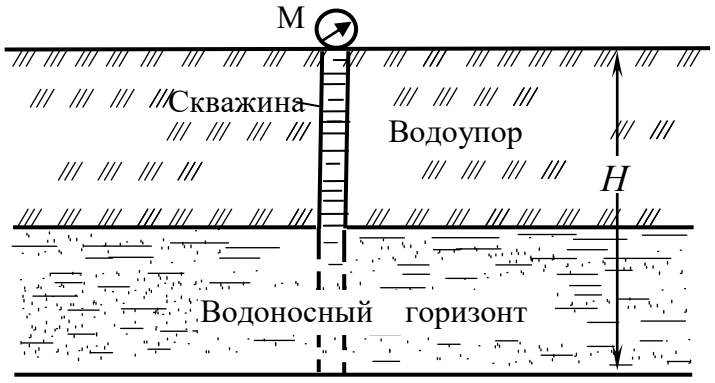


Рис.1.1

При бурении скважины вскрыт водоносный пласт с напорными водами. Устье скважины оборудовано манометром, показание которого составляет $p_{ман}$=0,4 ат.

Определить на какую высоту будет фонтанировать вода из скважины и найти абсолютное гидростатическое давление на забое скважины глубиной H=200 м, если атмосферное давление равно $p_а$=740 мм рт. ст.

Задача 1.2.

Определить показание манометра $p_{ман}$, установленного по центру трубопровода с маслом, если показание U-образного ртутного манометра $h_{рт}$=0,1 м, высота столба воды над ртутью h = 60 мм (рис. 1.2). Уровень ртути в левом колене находится на высоте Z = 1,2 м от оси трубы.

Принять плотности жидкостей: масла $\rho_{масл}$ = 900 кг/м^3; воды ρ= 10^3 кг/м^3; $\rho_{рт}$= 13,6·10^3 кг/м^3.

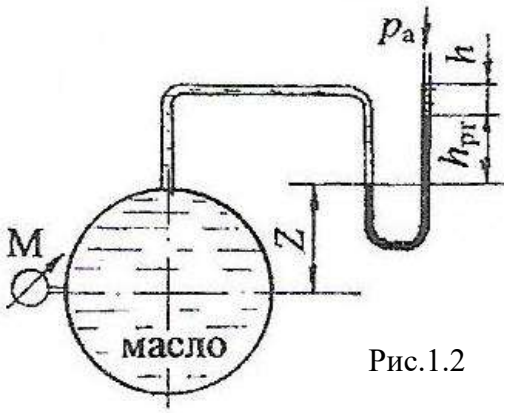


Рис.1.2

Задача 1.3.

В цилиндрический бак (рис.1.3) диаметром D=2 м до уровня H=2,4 м налиты вода и бензин. Уровень воды в пьезометре ниже уровня бензина в баке, разность уровней равна h= 420 мм.

Определить вес находящихся в баке жидкостей, если плотность бензина $\rho_{бенз}$ = 700 кг/м^3, воды ρ=1000 кг/м^3.

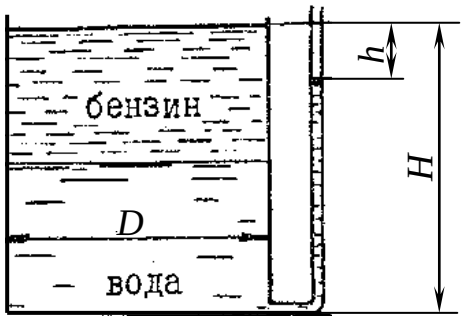


Рис.1.3

Задача 1.4.

Дифференциальный манометр, заполненный ртутью, предназначен для измерения разности давлений на уровне осей трубопроводов A (p_A) и B (p_B), транспортирующих воду и бензин. Оси трубопроводов находятся на одном горизонте (рис. 1.4).

Определить разность давлений в кПа по оси трубопроводов при значениях h_1 = 400 мм; h_2 = 500 мм. Принять плотности жидкостей: воды ρ = 10^3 кг/м^3; ртути $\rho_{рт}$ = 13,6·10^3 кг/м^3; бензина $\rho_{бен}$ = 720 кг/м^3.

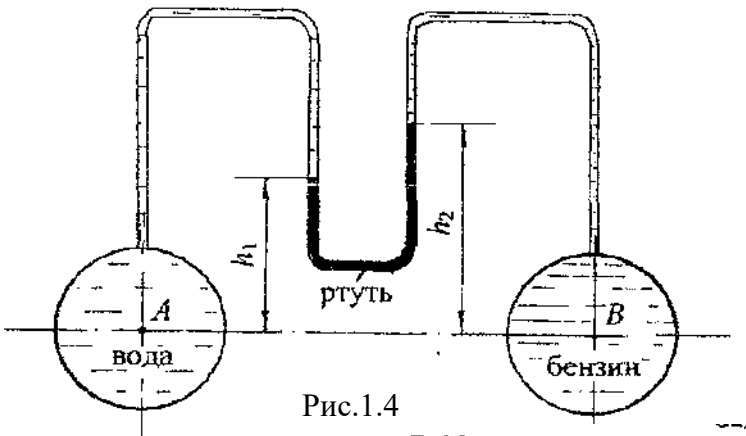


Рис.1.4

Дифференциальный манометр, заполненный ртутью, предназначен
измерения разности давлений на уровне осей трубопроводов A (p_A) и B
транспортирующих воду и бензин. Оси трубопроводов находятся на о
горизонте (рис. 1.1).

Определить разность давлений в кПа по оси трубопроводов
значениях h_1 = 400 мм; h_2 = 500 мм. Принять плотности жидкостей:
ρ = 10^3 кг/м^3; ртути $\rho_{рт}$ = 13,6·10^3 кг/м^3; бензина $\rho_{бенз}$ = 720 кг/м^3.

Ответ: $\Delta p = p_A - p_B$ = 13,72 кПа.

Задача 1.5.

С помощью дифференциального ртутного манометра контролируется разность давлений на уровне оси трубопровода ***A*** (p_A) и оси трубопровода ***B*** (p_B), заполненных водой (рис. 1.5).

Определить показание манометра ($h_{рт}$), если разность давлений $p_B - p_A =$ 19,6 кПа. Ось трубопровода ***B*** выше оси трубопровода ***A*** на величину h = 400 мм. Принять плотности жидкостей: воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

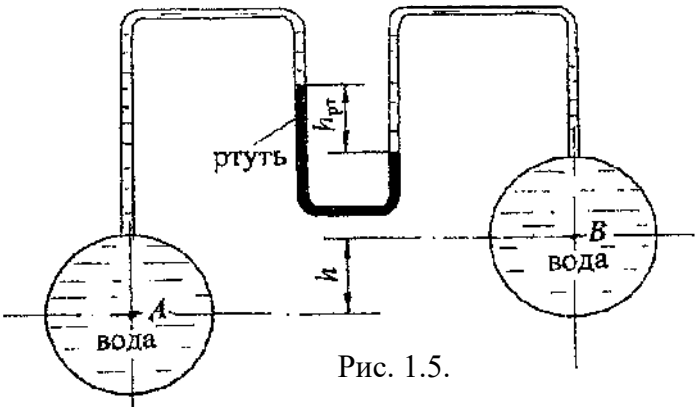
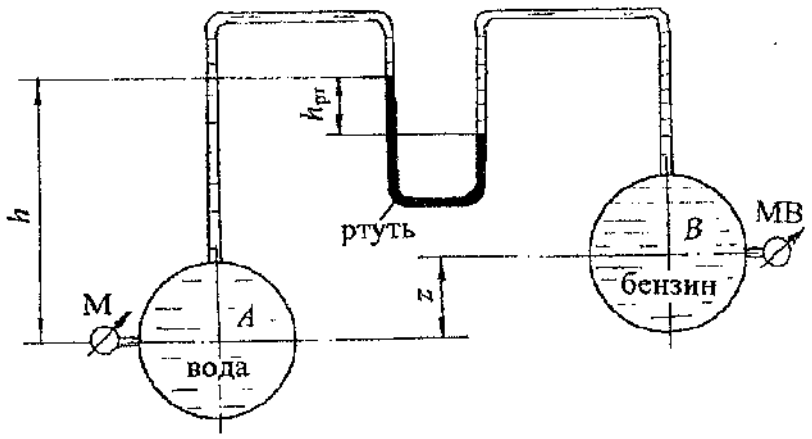


Рис. 1.5.

Задача 1.6.

К двум трубопроводам ***A*** и ***B***, заполненным водой и бензином, подключён *U*-образный ртутный манометр, показание которого $h_{рт}$ = 150 мм. На уровне оси трубопровода ***A*** установлен манометр, показание которого $p_{ман}$ = 0,12 ат. Ось трубы ***B*** находится выше оси трубы ***A*** на расстоянии z = 300 мм (рис. 1.6).

Определить, какое давление, манометрическое или вакуумметрическое, показывает мановакуумметр (МВ), установленный на уровне оси трубы ***B***, если высота уровня ртути в левом колене манометра относительно оси трубы ***A*** - h = 800 мм. Принять плотности жидкостей: воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3; бензина $\rho_{бенз}$ = 720 кг/м^3.



Задача 1.7.

Две трубы ***A*** и ***B***, заполненные водой, соединены *U*–образным ртутным манометром, показание которого $h_{рт}$ = 200 мм. Ось трубы ***A*** выше оси трубы ***B*** на величину Z = 0,4 м (см. рис. 1.7)

Определить показание мановакуумметра ($p_{мв}$), установленного на уровне оси трубы ***B***, если показание манометра на уровне оси трубы ***A*** $p_{ман}$ = 0,12 ат, высота уровня ртути от оси трубы ***B*** h = 0,9 м. Принять плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

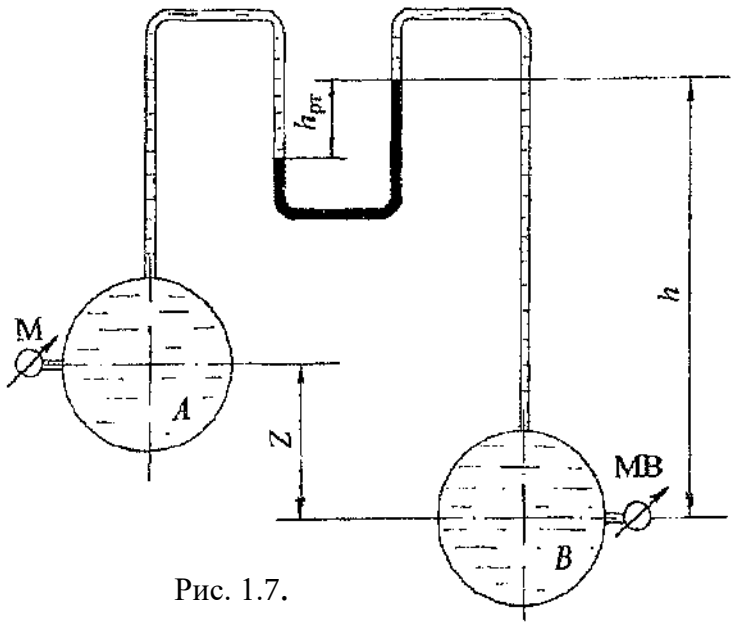


Рис. 1.7.

Задача 1.8.

Цилиндрический резервуар ***A*** соединён трубопроводом с водонапорным баком ***B*** (рис. 1.8). Для контроля уровня воды в баке и действующего напора установлен пьезометр на высоте $H = 1{,}6$ м от подводящего трубопровода.

1. Определить показание манометра **M** ($p_{ман}$ в ат), установленного на трубопроводе, если пьезометрическая высота h_p = 1,2 м.

2. Определить показание *U*-образного ртутного манометра ($h_{рт}$), установленного на высоте h = 1,0 м от оси трубы. Принять то же показание пьезометра h_p = 1,2 м, понижение уровня ртути в левом колене a = 100 мм, плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

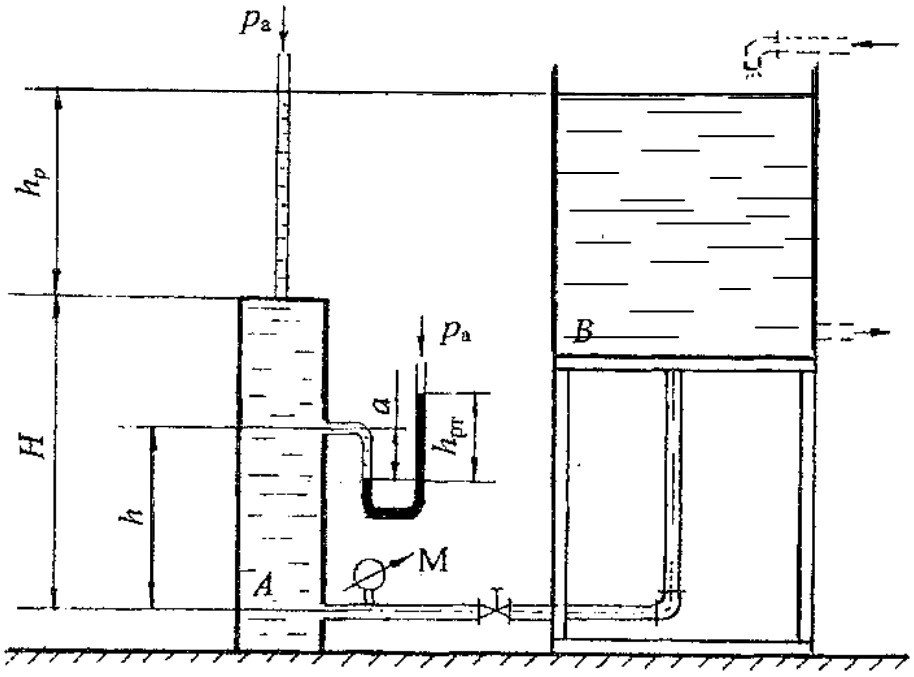


Рис. 1.8.

Задача 1.9.

Для определения давления в воздуховоде установлена *U*–образная трубка, заполненная водой. Для большей точности замеров в случае необходимости подключается чашечный микроманометр с наклонной трубкой, заполненный спиртом (рис. 1.9).

Определить абсолютное давление ($p_{абс}$) в воздуховоде по показанию *U*–образного манометра h = 120 мм, а также рассчитать показание микроманометра (l в мм), если угол наклона трубки $\alpha = 60^\circ$.

Принять атмосферное давление p_a = 740 мм рт. ст., плотности жидкостей: спирта $\rho_{сп}$ = 790 кг/м^3; воды $\rho = 10^3$ кг/м^3. Плотность воздуха можно не учитывать.

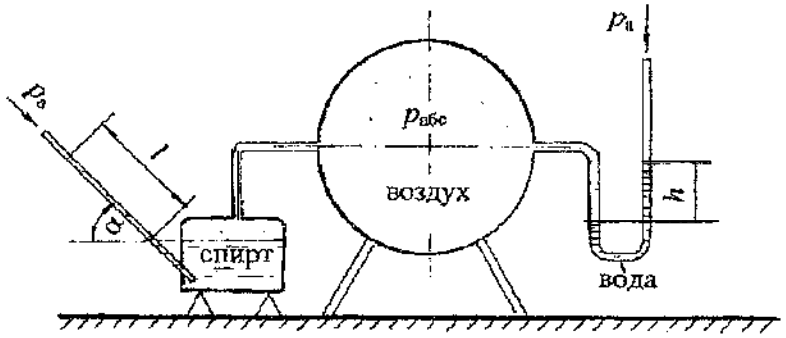


Рис. 1.9.

Задача 1.10.

В закрытом резервуаре масло находится под давлением. Для измерения уровня масла в резервуаре справа выведен уровнемер в виде стеклянной трубки, слева на том же уровне установлен пьезометр для измерения давления в резервуаре (рис. 1.10).

1. Определить показание пьезометра (h_p) при манометрическом (избыточном) давлении на поверхности масла $p = p_{ман} = 0{,}063$ ат и показании уровнемера $h = 0{,}8$ м.

2. Рассчитать абсолютное давление на поверхности масла ($p = p_{абс}$) при $h = 0{,}6$ м и показанию пьезометра $h_p = 1{,}4$ м.

Принять атмосферное давление $p_a = 735$ мм рт. ст., плотность масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3.

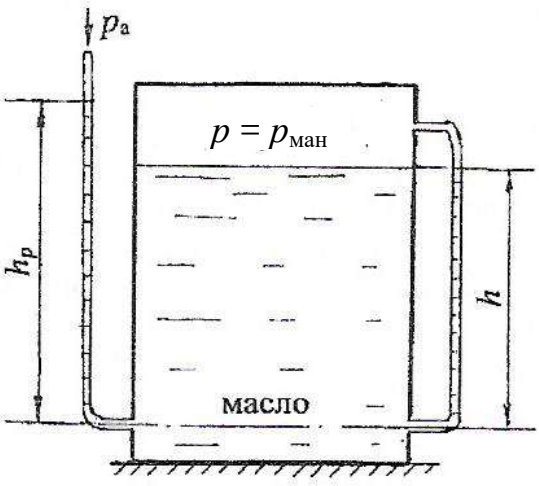


Рис. 1.10.

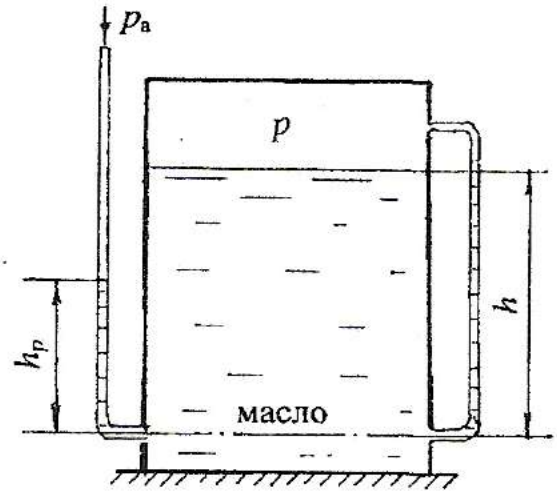


Рис. 1.11.

Задача 1.11.

В закрытом резервуаре, заполненном маслом, на поверхности масла действует давление ***p***. Справа в резервуаре установлена стеклянная трубка в виде уровнемера, показание которой h, слева на том же уровне выведена пьезометрическая трубка для измерения давления (рис. 1.11).

1. Определить показание пьезометра (h_p), если на поверхности масла создан вакуум $p = p_{вак} = 0{,}027$ ат, показание уровнемера $h = 0{,}8$ м.

2. Рассчитать абсолютное давление на поверхности масла ($p = p_{абс}$) при атмосферном давлении $p_a = 740$ мм рт. ст., показании пьезометра $h_p = 0{,}4$ м и значении $h = 1{,}0$ м.

Принять плотность масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3.

Задача 1.12.

В закрытом баке, заполненном бензином, установлено три прибора для регистрации давления: пружинный манометр, учитывающий давление на поверхности бензина, *U*–образный манометр, заполненный ртутью и водой, и пьезометр, выведенный у дна резервуара (рис. 1.12)

В установке предусмотрен уровнемер в виде закрытой стеклянной трубки для отсчёта значений *H*, *h*, *a*.

Определить показание манометра ($p_{ман}$ в ат) и высоту уровня бензина в пьезометре (h_p), если высота столба воды $h_в = 30$ мм, показание *U*–образного ртутного манометра $h_{рт} = 80$ мм. Принять значения $h = 0{,}8$ м; $a = 200$ мм; $H = 2{,}0$ м; плотности жидкостей: воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; бензина $\rho_{бенз} = 720$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

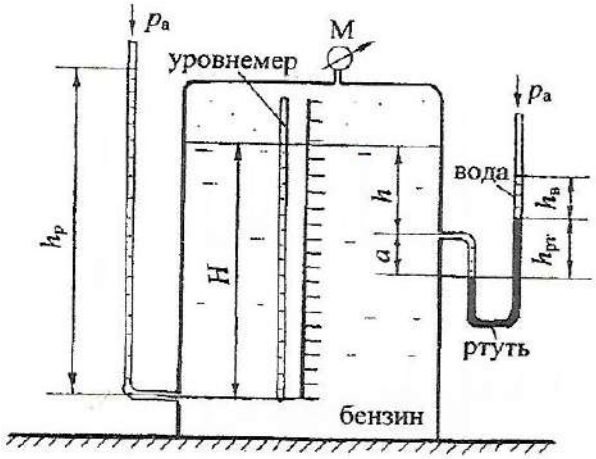


Рис. 1.12.

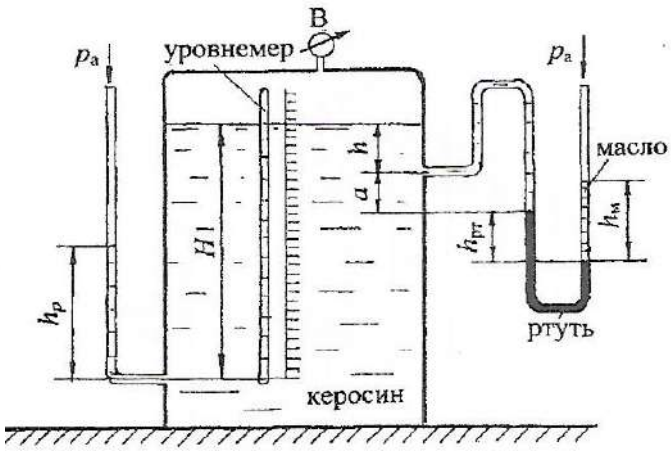


Рис. 1.13.

Задача 1.13.

В закрытом резервуаре на поверхности керосина поддерживается вакуумметрическое давление (рис. 1.12).

Определить показание вакуумметра ($p_{вак}$ в ат) и *U*–образной трубки ($h_{рт}$), если глубина заполнения $H = 2{,}0$ м; показание пьезометра $h_р = 0{,}75$ м; глубина $h = 500$ мм; $a = 300$ мм; высота столба масла над ртутью $h_м = 50$ мм. Для отсчёта величин *H*, *h*, *a* предусмотрен уровнемер.

Принять плотности жидкостей: керосина $\rho_{кер} = 800$ кг/м^3; масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

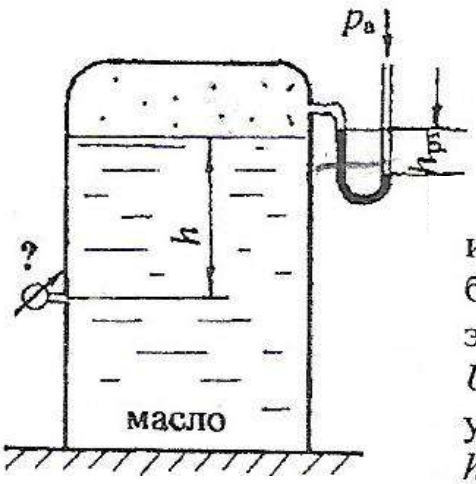


Рис. 1.14.

Задача 1.14.

Определить, каким прибором следует измерять давление на глубине h = 1,2 м в баке, заполненном маслом, и показание этого прибора в ат, если показание U-образного ртутного манометра, установленного на поверхности масла, $h_{рт}$ = 200 мм. Принять плотность масла $\rho_{масл}$ = 900 кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3 (рис. 1.14).

Задача 1.15.

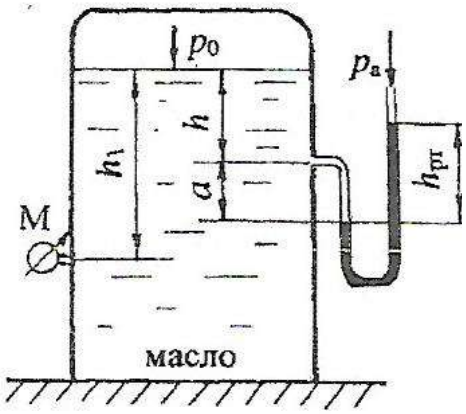


Рис. 1.15.

Определить показание U-образного ртутного манометра ($h_{рт}$), подключённого к резервуару с маслом на глубине h = 0,8 м, если показание пружинного манометра, установленного на глубине h_1 = 1,2 м, $p_{ман}$ = 0,15 ат. Поправка ртутного манометра a = 0,3 м.

Принять плотности жидкостей: масла $\rho_{масл}$ = 900 кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3 (рис. 1.15).

Задача 1.16.

Определить давление (p_0) на поверхности бензина в закрытом резервуаре (рис. 1.16) и показание мановакуумметра, установленного на глубине h = 1,5 м, если показание U-образного ртутного манометра $h_{рт}$ = 400 мм, глубина h_1 = 1,0 м.

Принять плотности жидкостей: бензина $\rho_{бенз}$ = 720 кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

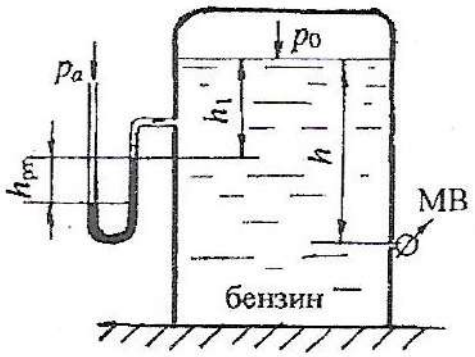


Рис. 1.16.

Задача 1.17.

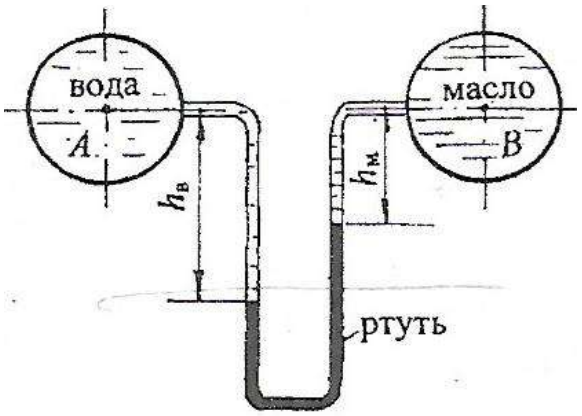


Рис. 1.17.

Определить разность давлений (в ат) в центрах трубопроводов *A* и *B*, заполненных водой и маслом, если высоты уровней воды и масла в *U*-образном ртутном дифференциальном манометре: $h_в$ = 500 мм; $h_м$ = 400 мм (рис. 1.17). Принять плотности жидкостей: масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Задача 1.18.

Два сосуда наполнены разнородными жидкостями - маслом и керосином. На поверхности жидкостей в сосудах действуют давления p_1 и p_2 (рис. 1.18).

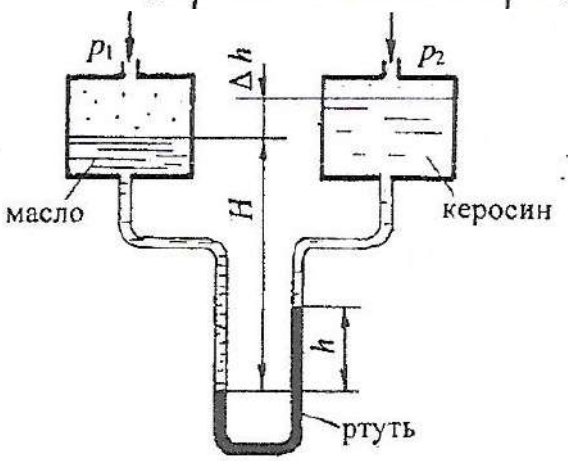


Рис. 1.18.

Найти разность этих давлений, если показание *U*-образного ртутного манометра h = 100 мм, высота уровня масла H = 500 мм, превышение уровня керосина над водой Δh = 40 мм. Принять плотности жидкостей: масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3; керосина $\rho_{кер} = 800$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3 .

Задача 1.19.

В закрытом резервуаре *A*, заполненном маслом, давление на поверхности жидкости p_0 (рис. 1.19). На глубине h = 0,6 м подключён *U*-образный ртутный манометр, показание которого $h_{рт}$ = 40 мм, понижение уровня ртути в правом колене a = 0,2 м. Определить давление p_0 (в бар) на поверхности масла, а также высоту подъёма воды ($h_в$) в стеклянной трубке, опущенной в открытый резервуар *B*, заполненный водой.

Принять плотности: масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3; воды $\rho = 10^3$ кг/м^3.

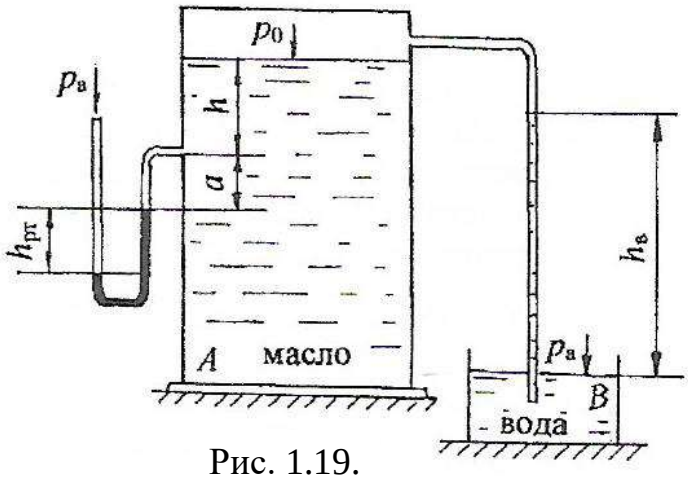


Рис. 1.19.

Задача 1.20.

Определить, каким прибором (манометром или вакуумметром) следует измерить давление газа в баллоне по показанию (h) двухжидкостного чашечного манометра, заполненного водой и ртутью (рис. 1.20), если $H = 0{,}6$ м; $h = 100$ мм; $\Delta h = 40$ мм.

Принять плотности жидкостей: воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3. Показание прибора представить в ат.

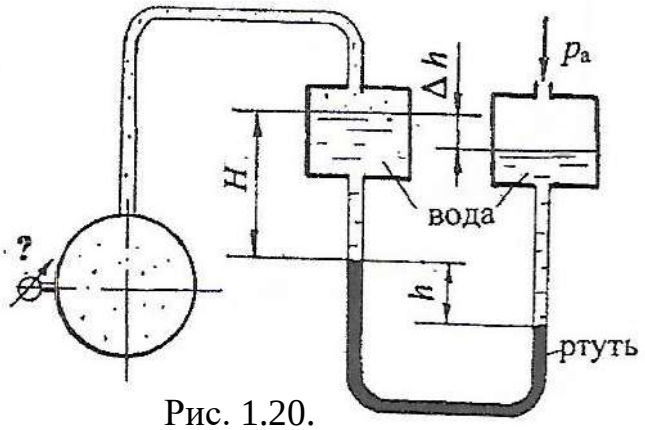


Рис. 1.20.

Задача 1.21.

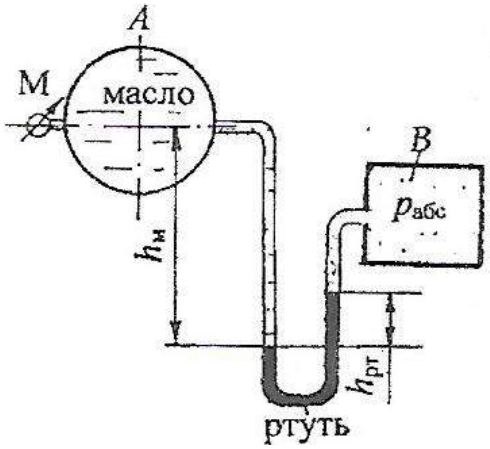


Рис. 1.21.

Определить абсолютное давление воздуха в резервуаре B (рис. 1.21), если показание манометра, установленного по центру резервуара A, заполненного маслом, $p_{ман} = 0{,}12$ ат, высоты уровней масла и ртути в U-образном ртутном манометре соответственно: $h_м = 600$ мм; $h_{рт} = 200$ мм. Плотности: масла $\rho_{масл} = 900$ кг/ м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Задача 1.22.

Определить давление p_x (в бар) в центре сосуда с бензином (рис. 1.22), если показание манометра, включённого на уровне центра сосуда с водой, $p_{ман} = 0{,}12$ ат, высоты уровней жидкостей: $h_1 = 400$ мм; $h_2 = 200$ мм.

Центры резервуаров находятся на одном уровне. Принять плотности жидкостей: бензина $\rho_{бенз} = 720$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3; воды $\rho = 10^3$ кг/м^3 .

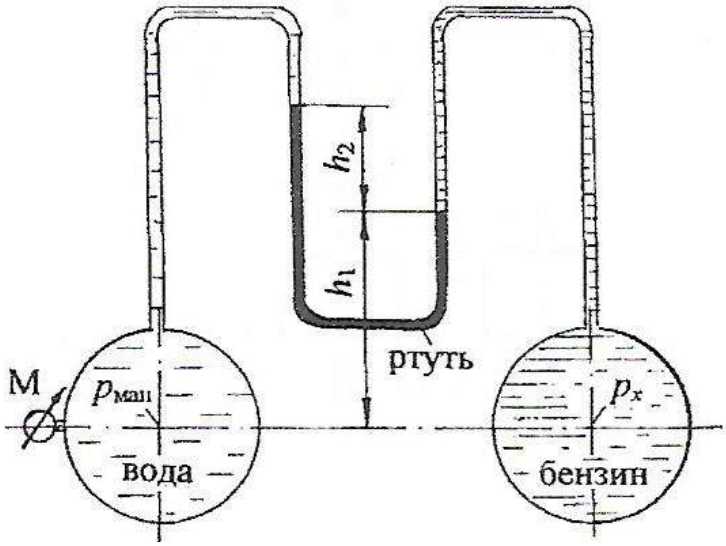


Рис. 1.22.

Задача 1.23.

Определить абсолютное давление на поверхности бензина в закрытом резервуаре ($p_{абс}$) (рис. 1.23), а также показание мановакуумметра ($p_{мв}$ в бар), установленного на глубине $h_1 = 1{,}6$ м при заданных величинах $h = 0{,}5$ м, $h_{рт} = 300$ мм, атмосферное давление $p_а = 740$ мм рт. ст.

Принять плотности жидкостей: бензина $\rho_{бенз} = 720$ кг/м^3; ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3. Давлением воздуха в U-образном ртутном манометре можно пренебречь.

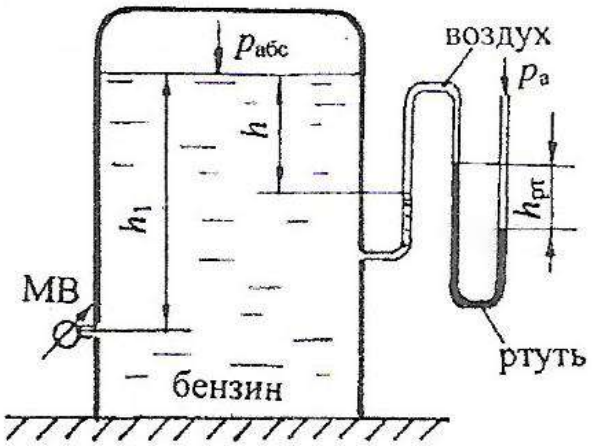


Рис. 1.23.

Задача 1.24.

К резервуару с водой, на поверхности которой избыточное давление составляет $p_{ман}$= 0,5 ат на глубине h = 1200 мм присоединен чашечный ртутный манометр.

Определить показание манометра $h_{рт}$, если поправка прибора на высоту установки равна a = 120 мм, а высота столбика воды над уровнем ртути составляет $h_в$=180 мм.

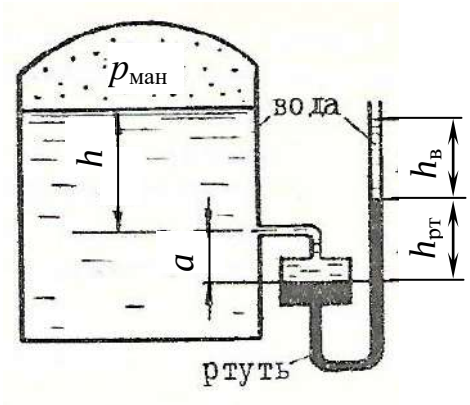


Рис. 1.24.

Задача 1.25.

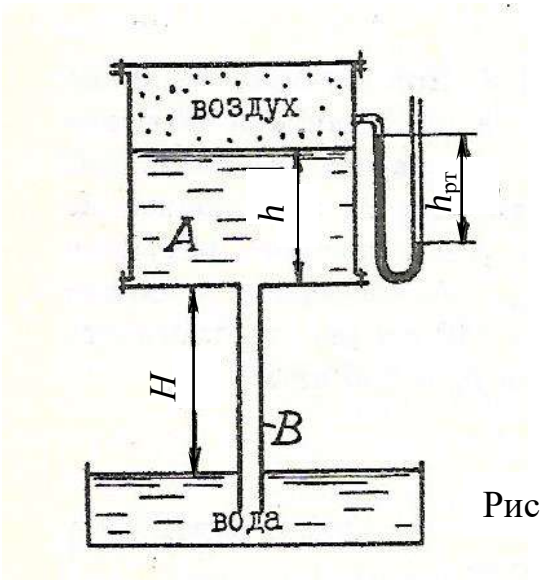


Рис. 1.25.

В сосуде A и трубе B вода находится в равновесии и показание ртутного прибора составляет $h_{рт}$ = 295 мм. Определить высоту воды в трубе H, если уровень ее в баке соответствует h = 1 м.

ТЕМА 2

Сила давления жидкости на плоские поверхности

Методические рекомендации по решению задач
Тема 2
Сила давления покоящейся жидкости на плоские поверхности

Сила давления (равнодействующая давления) характеризуется величиной, направлением и точкой приложения.

Направлена сила **перпендикулярно** к поверхности.

Величина определяется по формуле

$$R = p_C A,$$

где p_C- давление на уровне центра тяжести плоской фигуры

$$p_C = p_0 + \rho g h_C;$$

h_C - глубина погружения центра тяжести плоской стенки,

A- площадь плоской фигуры.

Точка приложения силы давления называется **центром давления**

Глубина погружения центра давления

$$h_D = h_C + \frac{I_C \sin^2\alpha}{h_C A}$$

I_C - центральный момент инерции крышки относительно горизонтальной оси; для квадрата равен

α – угол наклона плоской фигуры к горизонту.

При решении задач в случае открытых резервуарова сила двления определяется как равнодействующая весового давления

$$R = \rho g h_C A.$$

Для закрытых резервуаров необходимость учитывать давление p_0 усложняет задачу. Здесь, в основном, возможны два случая:

1. давление на поверхности жидкости или на какой-либо глубине в полностью заполненном резервуаре задано;
2. такое давление надо определить.

<u>В первом случае</u> для упрощения решения можно воспользоваться понятием пьезометрической плоскости (условной сводной поверхности). Для определения ее положения необходимо вычислить пьезометрическую высоту, соответствующую заданному давлению:

$$h_{\text{р}} = \frac{p_0}{\rho g}.$$

Полученное значение откладывается **вверх** от поверхности жидкости или от места установки прибора при **манометрическом** давлении и **вниз** , если задано вакуумметрическое давление. От уровня этой плоскости определяется глубина. всех точек в жидкости.

<u>Во втором случае</u> сила полного давления определяется по формуле

$$R_{\text{равн}} = p_0 A + \rho g h_C A$$

или

$$R_{\text{равн}} = R_{\text{о}} + R_{\text{ж}}.$$

$R_{\text{о}}$ – сила внешнего давления

$R_{ж}$ – сила весового давления жидкости.

Точкой приложения R_{o} в соответствии с законом Паскаля является центр тяжести плоской фигуры и тогда при известных остальных параметрах величина p_0 легко определяется из рассмотрения равновесия плоскости как суммы моментов сил относительно выбранного центра (или оси).

Задача 2.1.

Определить подъемное усилие T для прямоугольного плоского щита, перекрывающего водопропускное отверстие плотины. Пролет затвора в свету $B = 2$ м, глубина воды до щита $h_1 = 2$ м, после щита $h_2 = 1$ м, коэффициент трения между щитом и поверхностью пазов $f = 0{,}15$. Массса щита $M = 450$ кг.

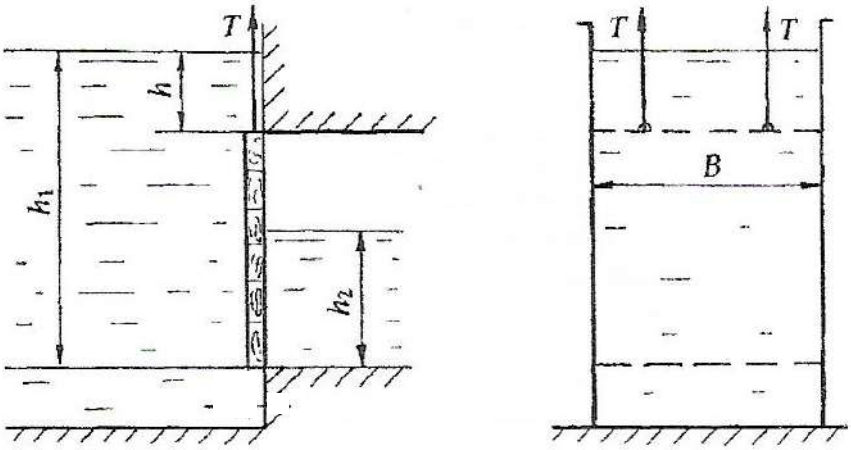


Рис. 2.1

Задача 2.2.

В плотине сделано водопропускное отверстие в виде трубы диаметром $d = 1{,}0$ м. Труба перекрывается круглым затвором, имеющим неподвижную горизонтальную ось вращения, проходящую через точку A (рис. 2.2).

Определить начальную силу натяжения троса (T) для открытия затвора. Трос прикреплён к нижней кромке крышки под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Глубина воды над нижней кромкой затвора $H = 2{,}5$ м. Массу затвора не учитывать.

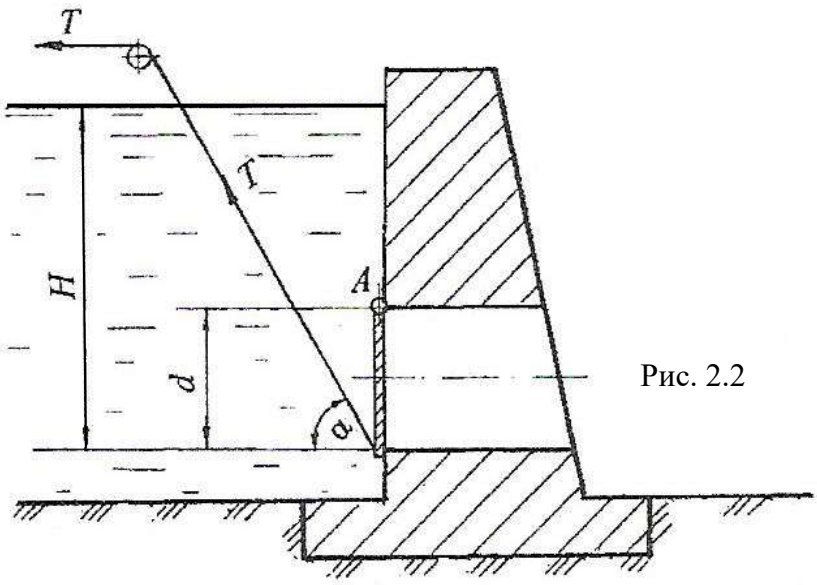


Рис. 2.2

Задача 2.3.

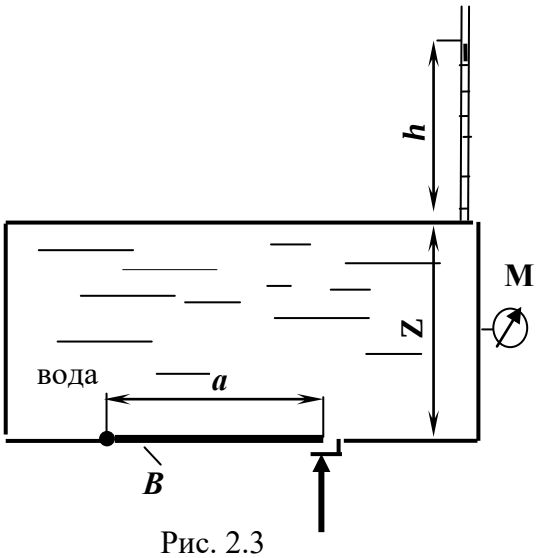


Рис. 2.3

Определить показание манометра **M** в центре боковой стенки резервуара с водой, а также усилие ***N***, приложенное к запорному устройству плоской квадратной крышки ***B*** при следующих данных: ***Z*** = 3 м; ***h*** = 2 м; ***a*** = 1 м.

Задача 2.4.

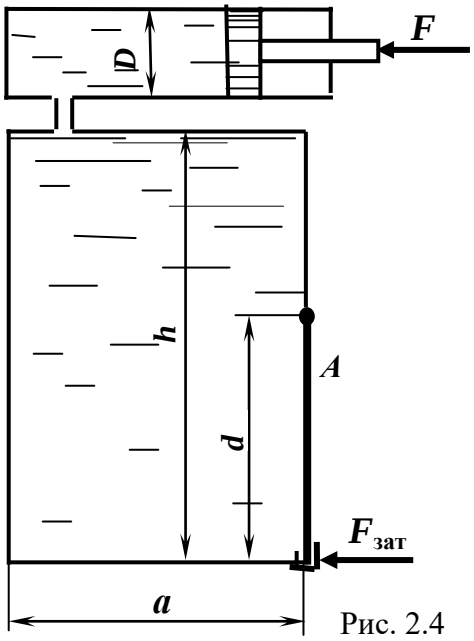


Рис. 2.4

Жидкость в емкости с размерами *a* x *a* x *h* нагревается на 20ºС.

Определить усилие *F*, которое надо приложить к поршню цилиндра диаметром *D*, чтобы сохранился прежний объем жидкости?

А также найти усилие $F_{зат}$, на которое должен быть рассчитан затвор круглой крышки диаметром *d* при следующих данных :
ρ= 1000 кг/м^3, *d* =500 мм, *D* =260 мм, *h* = 2 м, *a* =1,5 м; коэффициент температурного расширения β_T=150·10^{-6}1/град; коэффициент объёмного сжатия β_p=0,5 ·10^{-10}Па$^{-1}$.

Задача 2.5.

Определить давление жидкости p_1 в гидроцилиндре с диаметром поршня *D* = 160 мм;, необходимое для преодоления усилия на штоке *F* при следующих данных: *F* = 10 кН; диаметр штока *d* = 80 мм; p_0 = 20 кПа, *H* = 10 м; ρ = 900 кг/м^3.

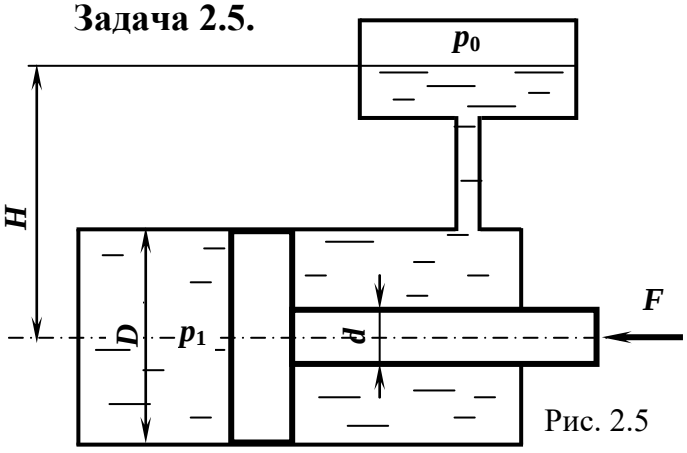


Рис. 2.5

Задача 2.6.

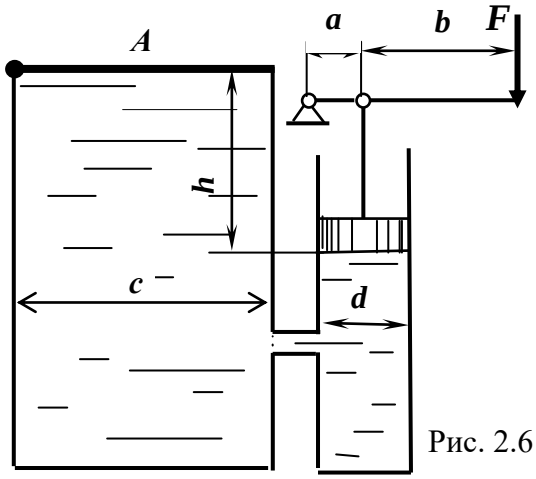


Рис. 2.6

К рычагу гидроусилителя приложена сила F. Определить силу давления жидкости с плотностью $\rho = 900$ кг/м^3 на квадратную крышку A при следующих данных: $F = 180$ Н; $d = 40$ мм; $c = 1$ м; $h = 1$ м; $a = 10$ мм; $b = 40$ мм.

Задача 2.7.

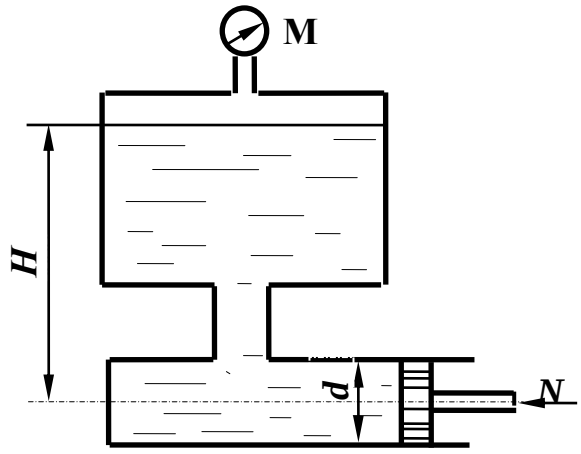


Рис. 2.7

Определить усилие $\boldsymbol{N}$, которое надо приложить к штоку поршня для удержания его на месте, если показание манометра $p_{\text{ман}} = 0{,}5$ ат, диаметр штока $d = 100$ мм, высота уровня масла над осью штока $H = 1{,}5$ м, плотность масла $\rho_{\text{м}} = 800$ кг/м^3.

Задача 2.8.

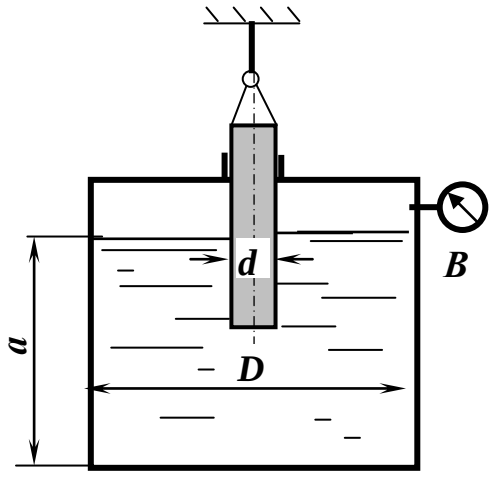


Рис. 2.8

Определить вакуум, обеспечивающий равновесие цилиндрического сосуда диаметром D, который висит без трения на плунжере диаметром d. Сила тяжести сосуда $\boldsymbol{G} = 500$ Н. Найти также силы давления на верхнюю и нижнюю крышку сосуда: жидкость – вода (ρ=1000 кг/м^3), $a = 0{,}3$ м; $D = 0{,}4$ м; $d = 0{,}2$ м.

Задача 2.9.

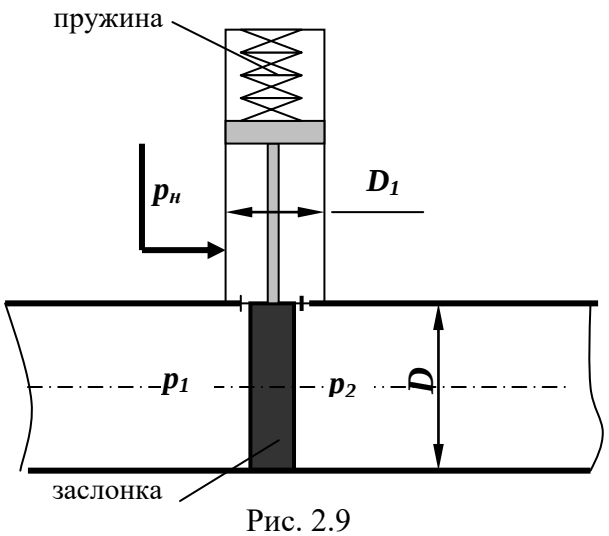


Рис. 2.9

Подъем заслонки в трубе диаметром D = 400 мм осуществляется гидроцилиндром с диаметром поршня D_1 = 200 мм. Масса заслонки с поршнем и штоком составляет 70 кг. Жесткость пружины равна k = 8 Н/мм, коэффициент трения заслонки в направляющих f = 0,1. Определить давление нагнетания $p_н$, необходимое для подъема заслонки при давлениях p_1 = 0,2 МПа и p_2 = 20кПа.

Задача 2.10.

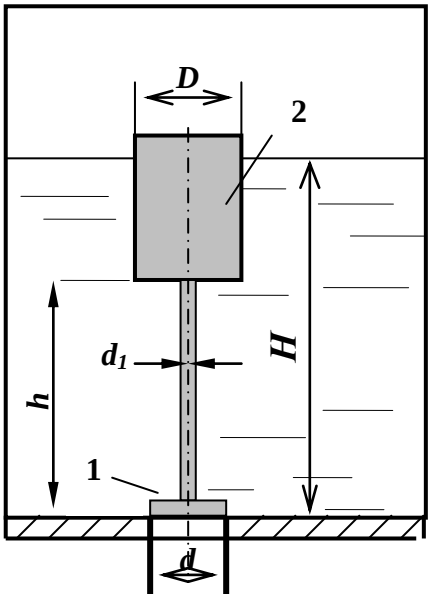


Рис. 2.10

Резервуар оборудован ограничителем уровня воды, представляющим собой клапан 1, соединенный тягой с цилиндрическим поплавком 2. Определить расстояние от дна резервуара до низа поплавка, при котором будет обеспечена глубина воды в резервуаре H = 5 м, если D = 0,4 м; d =150 мм; d_1=50 мм; вес клапана с поплавком G =120 Н.

Задача 2.11.

Плоский прямоугольный затвор с размерами ***L*** = 2,5 м и ***B*** = 10 м создает подпор воды ***H*** = 2,3 м. Затвор может вращаться относительно шарнира ***A.*** Определить силу натяжения троса ***T***, удерживающую затвор в заданном положении. Размер *B* перпендикулярен плоскости чертежа.

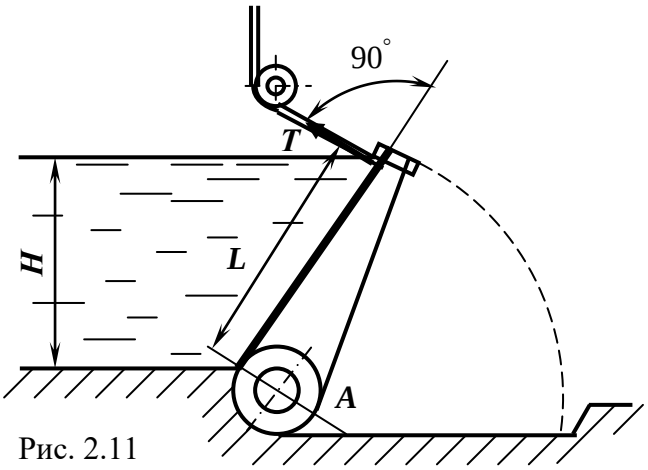


Рис. 2.11

Задача 2.12.

Закрытый резервуар, заполненный маслом плотностью $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3, имеет выпускную трубу диаметром $D = 600$ мм, перекрытую дисковым затвором с осью поворота, проходящей горизонтально через точку ***O*** (рис. 2.12). На поверхности масла действует манометрическое давление $p_{ман} = 8$ кПа. Уровень масла над нижней кромкой трубы $H = 0{,}9$ м. Определить равнодействующую давления на дисковый затвор и момент этой силы относительно оси поворота затвора.

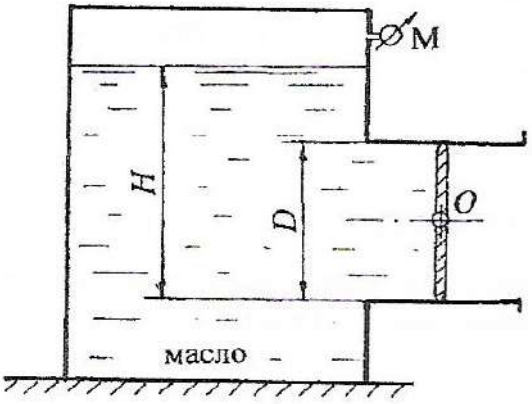


Рис. 2.12

Задача 2.13.

Полностью заполненный водой цилиндрический сосуд диаметром ***D*** и высотой ***a*** опирается на плунжер диаметром ***d***.

Определить показание манометра ***M***, а также силы давления на верхнюю и нижнюю крышки при условии равновесия сосуда, если сила его тяжести ***G*** = 5700 Н: ***D*** = 0,2 м; ***a*** = 0,4 м; ***d*** = 0,1 м.

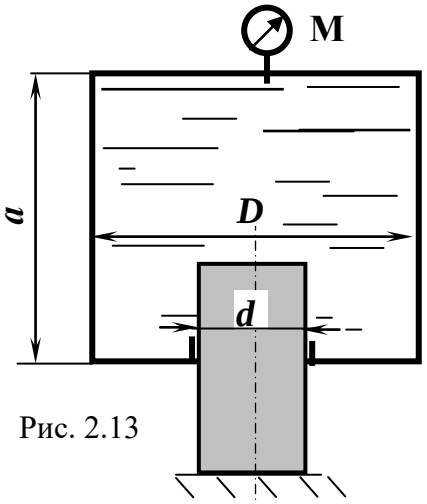


Рис. 2.13

Задача 2.14.

Сферический резервуар, плавающий в воде, имеет люк, закрытый изнутри плоской круглой крышкой диаметром d =1,0 м (рис. 2.14).

Определить горизонтальную равнодействующую давления на крышку, линию действия силы и её положение, если абсолютное давление внутри резервуара $p_{абс}$ = 95 кПа, уровень воды над осью крышки H = 1,2 м.

Найти расстояние (e) от линии действия равнодействующей до оси крышки.

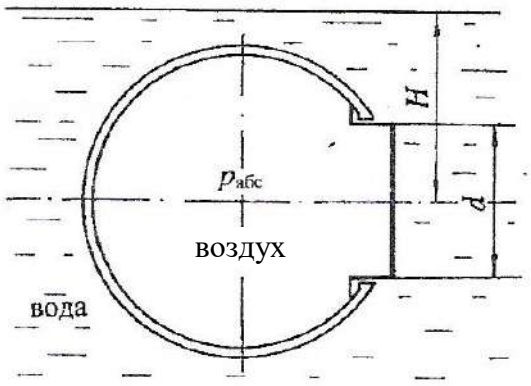


Рис. 2.14

Задача 2.15.

Патрубок закрытого резервуара с маслом перекрывается круглой крышкой, которая может поворачиваться вокруг шарнира A (рис. 2.15).

Определить, каким должно быть показание U-образной трубки, заполненной ртутью ($h_{рт}$), установленной на поверхности масла, чтобы крышка находилась в закрытом положении за счёт вакуума.

Принять: диаметр крышки D = 600 мм, глубину масла до шарнира A h = 200 мм.

Плотности жидкостей: масла $\rho_{масл}$ = 900 кг/м^3; ртути $\rho_{рт}$ = 13,6 ·10^3 кг/м^3.

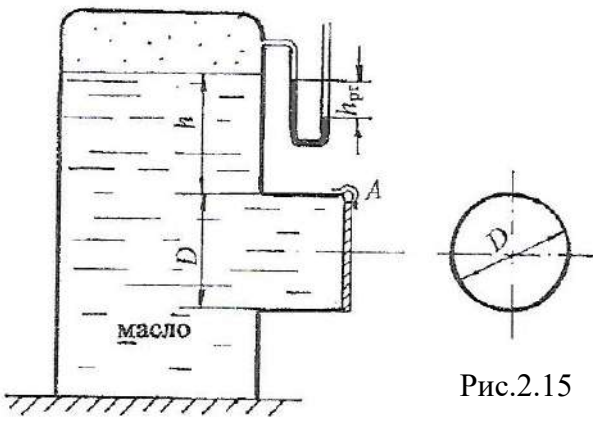


Рис.2.15

Задача 2.16.

Выход из резервуара, заполненного водой, представляет патрубок, который закрывается круглой крышкой диаметром $D = 600$ мм. Крышка может поворачиваться вокруг шарнира A (рис. 2.16).

Определить силу T для удержания крышки в закрытом положении, если показание ртутного манометра $h_{рт} = 120$ мм, высота уровня масла над ртутью $h_м = 50$ мм. Принять $a = 500$ мм, плотность ртути $\rho_{рт} = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3, плотность масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3.

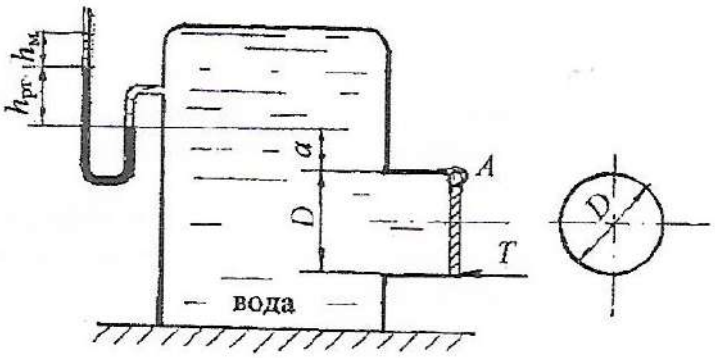


Рис. 2.16

Задача 2.17.

Определить нормальное усилие F, приложенное к наклонной крышке AB для удержания крышки в закрытом положении. Крышка расположена под углом $\alpha = 60^0$ к горизонту, укреплена с помощью шарнира B и перекрывает патрубок квадратного сечения со стороной $a = 200$ мм. Патрубок заполнен маслом плотностью $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3 (рис. 2.17).

К дну патрубка присоединён пьезометр, показание которого $H = 300$ мм. Сила F приложена по нормали к крышке на расстоянии $b = 50$ мм от стенки патрубка. Силу тяжести крышки не учитывать.

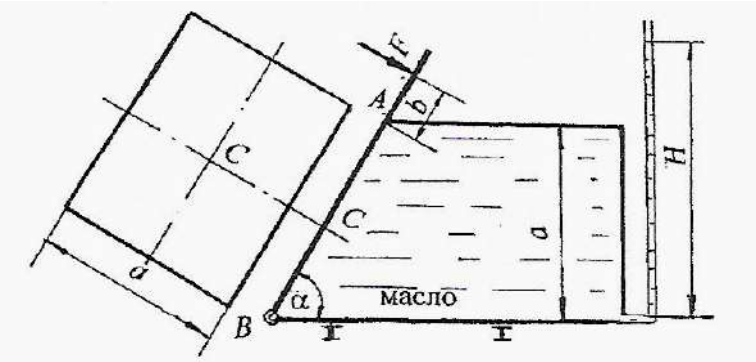


Рис. 2.17

Задача 2.18.

В закрытом резервуаре с водой круглое донное отверстие закрывается крышкой $D = 300$ мм, шарнирно укреплённой в точке A (рис. 2.18).

Определить наименьшую силу натяжения троса T для открытия крышки. Трос укреплён под углом $\alpha = 60^0$. Принять показание манометра на поверхности воды $p_{ман} = 0{,}12$ ат; глубину заполнения резервуара $H = 1{,}5$ м; массу крышки $M = 2{,}0$ кг. Трением в шарнире и направляющих троса пренебречь.

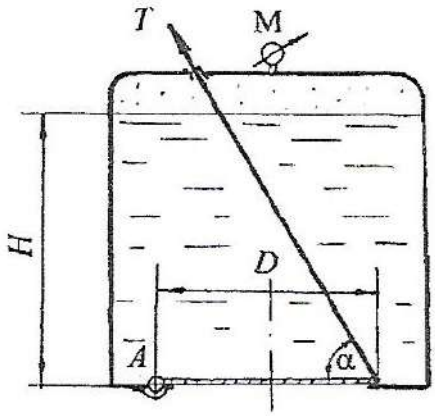


Рис. 2.18

Задача 2.19.

Патрубок маслобака квадратного сечения со стороной $a = 150$ мм перекрывается крышкой AB, перемещающейся в вертикальных пазах, (рис. 2.19).

Определить начальную силу F для открытия крышки, если показание манометра, установленного на верхней стенке патрубка, $p_{ман} = 0{,}12$ ат. Принять плотность масла $\rho_{мас} = 900$ кг/м^3, коэффициент трения скольжения в пазах $f = 0{,}5$. Масса крышки $M = 2{,}0$ кг.

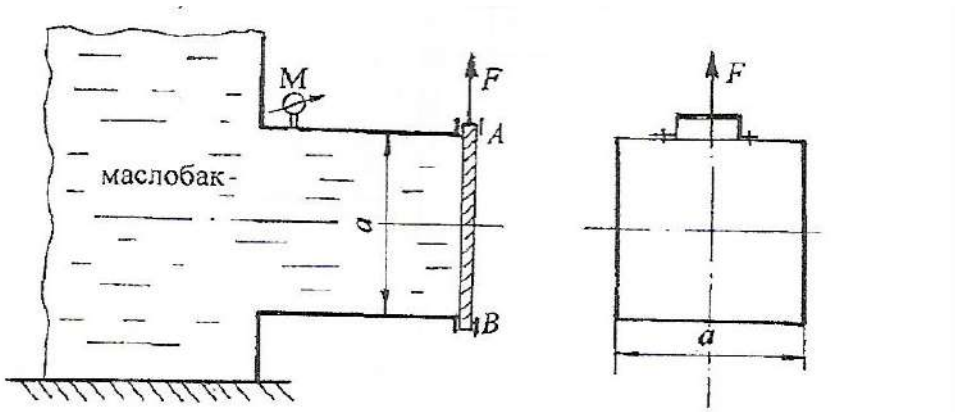


Рис. 2.19

Задача 2.20.

Закрытый резервуар, заполненный водой, находится под давлением. В резервуаре донное круглое отверстие диаметром $d = 300$ мм закрывается крышкой $D = 380$ мм, закреплённой шарниром в точке A (рис. 2.20).

Определить силу F, удерживающую крышку в закрытом положении, если масса крышки $M = 3{,}0$ кг. Показание манометра на расстоянии $h = 1{,}5$ м от дна $p_{ман} = 0{,}25$ ат. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3.

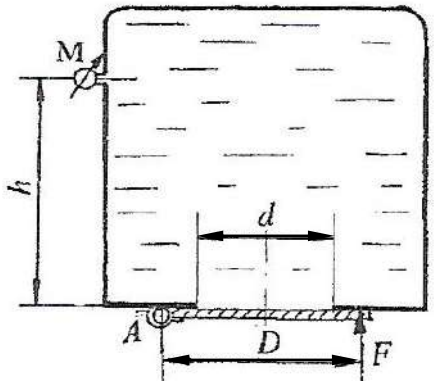


Рис. 2.20

Задача 2.21.

Прямоугольный плоский щит, перекрывающий канал шириной $B = 2{,}0$ м, вверху поддерживается двумя крюками, а внизу соединён шарнирно с дном канала (рис. 2.21). Слева щит удерживает напор воды $h_1 = 2{,}1$ м, справа - $h_2 = 0{,}9$ м. Крюки укреплены на расстоянии $a = 0{,}5$ м от верхнего уровня воды. Определить реакции крюков $R_{кр}$ от действия воды на щит.

Ответ: $R_{кр} = 5{,}36$ кН.

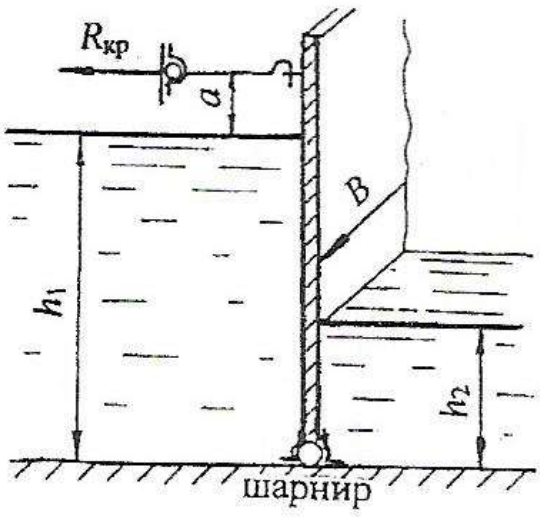


Рис. 2.21

Задача 2.22.

Определить отношение ***D*** / ***d,*** а также значение диаметра поршня ***D***, если давление в полости штока $p_{ман}$ = 25 ат, диаметр ***d*** =10 см, ***H*** = 1 м.

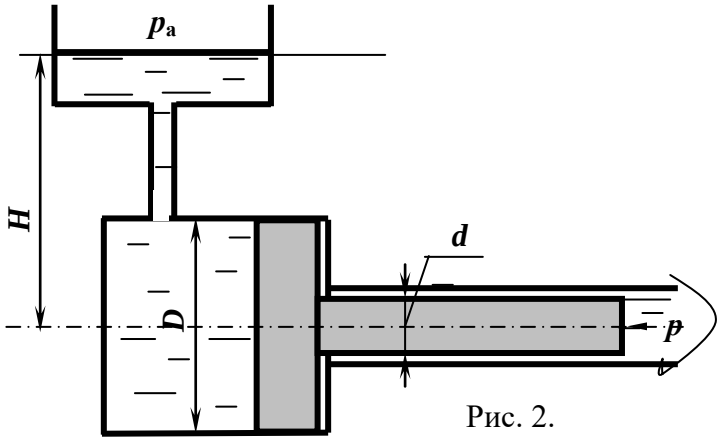


Рис. 2.

Задача 2.23.

Полностью заполненный водой цилиндрический сосуд диаметром ***D*** и высотой ***a*** опирается на плунжер диаметром ***d***.

Определить минимальный диаметр плунжера из условия равновесия сосуда, если сила его тяжести ***G*** = 5700 Н; ***D*** = 0,2 м; ***a*** = 0,4 м, а показание манометра ***M*** составляет p_M= 30 ат.

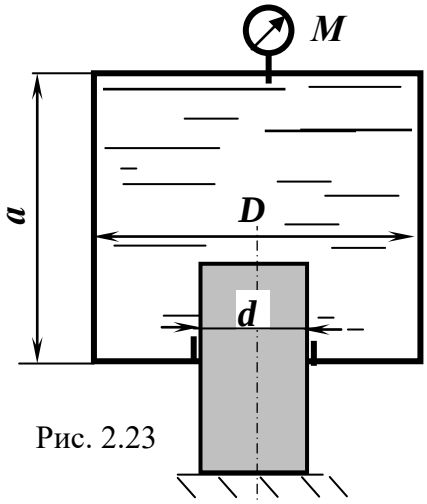


Рис. 2.23

Задача 2.24.

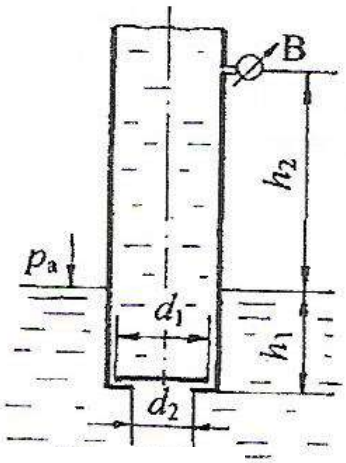


Рис. 2.24

Во всасывающем трубопроводе центробежного насоса на входе установлен обратный клапан в виде диска диаметром d_1 = 100 мм, который перекрывает входное отверстие диаметром d_2 = 75 мм для пропуска воды (рис. 2.24). Трубопровод заглублён на уровень h_1 = 1,0 м. Определить необходимый вакуум ($p_{вак}$) на высоте h_2 = 2,0 м для открытия клапана в момент пуска насоса.

Атмосферное давление p_a = 740 мм рт. ст.

Задача 2.25.

Цилиндрический полый резервуар диаметром D = 500 мм в широкой части и d = 250 мм в узкой части через уплотнение входит в резервуар с водой, в котором выведен пьезометр (рис. 2.25).

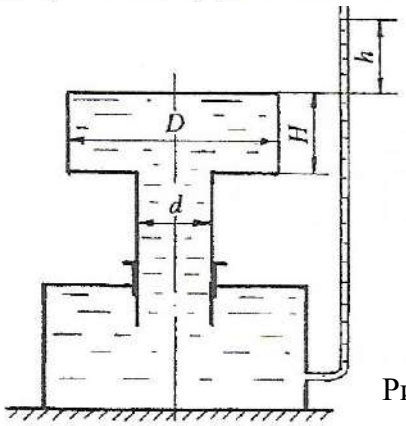


Рис. 2.25

Определить, каким должно быть превышение уровня воды в пьезометре (h) для равновесного состояния цилиндрического резервуара, если высота широкой части цилиндра H = 0,3 м.

Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3.

ТЕМА 3

Сила давления покоящейся жидкости на криволинейные поверхности

Методические рекомендации по решению задач

Тема 3

Сила давления покоящейся жидкости на криволинейные поверхности

Сила давления на криволинейную поверхность (или равнодействующая давления) определяется как геометрическая сумма составляющих по двум или трем выбранным направлениям.

Применяемые в технике криволинейные поверхности чаще всего являются поверхностями вращения, т.е. имеют ось симметрии. В этом случае для определения достаточно двух составляющих - горизонтальной и вертикальной, ее модуль определяется по зависимости:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}\cdot$$

Горизонтальная составляющая силы давления на криволинейную поверхность равна силе давления жидкости на плоскую вертикальную проекцию криволинейной поверхности:

$$R_x = p_C A_y$$

для силы весового давления

$$R_x = \rho g y_C A_y = \rho g h_C A_y$$

где ρ - плотность жидкости;

y_C -координата или глубина погружения центра тяжести **вертикальной проекции** криволинейной поверхности, (координата y и глубина h чаще всего совпадают).

A_y - площадь вертикальной проекции.

Другими словами, чтобы найти горизонтальную составляющую, нужно криволинейную поверхность спроектировать внутрь жидкости на вертикальную плоскость и найти силу давления на полученную вертикальную проекцию.

Глубину погружения точки приложения горизонтальной составляющей, т.е. центра давления, определяем по известной формуле

$$y_D = y_C + \frac{I_C}{y_C \cdot A_y};$$

I_C - центральный момент инерции для вертикальной проекции.

Вертикальная составляющая силы давления жидкости на криволинейную поверхность равна весу жидкости в объеме тела давления:

$$R_y = \rho g W_{\text{т.д.}}$$

Тело давления представляет собой объем жидкости (действительной или условной), который ограничен:

- самой криволинейной поверхностью;
- ее проекцией на горизонт свободной поверхности жидкости, или его продолжение, или на условную пьезометрическую плоскость;
- поверхностями, образованными вертикальными проектирующими линиями при проектировании контура криволинейной поверхности (с боков).

Возможны три случая при построении тела давления:

Реальное (или положительное) тело давления строится на смоченной стороне криволинейной поверхности и заполнено жидкостью. Вертикальная составляющая R_y считается положительной и направлена вниз.

Фиктивное (или отрицательное) тело давления строится на несмоченной стороне криволинейной поверхности. В фиктивном теле давления жидкость отсутствует и для определения ее силы тяжести (т.е. R_y) объем заполняется жидкостью условно. Вертикальная составляющая R_y считается отрицательной и направлена вверх.

Итак, если жидкость действует на криволинейную поверхность сверху вниз надо искать реальное тело давления, снизу вверх - фиктивное. Но часто бывают случаи, когда на отдельных участках криволинейной поверхности наблюдается различные направления действия жидкости.

Смешанное тело давления определяется как *суммарный* результат действия жидкости на отдельных участках с учетом направления.

Точкой приложения вертикальной составляющей силы давления R_y является **центр тяжести** тела давления.

Для построения тела давления поступают следующим образом: точки криволинейной поверхности проектируют на свободную поверхность жидкости или ее продолжение. Анализируют, если в полученном объеме жидкость реально существует, собственным весом давит на криволинейную поверхность, при этом тело давления построено на смоченной части криволинейной поверхности, то оно считается положительным, заштриховывается вертикальными линиями со стрелками вниз. Таким образом, получают как бы эпюру тела давления. Вертикальную составляющую из центра тяжести тела давления направляют вниз

В противном случае, если тело давления построено на несмоченной части криволинейной поверхности, не заполнено жидкостью, оно заштриховывается стрелками вверх (объем как бы вытеснен). Тело давления отрицательное. Вертикальную составляющую направляют вверх.

Найдем угол наклона α равнодействующей к горизонту tg α :

$$\operatorname{tg}\alpha = R_y/R_x = 642/784 = 0{,}82;\ \ \alpha = 39°.$$

Центром давления является точка пересечения линии действия силы с криволинейной поверхностью.

Для криволинейных поверхностей, симметричных относительно вертикальной оси, помещенных в жидкость или заполненных ею, полное действие жидкости по горизонтали уравновешено, и решение сводится к определению вертикальной составляющей (в случае фиктивного тела давления – к архимедовой силе выталкивания). Но при решении задач на прочность важной составляющей является горизонтальная проекция, действующая на одну половину поверхности.

Задача 3.1.

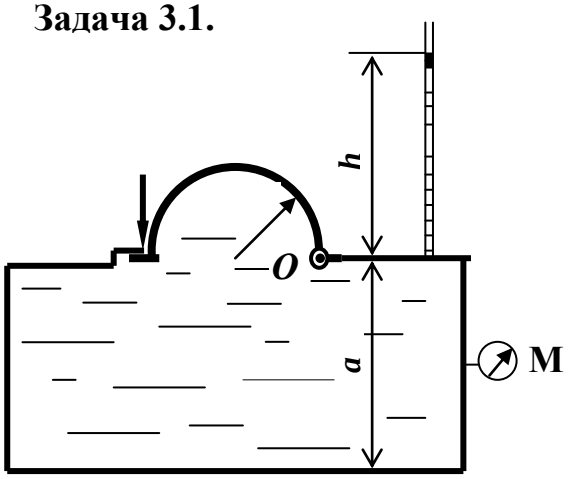


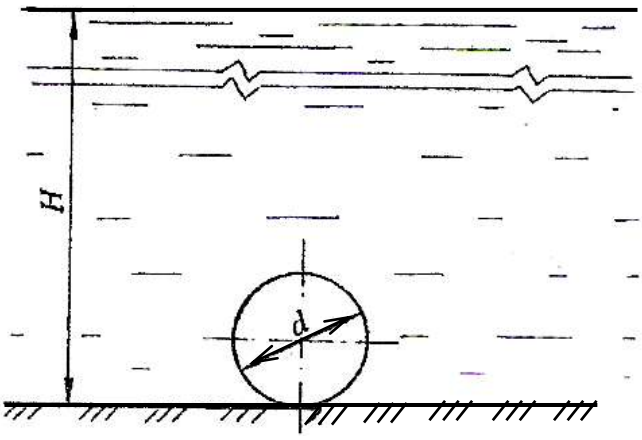
Рис. 3.1

Запорное устройство полусферической крышки радиусом r рассчитано на усилие N. Определить показание манометра в центре боковой стенки при максимально допустимом давлении в жидкости плотностью $\rho = 900$ кг/м^3:
$N = 90$ кН, $a = 3$ м, $r = 0{,}4$ м.

Задача.3.2.

По дну водоёма проложен стальной трубопровод диаметром $d = 400$ мм для пропуска загрязнённых сточных вод в очистные сооружения. Трубопровод уложен на глубине $H = 10$ м.

Определить силу, действующую на трубопровод сверху ($R_{верт}$); силы, действующие на боковые поверхности ($R_{гор}$); рассчитать минимальную толщину стенок (δ) незаполненной трубы, чтобы исключить возможность её всплывания.



Принять плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; плотность стали $\rho_{ст} = 7800$ кг/м^3.

Расчёты отнести к длине трубы $l = 1{,}0$ м.

Рис. 3.2

Задача 3.3.

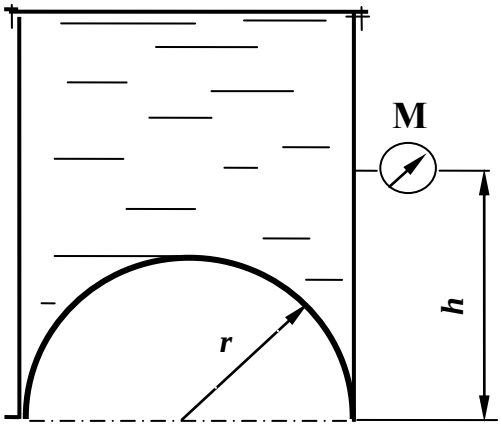


Рис. 3.3

Определить силу давления воды на полусферическое дно резервуара радиуса $\boldsymbol{r}$ = 1 м, если показание манометра **M**, установленного на расстоянии $\boldsymbol{h}$ = 1,3 м от оси полусферы, равняется $\boldsymbol{p}_{\text{ман}}$= 0,2 бар.

Задача 3.4.

Резервуар, заполненный маслом плотностью $\rho_{масл}$ = 880 кг/м^3, имеет донное отверстие диаметром d = 300 мм, которое перекрывается коническим клапаном высотой h = 240 мм.

Определить глубину заполнения резервуара $\boldsymbol{H}$, если сила натяжения троса, необходимая для открытия клапана, T = 368,2 Н; абсолютное давление на поверхности масла $p_{абс}$ = 0,94 ат. Масса клапана M = 4,0 кг. Трение в ролике $\boldsymbol{B}$ не учитывать.

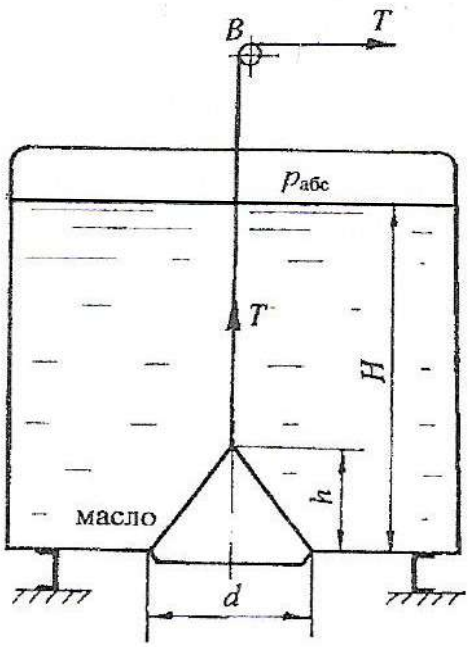


Рис. 3.4

Задача 3.5.

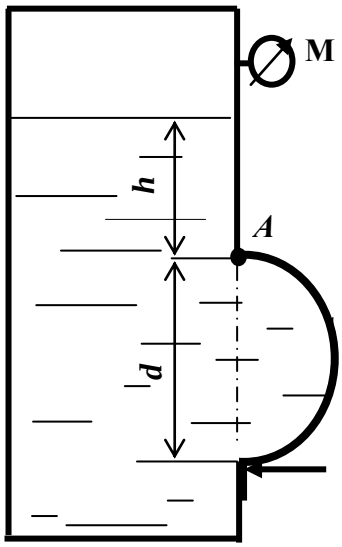


Рис. 3.5

Закрытый резервуар заполнен дизельным топливом с плотностью ρ = 846 кг/м^3. В вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие, закрытое полуцилиндрической крышкой. Она может поворачиваться вокруг горизонтальной оси шарнира *A*. Определить усилие ***N***, которое нужно приложить, чтобы крышка не открывалась при следующих данных: $p_{ман}$ =11,4 кПа; *d* =1 м; *h* = 1м; *b* =1,2 м. Силой тяжести крышки пренебречь.

Размер *b* перпендикулярен плоскости чертежа.

Задача 3.6.

Резервуар, заполненный маслом плотностью $\rho_{масл}$ = 900 кг/м^3, имеет донное круглое отверстие диаметром *d* = 400 мм, которое перекрывается коническим клапаном высотой *h* = 300 мм.

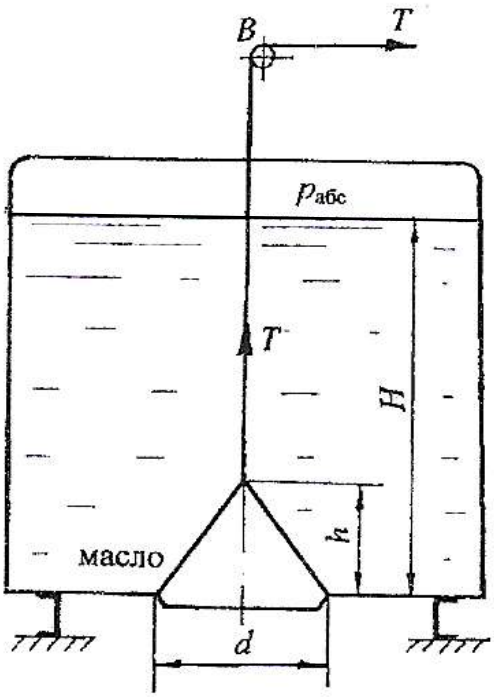


Рис. 3.6

Определить силу натяжения троса ***T***, необходимую для открытия клапана, если глубина заполнения резервуара *H* = 1,2 м, абсолютное давление на поверхности масла $p_{абс}$ = 1,09 ат. Масса клапана *M* = 5,0 кг. Трение в ролике ***B*** не учитывать.

Задача 3.7.

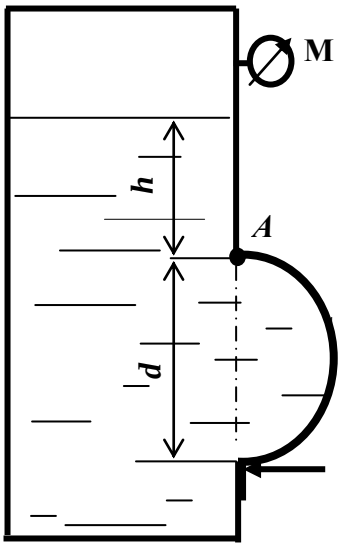


Рис. 3.7

Закрытый резервуар заполнен дизельным топливом с плотностью ρ = 846 кг/м^3. В вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие, закрытое полуцилиндрической крышкой. Она может поворачиваться вокруг горизонтальной оси *A*. Определить минимальное показание манометра, установленного в верхней части резервуара, при котором крышка остается закрытой, при следующих данных: сила тяжести крышки *G* =1200 Н, усилие *N* =5 кН, *d* = 0,2 м; *h* = 1 м; *b* =1,2 м.
Размер *b* перпендикулярен плоскости чертежа.

Задача 3.8.

Водонапорный бак оборудован устройством для ограничения уровня воды в виде полусферического клапана ***A*** диаметром *d* = 150 мм, соединённого тягой с цилиндрическим поплавком ***B*** диаметром *D* = 400 мм.

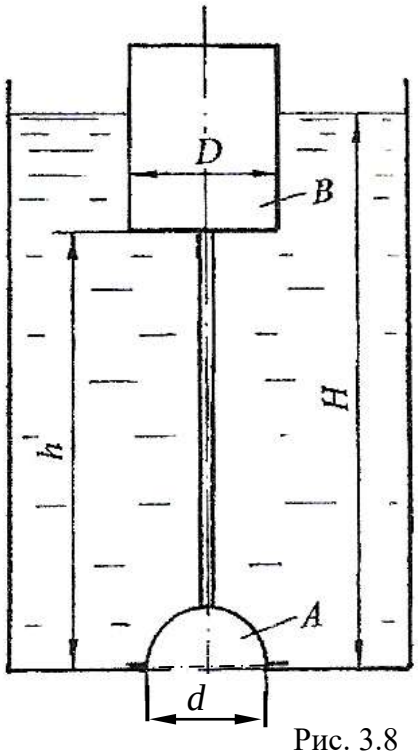


Рис. 3.8

При повышении уровня воды выше предельного значения погружение поплавка достигает такой величины, при которой выталкивающая сила для поплавка превышает силу давления воды на клапан и силу тяжести устройства. Клапан открывается, через донное отверстие сбрасывается часть воды. При снижении уровня воды клапан закрывается.

Определить расстояние ***h*** от дна резервуара до низа поплавка, при котором будет обеспечена глубина заполнения *H* = 4,0 м. Сила тяжести устройства *G* = 125 Н.

Задача 3.9.

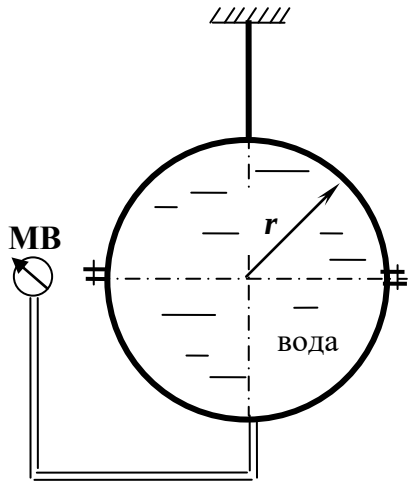


Рис. 3.9

Шаровой сосуд радиусом r = 0,4 м, заполненный водой, висит на тяге, прикрепленной к его верхней половине. Найти давление в центре сосуда (показание пружинного мановакуумметра МВ), при котором нижнюю половину сосуда, имеющую силу тяжести G =1500 Н, можно не закреплять. Каким должно быть показание прибора, если силу тяжести не учитывать?

Задача 3.10.

В резервуаре, заполненном бензином, боковое круглое отверстие диаметром d = 400 мм закрыто конусной крышкой длиной l = 300 мм. Определить растягивающее ($R_{раст}$) и срезающее ($R_{срез}$) усилия для шести болтов, крепящих крышку. Показать их линии действия и геометрическое положение.

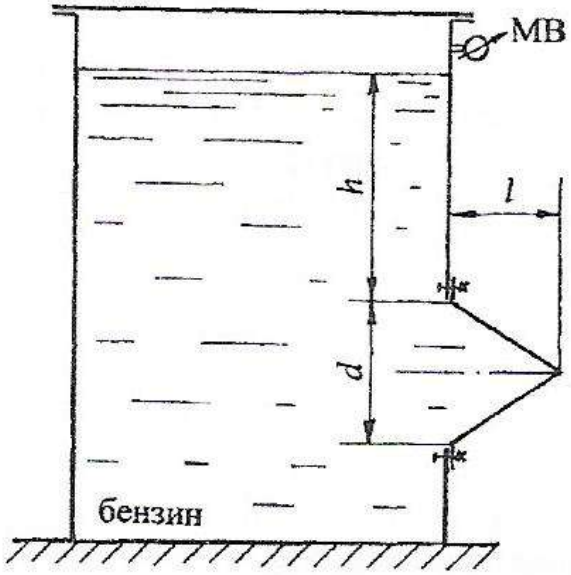


Рис. 3.10

Уровень бензина над верхней кромкой крышки h = 1,5 м. Показание мановакуумметра соответствует манометрическому давлению $p_{ман}$ = 0,15 ат. Плотность бензина $\rho_{бенз}$ = 750 кг/м^3. Масса конической крышки M = 4,0 кг.

Задача 3.11.

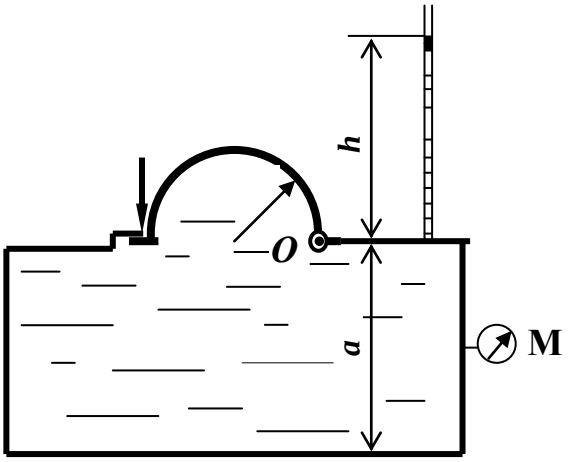


Рис. 3.11

Определить усилие ***N***, которое нужно приложить к цилиндрическому затвору, установленному на квадратном отверстии крышки резервуара с водой, при следующих данных: ***h*** = 1м, ***r*** = 0,2 м. Затвор поворачивается вокруг шарнира в точке ***A***.

Задача 3.12.

В резервуаре, заполненном бензином, боковое круглое отверстие диаметром d = 450 мм закрыто конусной крышкой длиной l = 350 мм, закреплённой на болтах. Уровень бензина над верхней кромкой крышки h = 1,2 м.

Определить показание мановакуумметра ($p_{мв}$), установленного над свободной поверхностью бензина, если растягивающее усилие в шести болтах $R_{раст}$ = 3,5 кН. Рассчитать срезающее усилие в болтах ($R_{срез}$), соответствующее вертикальной силе давления, показать его линию действия и геометрическое положение. Масса крышки M = 5,0 кг. Плотность бензина $\rho = 720$ кг/м^3.

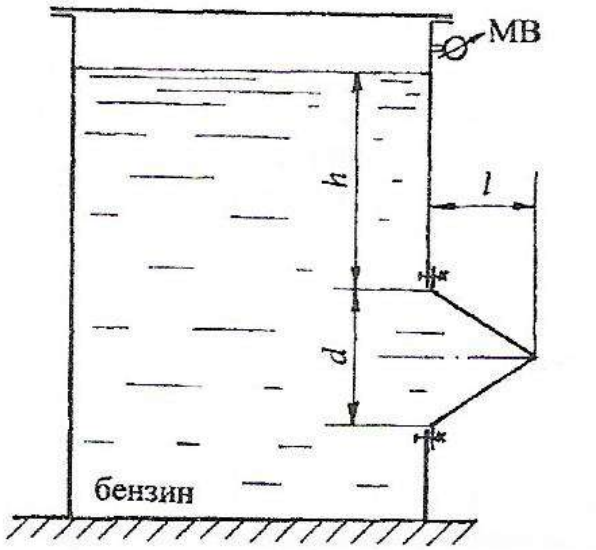


Рис. 3.12

Задача 3.13.

Цилиндрический резервуар диаметром D = 1,2 м, заполненный бензином плотностью $\rho_{бенз}$ = 750 кг/м^3, закрыт полусферической крышкой, закреплённой шестью болтами (рис. 3.13). Резервуар находится под давлением. Показание манометра на глубине h = 1,9 м от оси крышки $p_{ман}$ = 0,24 ат.

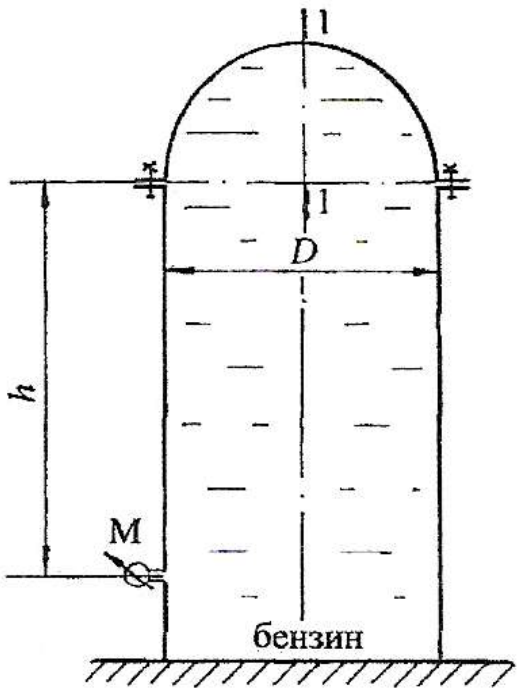


Рис. 3.13

Определить величину и направление растягивающей силы, воспринимаемой болтами ($R_{раст}$), соответствующей вертикальной силе давления на полусферическую крышку. Рассчитать горизонтальные силы ($R_{гор}$), разрывающие полусферическую крышку по сечению **1-1**, показать расстояние ($h_{гор}$) линий действия этих сил от оси полусферы.

Задача 3.14.

Определить величину, линию действия, угол наклона и глубину центра давления ($h_{D\ равн}$) равнодействующей на полусферическую крышку в плоской вертикальной стенке закрытого резервуара (рис. 3.14). заполненного бензином. Радиус полусферы r = 0,2 м, показание пьезометра, выведенного на уровне нижней кромки крышки H = 0,8 м, плотность бензина $\rho_{бенз}$ = 800 кг/м^3.

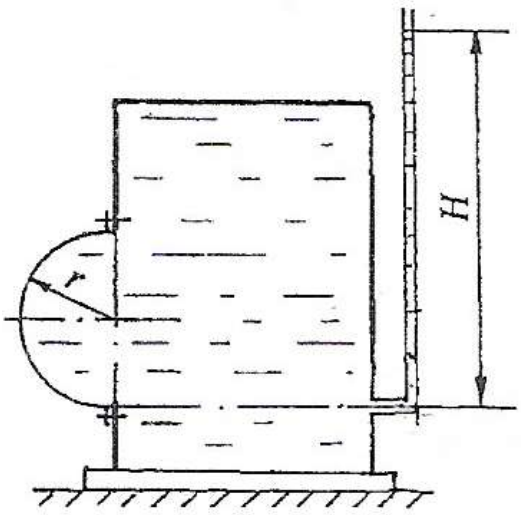


Рис. 3.14.

Задача 3.15.

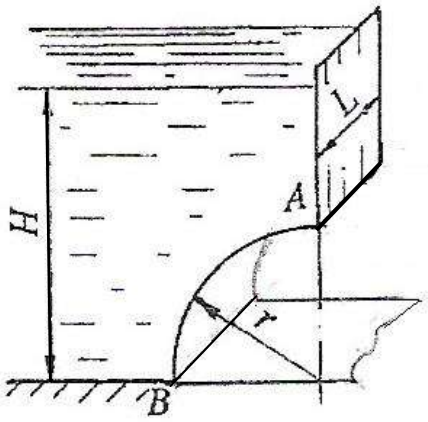


Рис. 3.15.

Определить равнодействующую давления масла на цилиндрическую стенку резервуара ***AB*** (рис. 3.15). линию действия, угол наклона силы и глубину погружения центра давления ($h_{D\text{равн}}$), если глубина наполнения H = 0,8 м; радиус цилиндрической части r = 0,6 м; секторный угол 90^0; длина образующей цилиндрической поверхности L = 1,2 м. Плотность масла $\rho_{масл}$ = 860 кг/м^3.

Задача 3.16.

Вертикальная цилиндрическая цистерна с полусферической крышкой до самого верха заполнена жидкостью с плотностью ρ= 900 кг/м^3, находящейся под давлением $\boldsymbol{p}_{ман}$. (рис. 3.16).

Усилие , растягивающее болты *A* (вертикальная составляющая силы давления) составляет 8,55 кН. Определить показание манометра и горизонтальную силу, разрывающую цистерну по сечению 1-1, при следующих данных: r = 1 м; h = 4 м.

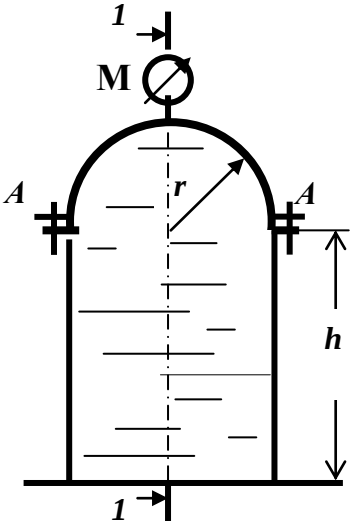


Рис. 3.16

Задача 3.17.

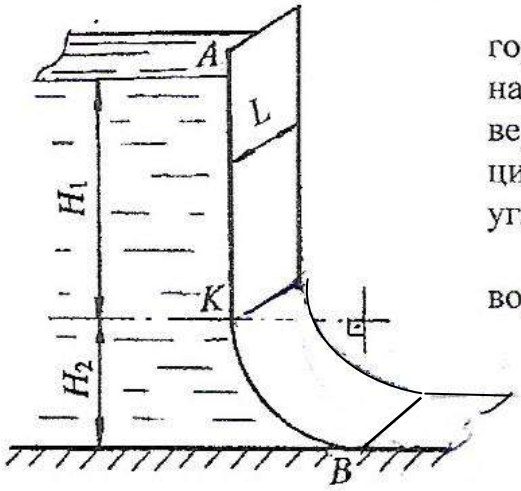


Рис. 3.17

Определить величину и угол наклона к горизонту равнодействующей давления воды на стенку резервуара ***AKB***, состоящую из вертикальной плоской стенки ***AK*** и цилиндрической поверхности ***KB*** с секторным углом 90°

Ширина резервуара L = 3,0 м, напоры воды соответственно H_1 = 2,0 м, H_2 = 1,0 м.

Задача 3.18.

Определить величину, угол наклона и глубину центра давления для равнодействующей давления воды на криволинейную стенку ***AB*** (рис. 3.18). длиной L = 10 м. Действующий напор H = 4,0 м. Криволинейная стенка представляет часть цилиндрической поверхности с секторным углом $\varphi = 60^0$.

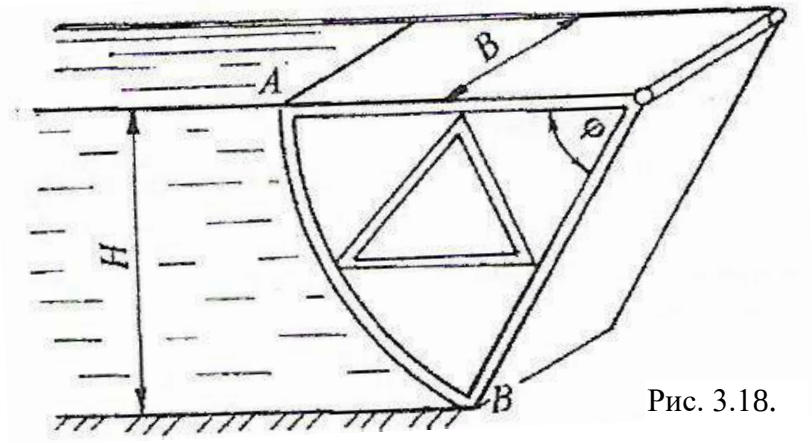


Рис. 3.18.

Задача 3.19.

Определить величину равнодействующей давления воды (R) на криволинейную стенку ***AB*** (рис. 3.19), линию действия, угол наклона к горизонту (α) и глубину центра давления ($h_{D\ равн}$) для силы. Длина стенки L = 3,0 м, удерживаемый напор H = 1,5 м. Стенка ***AB*** представляет часть цилиндрической поверхности с секторным углом $\varphi = 60^0$.

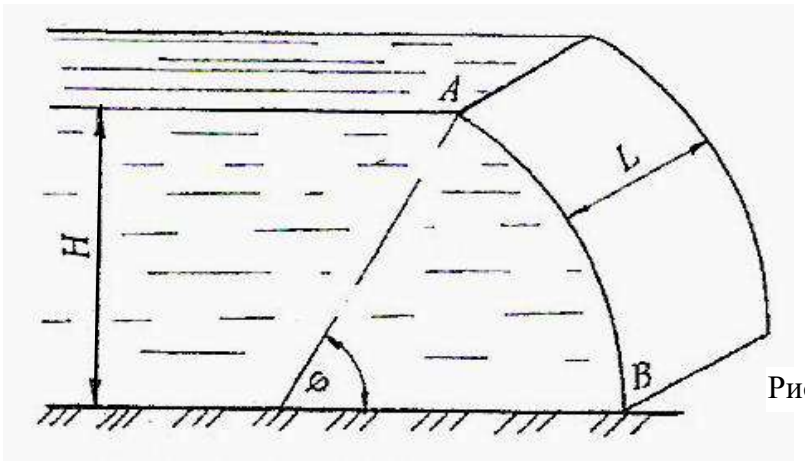


Рис. 3.19.

Задача 3.20.

Определить величину и угол наклона к горизонту равнодействующей сил давления воды на устройство в виде цилиндрического затвора (рис. 3.20), если диаметр цилиндра D = 0,9 м, действующий напор слева H = 1,2 м, справа $h = D/2$. Длина цилиндрического затвора L = 4,0 м.

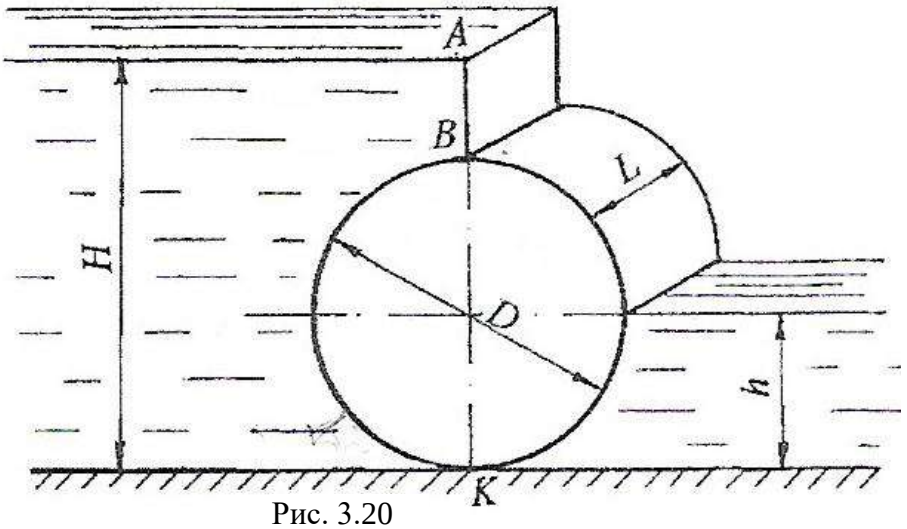
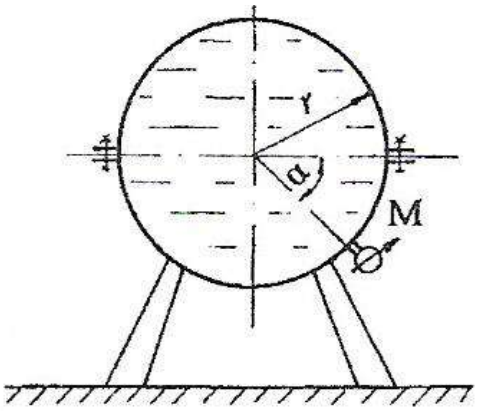


Рис. 3.20

Задача 3.21.



Определить силу давления воды на верхнюю и нижнюю половины сферического резервуара радиусом r = 0,3 м, полностью заполненного водой, а также растягивающее усилие в болтах фланцевого соединения (6 болтов), если показание манометра, установленного под углом α = 45° в нижней части резервуара $p_{ман.}$ = 0,1 ат. (рис. 3.21).

Рис. 3.21

Задача 3.22.

В вертикальной стенке резервуара сделано прямоугольное отверстие для выпуска воды. Отверстие перекрывается цилиндрическим затвором диаметром $d = 0{,}6$ м и длиной $L = 2{,}0$ м, установленным на цапфах.

Действующий напор на уровне оси затвора $H = 0{,}8$ м (рис. 3.22).

Определить величину, линию действия, геометрическое положение и угол наклона к горизонту равнодействующей давления воды (R) на поверхность затвора ***ACB***. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3.

Чертёж выполнить в масштабе.

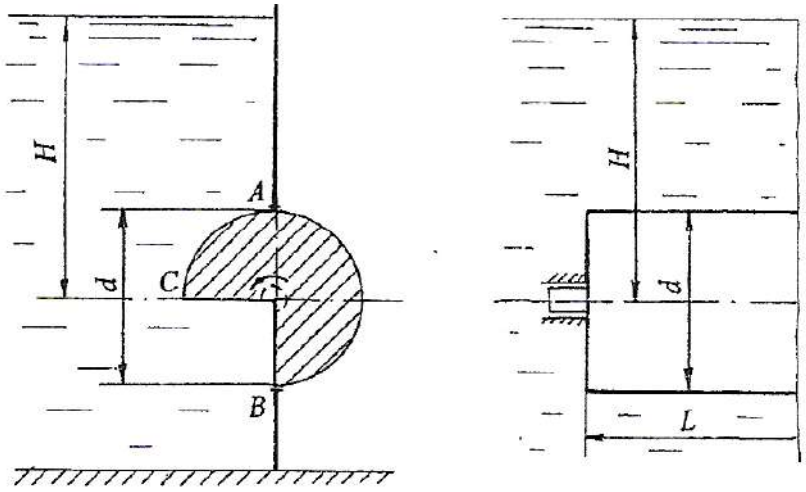


Рис. 3.22

Задача 3.23.

В закрытом резервуаре, заполненном бензином, в боковой плоской стенке сделано круглое отверстие, которое закрывается полусферической крышкой радиусом $r = 0{,}6$ м (рис. 3.23). Крышка укреплена с помощью шарнира в точке A. На расстоянии $h = 1{,}2$ м от шарнира на свободной поверхности бензина действует вакуумметрическое давление $p_{вак} = 0{,}05$ ат. Определить усилие F для удержания крышки в закрытом положении. Принять плотность бензина $\rho_{бенз.} = 710$ кг/м^3.

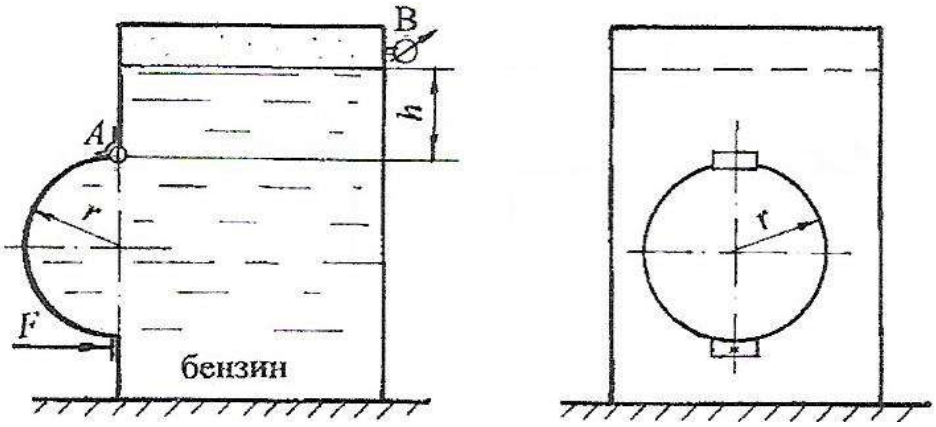


Рис. 3.23

Задача 3.24.

Закрытый резервуар с полуцилиндрическим дном радиусом $r = 0{,}6$ м и длиной $L = 1{,}5$ м заполнен маслом плотностью $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3 (рис. 3.24). Сила давления масла на дно резервуара $R = 15{,}4$ кН. Определить, на какой высоте H от оси цилиндрической части установлен вакуумметр, показание которого $p_{вак.} = 0{,}063$ ат.

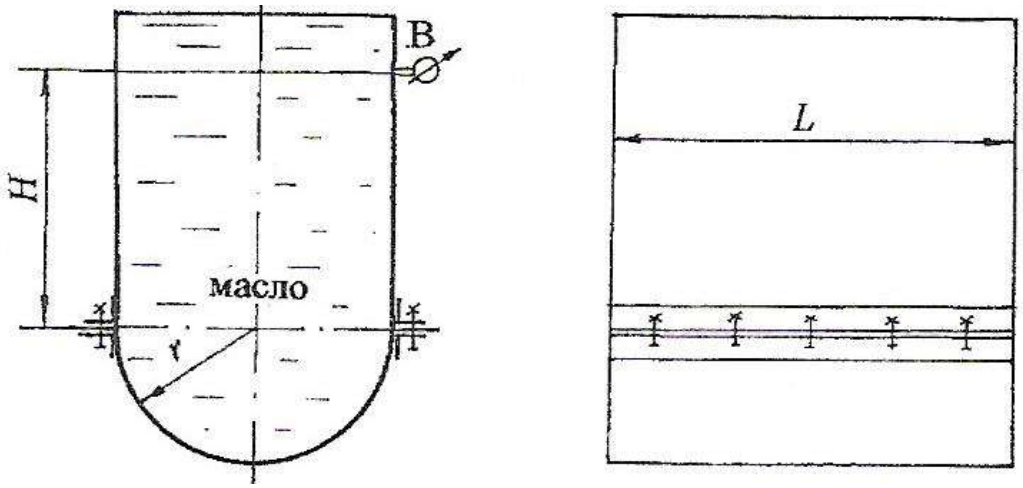


Рис. 3.24

Задача 3.25.

Определить величину равнодействующей давления воды на полуцилиндрическую крышку AB закрытого резервуара и угол наклона силы к горизонту. Диаметр цилиндрической части $D = 600$ мм, длина образующей цилиндрической поверхности $L = 800$ мм, показание манометра, установленного на расстоянии $h = 100$ мм от дна резервуара, $p_{ман.} = 0{,}07$ ат (рис. 3.25).

Рассчитать растягивающее и срезающее усилие, воспринимаемое болтами крышки. Чертёж представить в масштабе.

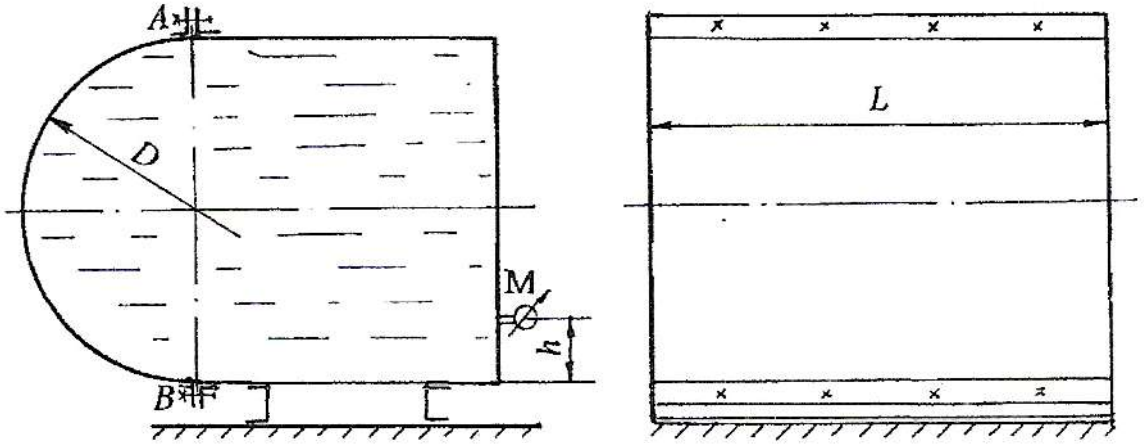


Рис. 3.25

ТЕМА 4

Расчет простых коротких трубопроводов

Методические рекомендации по применению уравнения Бернулли

1. ***Выбираются два сечения,*** которые будут соединяться уравнением Бернулли. В качестве сечений могут быть приняты

- ***поперечные сечения трубопровода***, где установлены приборы для измерения давления, а также выходное сечение трубы при выходе потока в атмосферу,
- ***поверхности жидкости*** в резервуарах.

Сечения нумеруются ***по направлению движения жидкости***.

2. ***Проводится горизонтальная плоскость сравнения*** **(0-0),** так, чтобы было удобно определять геометрическую высоту (напор) z. Её лучше всего (но не обязательно) проводить через ***нижнее*** из сечений. Тогда для этого сечения $z = 0$. Для сечений, расположенных ***выше***, z - положительно.

3. З***аписывается в общем виде уравнение Бернулли*** для потока

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}$$

4. ***Определяются все параметры для рассматриваемых сечений в общем виде.*** Лучше это оформить в соответствии со схемой таким образом: (данные под уравнением для каждого сечения в соответствие со схемой)

$z_1 =$ $z_2 =$

$p_1 =$ $p_2 =$

$\upsilon_1 =$ $\upsilon_2 =$

В уравнение Бернулли рекомендуется подставлять ***абсолютное давление*** **в выбранных сечениях.** Так, если сечение открыто, или жидкость выходит из трубы в атмосферу, ***абсолютное давление*** равно атмосферному: $p = p_a$.

В закрытом резервуаре или на трубопроводе, где установлены приборы для измерения давления, ***абсолютное давление*** записывается в виде

$$p = p_a + p_{\text{ман}}; \quad \text{или} \quad p = p_a - p_{\text{вак}};$$

$p_{\text{ман}}$ и $p_{\text{вак}}$ – показания манометра или вакуумметра в зависимости от прибора.

Для ***сечений***, которые проведены по поверхности жидкости и имеют большую площадь, скорость принимается ***равной*** нулю υ=0, в ***сечениях*** трубопровода ***средняя скорость*** равна υ.

Определяются общие ***потери напора***

$$h_w = \Sigma h_r + h_l$$

где h_r - местные потери напора, рассчитываемые по формуле Вейсбаха

$$h_r = \zeta \frac{\upsilon^2}{2g}$$

ζ – коэффициент местного сопротивления, значения принимаются по таблицам;

h_l - потери напора по длине, определяемые по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\upsilon^2}{2g}$$

λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси).

5. ***Все данные в общем виде выписываются под уравнением, выполняется их подстановка в уравнение, выводится расчетная формула для определяемого параметра и затем выполняется цифровой расчет в соответствие с типом задачи.***

При выполнении расчета наиболее трудоемким является вопрос по определению коэффициента Дарси. В связи с этим можно выделить три типа задач:

- с известным расходом,
- по определению расхода
- по выбору необходимого размера сечения потока.

<u>Порядок цифрового расчета</u> <u>при заданном расходе</u> ***<u>Q</u>***

Рассчитывается средняя скорость движения потока:

где Q – расход жидкости, $\upsilon = \frac{Q}{\omega}$

ω – площадь живого сечения.

Для трубопроводов круглого сечения формула принимает вид

$$\upsilon = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{1{,}27Q}{d^2}$$

где d- диаметр трубы.

Затем находится число Рейнольдса,

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon d}{\nu} = \frac{1{,}27Q}{d\nu}$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости.

Определяется режим движения и принимаются соответствующие коэффициент Кориолиса и формула для расчета коэффициента Дарси.

Re ≤ 2300 - <u>ламинарный режим</u>: α = 2; $\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$ - формула Пуазейля для трубопровода круглого сечения

Re > 2300 <u>турбулентный режим</u>: α =1; формулы для λ

«Гидравлически гладкие» трубы $\mathrm{Re} \le 20\,\boldsymbol{d}/\Delta_э$	Зона доквадратичного сопротивления $20\,\boldsymbol{d}/\Delta_э < \mathrm{Re} < 500\,\boldsymbol{d}/\Delta_э$	Зона квадратичного сопротивления $\mathrm{Re} \ge 500\,\boldsymbol{d}/\Delta_э$
$\lambda = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}^{0{,}25}}$ ф. Блазиуса	$\lambda = 0{,}11\left(\frac{68}{\mathrm{Re}} + \frac{\Delta_э}{d}\right)^{0{,}25}$ ф. Альтшуля	$\lambda = 0{,}11\left(\frac{\Delta_э}{\boldsymbol{d}}\right)^{0{,}25}$ ф. Шифринсона

$\Delta_э$- эквивалентная шероховатость поверхности, ограничивающей поток.

<u>Порядок цифрового расчета</u> <u>при определении расхода</u> ***<u>Q</u>***

В случае, если требуется определить расход, в первом приближении принимается, что режим турбулентный, область сопротивления – квадратичная, коэффициент **λ** определяется по формуле Шифринсона, из уравнения Бернулли определяется средняя скорость потока и затем расход.

Задача 4.1.

Определить при каком значении ***H*** будет обеспечена подача воды по трубопроводу с расходом Q = 20 л/с. Диаметр трубы ***d*** = 100 мм, длины участков составляют $\boldsymbol{l_1}$ = 10 м, $\boldsymbol{l_2}$ = 4 м, $\boldsymbol{l_3}$ = 40 м. Показание манометра, установленного на напорном баке, соответствует $p_{ман}$=0,1 ат. Труба старая, сильно загрязненная, вентиль полностью открытый. При расчете учесть все местные сопротивления.

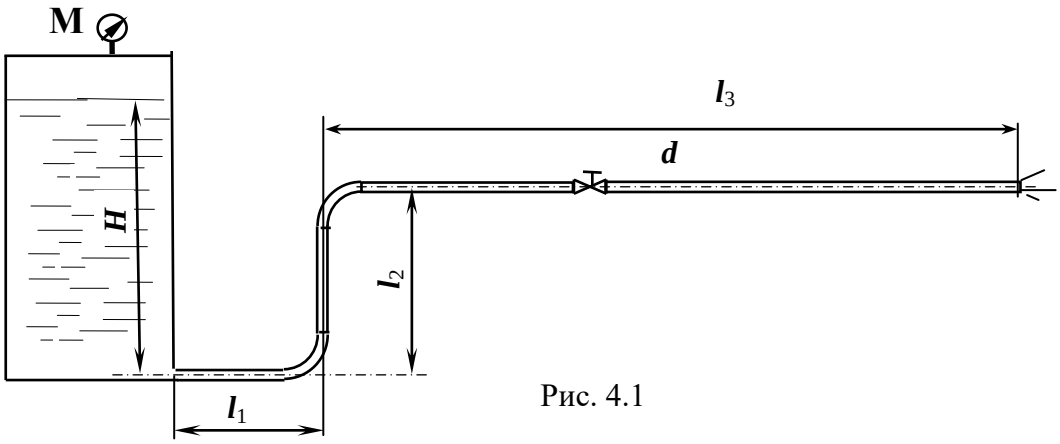


Рис. 4.1

Задача 4.2.

Определить, на каком расстоянии от водонапорного бака установлен манометр, показания которого $p_{ман}$ =4 8 кПа, если длина трубопровода ***l*** = 1000 м, диаметр d = 100 мм, H = 10 м, $\Delta_э$= 0,2 мм; принять режим турбулентный, область сопротивления квадратичная, учесть местные сопротивления, в том числе полностью открытый вентиль.

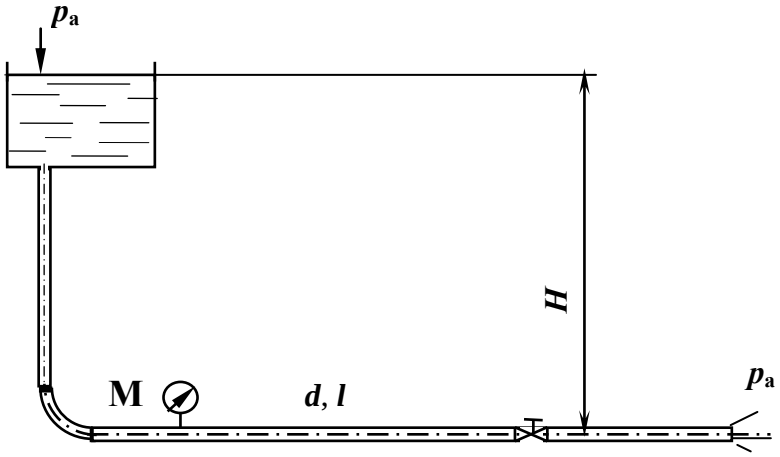


Рис. 4.2

Задача 4.3.

При постоянном напоре вода по двум трубам подаётся из резервуара *A* в резервуар *B* (рис. 4.3).

Определить разность уровней воды в резервуарах (H) при расходе Q = 6,0 л/с. Диаметры и длины труб: d_1 = 50 мм, l_1 = 5,0 м; d_2 = 100 мм, l_2 = 10 м, соответственно абсолютная шероховатость труб: Δ_1 = 0,5 мм, Δ_2 = 0,6 мм. На трубе диаметром d_1 на расстоянии (1/3) l_1 от входа в трубу установлен вентиль с коэффициентом сопротивления $\zeta_{вент}$ = 4,0.

Учесть потери напора на входе и выходе трубопровода, а также при внезапном расширении.

Принять коэффициент кинематической вязкости воды $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

Построить напорную и пьезометрическую линии, показать эпюру потерь напора.

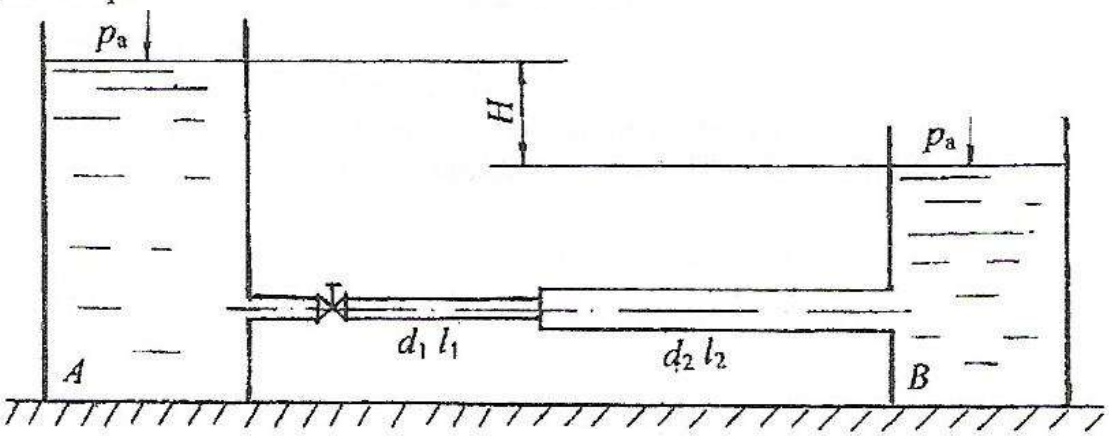


Рис.4.3.

Задача 4.4.

С помощью насоса вода подаётся в напорный бак на высоту H = 6,0 м, диаметр трубы d = 100 мм, длина l = 80 м. Показание манометра в начале трубопровода $p_{ман1}$ = 1,5 ат, в конце $p_{ман2}$ = 0,75 ат (рис. 4.4).

Определить, при каком коэффициенте сопротивления пробкового крана будет обеспечен расход Q = 6,0 л/с.

Принять абсолютную шероховатость трубы Δ = 0,5 мм, коэффициент кинематической вязкости воды $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м^2/с .

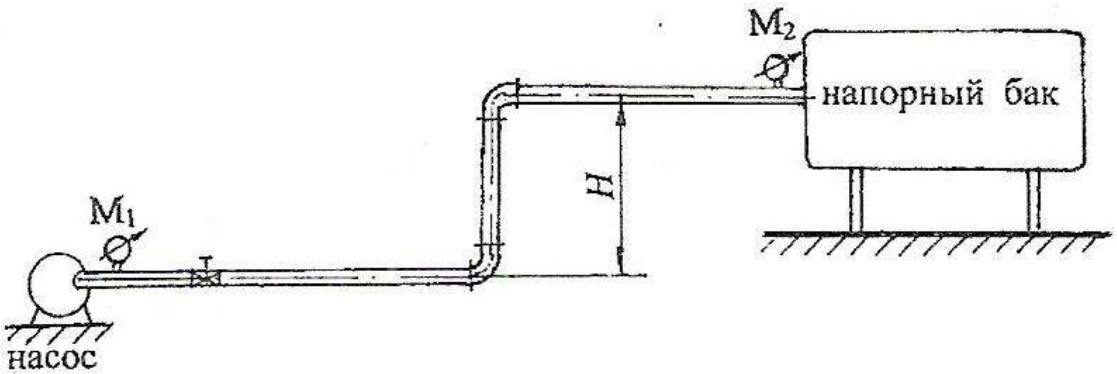


Рис. 4.4

Задача 4.5.

Определить расход воды Q, вытекающей из бака через трубу длиной $\boldsymbol{l}$ = 100 м и диаметром d = 50 мм под напором H = 4 м. Коэффициент сопротивления крана принять равным $\zeta_{кр}$= 6. Труба стальная новая. Учесть все местные сопротивления.

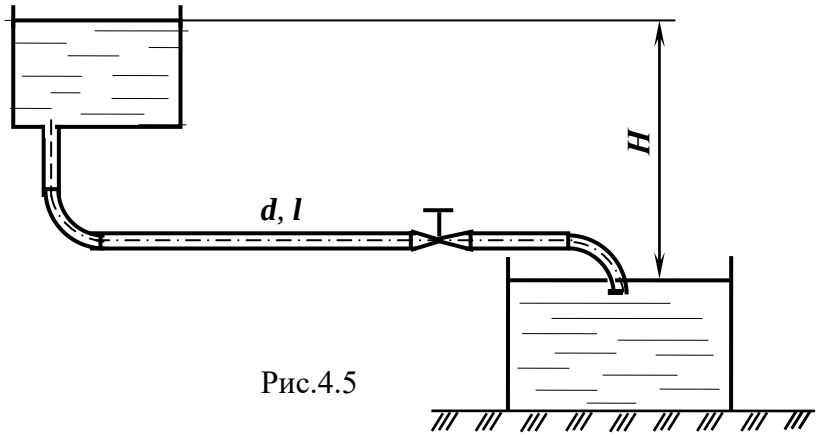


Рис.4.5

Задача .4.6.

Из напорного бака с избыточным давлением на поверхности $p_{ман}$ = 0,13 ат вода подаётся в зумпф по стальной умеренно заржавевшей трубе диаметром d = 50 мм с абсолютной шероховатостью Δ = 0,5 мм, длиной l = 20,0 м (рис. 4.6). На расстоянии l_1 = 8,0 м показание манометра $p_{ман1}$ = 0,19 ат. В системе установлен пробковый кран с углом закрытия α = 20°. Потерями напора при входе в трубу пренебречь. Уровень воды в зумпфе ниже оси трубы на величину h = 0,5 м.

Определить напор воды в баке (H) и расход (Q).

Принять турбулентный режим движения, область квадратичного сопротивления. По окончании расчёта проверить режим движения воды и область сопротивления.

Кинематический коэффициент вязкости воды $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

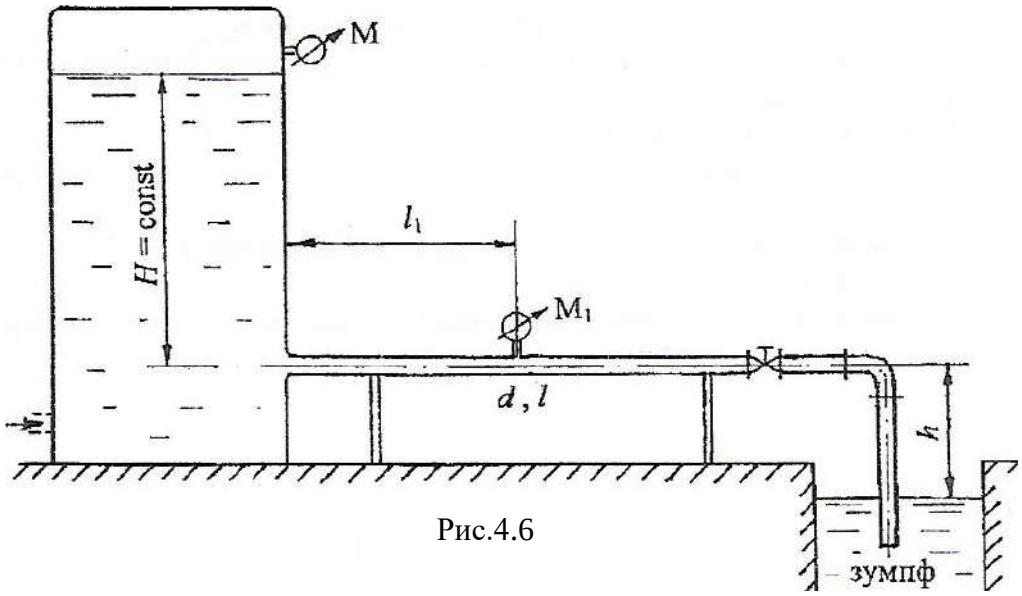


Рис.4.6

Задача .4.7.

Из водоёма с помощью центробежного насоса вода подаётся на горное предприятие (рис. 4.6).

Определить высоту расположения оси центробежного насоса над уровнем воды в водоёме ($h_{нас}$), если расход воды Q = 30 л/с, диаметр трубы d = 200 мм, длина l = 25 м, вакуумметрическое давление на входе в насос $p_{вак}$ = 0,5 ат. На входе в трубу установлена сетка с обратным клапаном. Учесть потери напора в трёх коленах при угле $\alpha = 90^{\circ}$ и в задвижке Лудло со степенью закрытия a/d = 5/8. Считать трубу водопроводной загрязнённой.

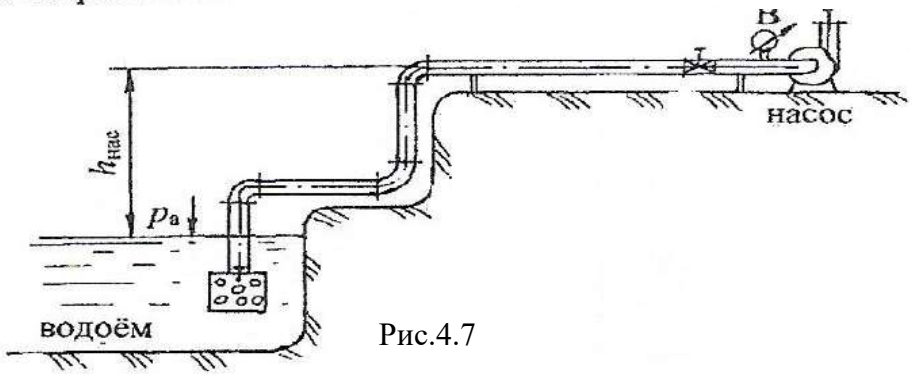


Рис.4.7

Задача 4.8.

С помощью насоса вода подаётся на высоту H = 10 м с истечением в атмосферу по водопроводной трубе в нормальных условиях (рис. 4.8).

Диаметр трубы d = 200 мм, длина трубы l = 50,0 м. Пропускная способность системы Q = 40,0 л/с. В системе установлена задвижка Лудло со степенью закрытия a/d = 5/8. Трубопровод имеет два колена с углом поворота α = 90° и одно колено с углом поворота α_1 = 60°, для которого коэффициент сопротивления $\zeta_{кол}$ = 0,7.

Определить показание манометра, установленного после насоса ($p_{ман}$), а также показание мановакуумметра ($p_{м.в.}$), установленного в верхней точке трубопровода на высоте h = 4,0 м от выхода воды из трубопровода.

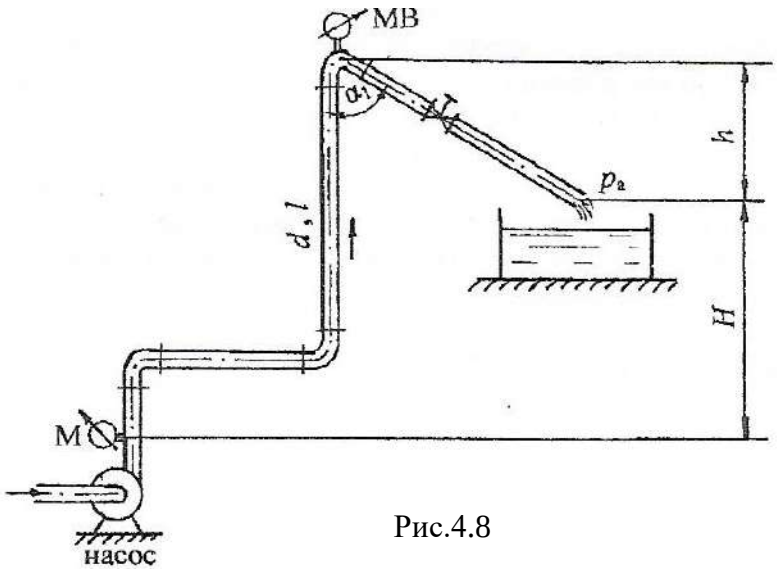


Рис.4.8

Задача 4. 9.

Насос подает дизельное топливо из нижнего бака в верхний. Определить напор, создаваемый насосом, и его полезную мощность, если плотность жидкости $\rho_б$ = 800 кг/м^3 и кинематическая вязкость ν = 3,0·10^{-6}м^2/с**.** Геометрические параметры всасывающего трубопровода: $d_{вс}$ = 125 мм, длина $l_{вс}$= 10 м; нагнетательного трубопровода - $d_н$ = 100 мм, $l_н$= 800 м, эквивалентная шероховатость Δ = 0,5 мм. Высота подъема топлива H = 20 м при подаче Q = 16 л/с, показания манометра, установленного после насоса, $p_{ман}$ = 1,2 ат. Эквивалентную длину в линии нагнетания принять равной 20 м. В линии всасывания учесть потери напора в фильтре ($\zeta_ф$=17) и в полностью открытом вентиле.

Определить также тип прибора, установленного перед насосом.

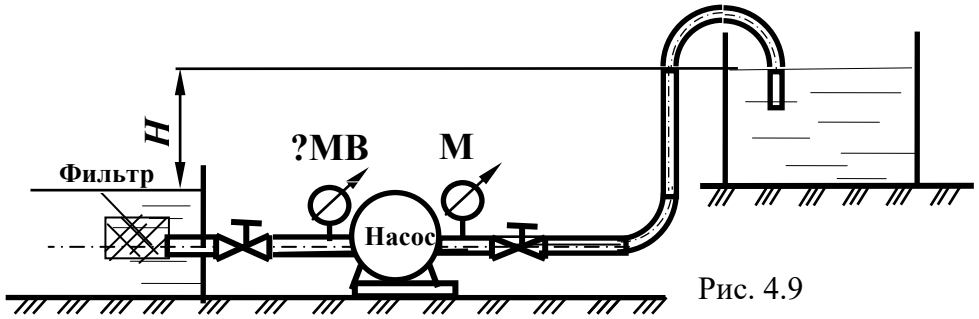


Рис. 4.9

Задача 4.10.

Определить, какой должна быть разность уровней трансформаторного масла в резервуаре и отстойнике, чтобы по трубе диаметром d = 50 мм и длиной l = 25 м проходил расход Q = 3,0 л/с. На трубе установлен пробковый кран с углом открытия α = 20°. Принять кинематический коэффициент вязкости масла ν = 0,38·10^{-4} м^2/с.

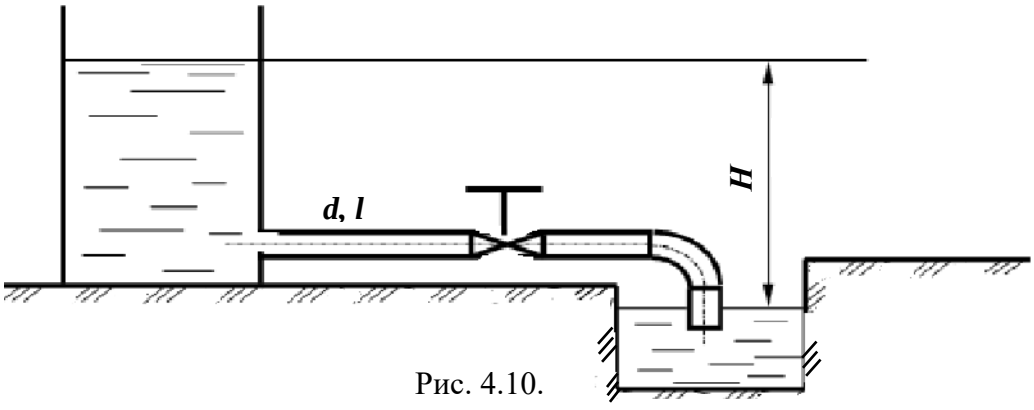


Рис. 4.10.

Задача 4. 11.

Из закрытого резервуара с избыточным давлением на поверхности $p_{ман}$ = 0,8 ат вода подаётся в открытый резервуар на высоту H. Для определения расхода воды на магистральном трубопроводе диаметром d_1 = 100 мм и длиной l = 100 м установлен расходомер Вентури с диаметром цилиндрической вставки d_2 = 50 мм. Разность показаний пьезометров расходомера h = 0,62 м (рис. 4.11).

Определить пропускную способность системы (Q) и высоту подъёма воды (H). Считать трубы водопроводные в нормальных условиях. Потерями напора в расходомере можно пренебречь. Учесть потери напора во всех местных сопротивлениях, принимая коэффициент сопротивления вентиля $\zeta_{вент}$ = 14,5.

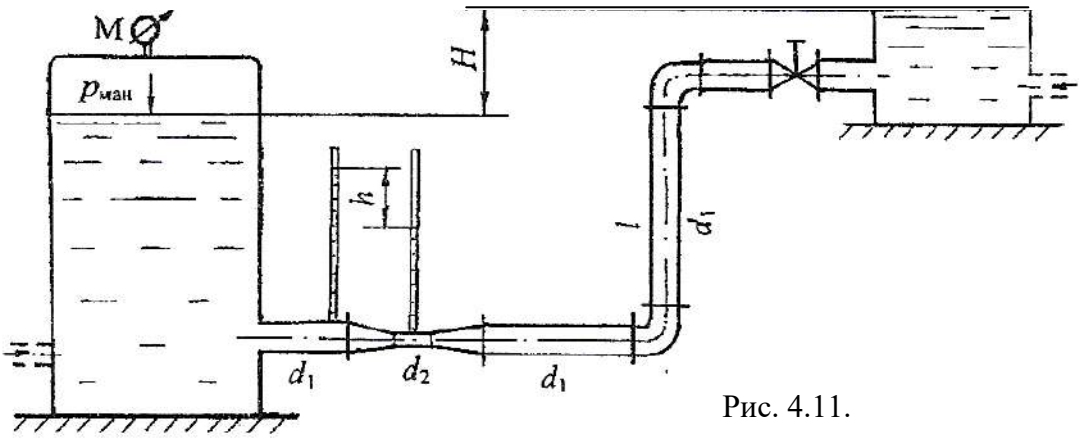


Рис. 4.11.

Задача 4.12.

Из нижнего закрытого резервуара с избыточным давлением на поверхности ($p_{ман}$) вода подаётся в верхний открытый бак по трубе диаметром d = 50 мм, длиной l = 4,0 м (рис. 4.12). Расход воды Q = 3,2 л/с.

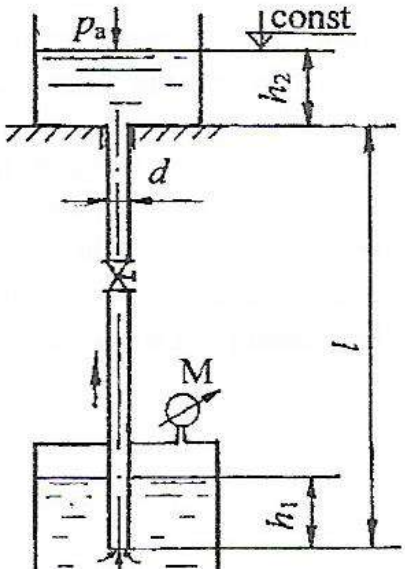


Рис. 4.12

Труба водопроводная несколько загрязнённая. В системе установлен вентиль с коэффициентом сопротивления $\zeta_{вент}$ = 7,0. Напоры $h_1 = h_2$.

Определить показание манометра ($p_{ман}$ в ат), соответствующее избыточному давлению на поверхности воды в нижнем резервуаре.

Задача 4.13

Определить мощность шестеренного насоса, потребную для перемещения поршня гидроцилиндра диаметром D = 50 мм со штоком диаметром d =16 мм, если внешняя нагрузка поршня при рабочем ходе R, скорость рабочего хода υ=0,15 м/с. Рабочая жидкость в системе - масло индустриальное И12. Общая длина гидролиний l_1 =11 м, диаметр трубопроводов d_1 =10 мм. Местные потери напора в обратном клапане, распределителе и в фильтре выражаются через относительные эквивалентные длины , ($l_{экв}/d$)=50, 40, 60.

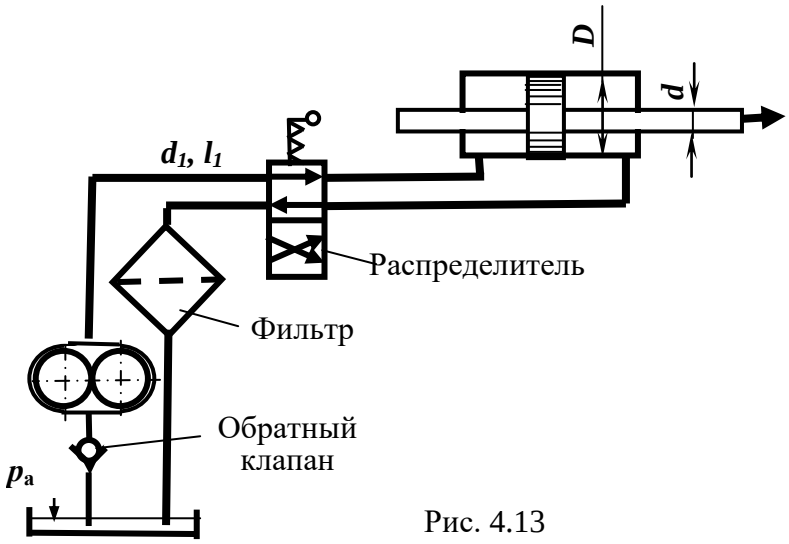


Рис. 4.13

Задача 4.14.

Из бака с постоянным напором (H = const) вода подаётся в зумпф, уровень воды в котором также постоянный и ниже оси трубы на величину h = 2,0 м (рис. 4.14).

Определить напор воды (H) в баке, чтобы расход воды, пропускаемый по трубопроводу диаметром d = 100 мм и длиной l = 80 м, был Q = 14,0 л/с.

Труба водопроводная, чугунная с абсолютной шероховатостью Δ = 1,0 мм. В системе установлен пробковый кран с углом закрытия α = 30°.

Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3; коэффициент кинематической вязкости воды $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

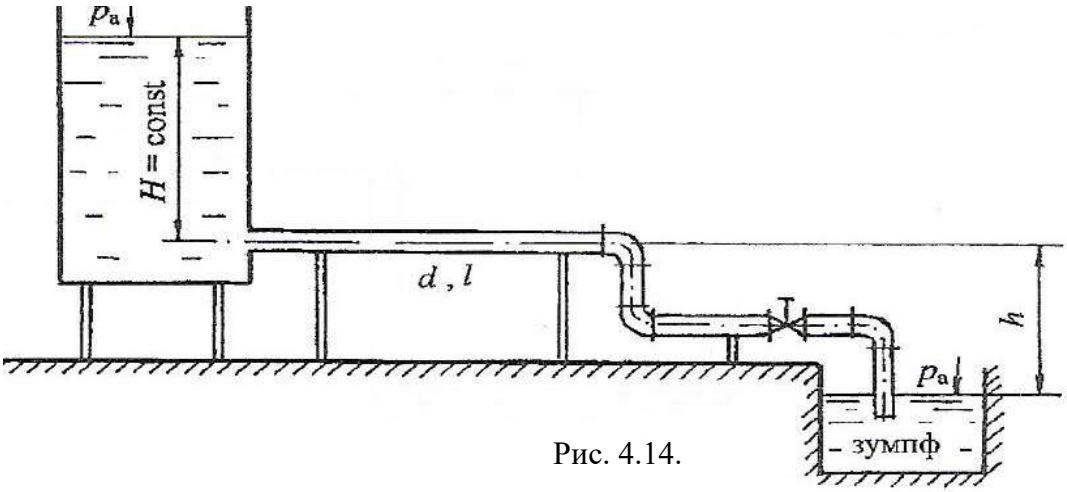


Рис. 4.14.

Задача 4.15.

Бензин из бензохранилища с помощью насоса подаётся в бензобак на высоту $H = 5{,}0$ м. На поверхности бензина в бензобаке поддерживается вакуум $p_{вак} = 0{,}16$ ат (рис. 4.15).

Определить, каким должно быть манометрическое давление ($p_{ман}$ в ат) на выходе из насоса при подаче $Q = 2{,}4$ л/с, если транспортирование бензина происходит по новой стальной трубе с абсолютной шероховатостью $\Delta = 0{,}05$ мм, диаметром $d = 50$ мм, длиной $l = 30$ м, на трубе установлена задвижка Лудло со степенью закрытия $a/d = 5/8$, учесть потери напора в двух коленах и на выходе из трубы в бензобак.

Принять плотность бензина $\rho_{бенз} = 720$ кг/м^3; коэффициент кинематической вязкости бензина $\nu_{бенз} = 0{,}65 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

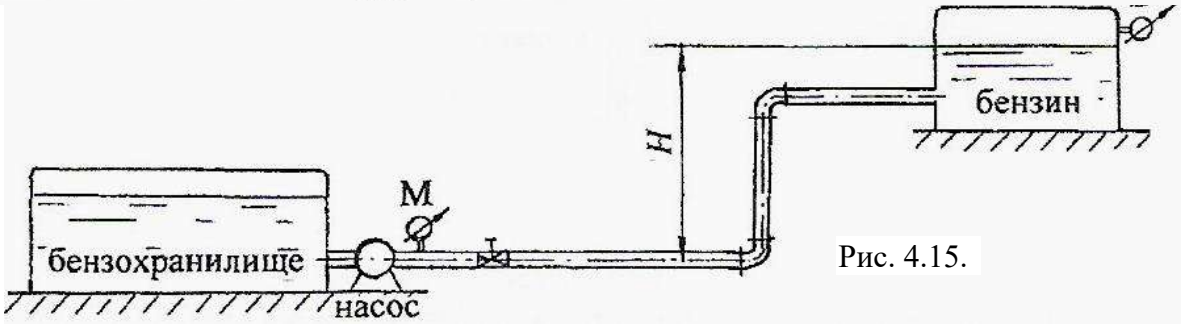


Рис. 4.15.

Задача 4.16.

Определить, на какой высоте (h) следует установить шестерёнчатый насос системы смазки, подающий масло "Турбинное 22" при расходе $Q = 0{,}6$ л/с по стальной трубе диаметром $d = 35$ мм и длиной $l = 2{,}0$ м. Показание вакуумметра на входе в насос $p_{вак} = 0{,}15$ ат (рис. 4.16).

В системе установлен пробковый кран с углом закрытия $\alpha = 40^\circ$. Учесть потери напора в двух коленах при $\zeta_{кол} = 0{,}86$ и на входе в трубу из маслобака $\zeta_{вх} = 0{,}5$. Принять плотность масла $\rho_{масл} = 900$ кг/м^3, коэффициент кинематической вязкости масла $\nu_{масл} = 22 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

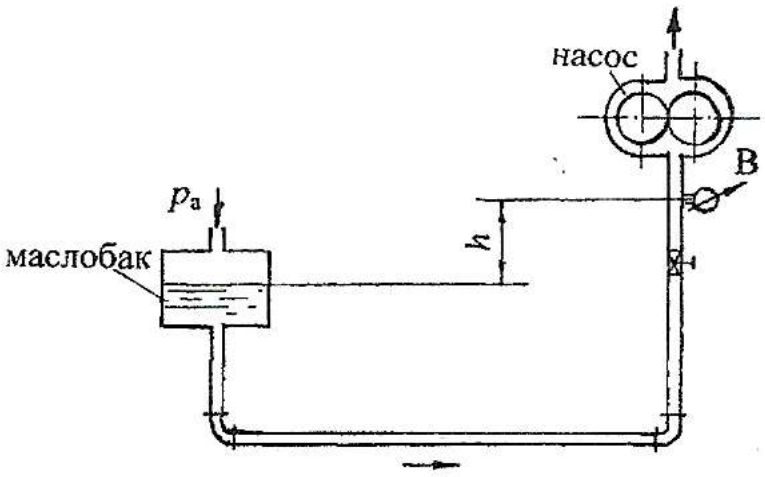


Рис. 4.16

Задача 4.17.

Бензин из бензохранилища с помощью насоса подаётся в закрытый бензобак на высоту $H = 4{,}2$ м. Показание манометра, установленного после насоса, $p_{ман} = 0{,}31$ ат (рис. 4.17).

Определить показание мановакуумметра ($p_{м.в.}$ в ат), измеряющего давление на поверхности бензина в бензобаке, если расход бензина $Q = 2{,}5$ л/с. Транспортирование бензина производится по новой стальной трубе диаметром $d = 50$ мм, длиной $l = 30{,}0$ м с абсолютной шероховатостью $\Delta = 0{,}06$ мм. На трубе установлен пробковый кран с углом закрытия $\alpha = 30°$. Учесть потери напора в трёх коленах и на выходе из трубы в бензобак.

Принять плотность бензина $\rho_{бенз} = 720$ кг/м^3; коэффициент кинематической вязкости бензина $\nu_{бенз} = 0{,}65 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

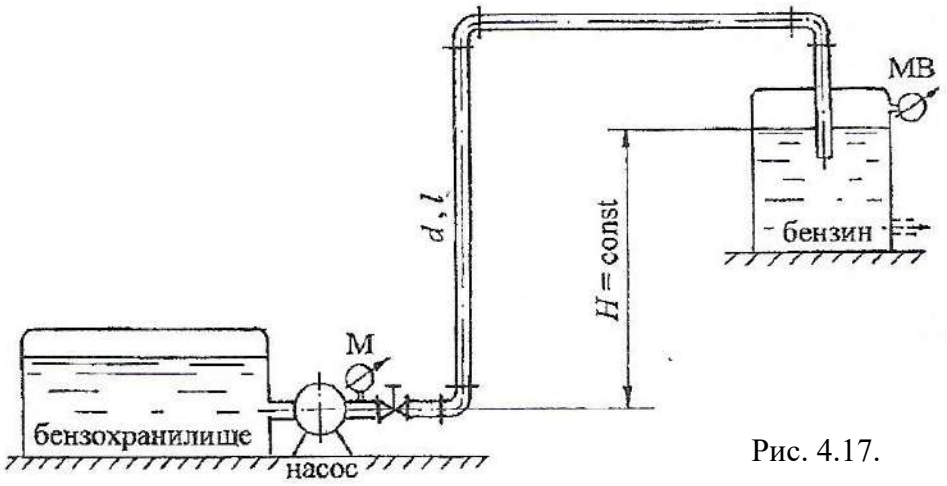


Рис. 4.17.

Задача 4.18.

Определить предельную длину трубопровода диаметром $d = 100$ мм с абсолютной шероховатостью $\Delta = 0{,}1$ мм, с помощью которого бензин плотностью $\rho_{бенз} = 720$ кг/м^3 и коэффициентом кинематической вязкости $\nu_{бенз} = 0{,}65 \cdot 10^{-6}$ м^2/с может быть поднят на высоту $H = 15{,}5$ м при пропускной способности $Q = 8{,}0$ л/с, если показание манометра после насоса $p_{ман} = 1{,}2$ ат (рис. 4.18). Истечение бензина происходит под уровень. Учесть потери напора в пробковом кране при угле закрытия $\alpha = 30°$, трёх коленах и на выходе из трубы в резервуар больших размеров.

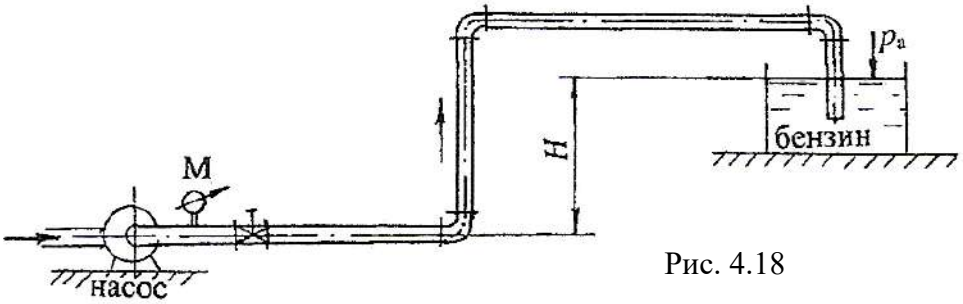


Рис. 4.18

Задача 4.19.

Жидкость плотностью $\rho = 700$ кг/м^3 с кинематическим коэффициентом вязкости $\nu = 3 \times 10^{-6}$ м^2/с подается из бака по трубе длиной $l = 10$ м и диаметром $d = 50$ мм под напором $H = 1$ м. Определить расход, если показание вакуумметра $p_{вак} = 5$ кПа. Коэффициент сопротивления задвижки $\zeta_{кр} = 5{,}5$, шероховатость трубы $\Delta = 0{,}2$ мм. Учесть все местные сопротивления.

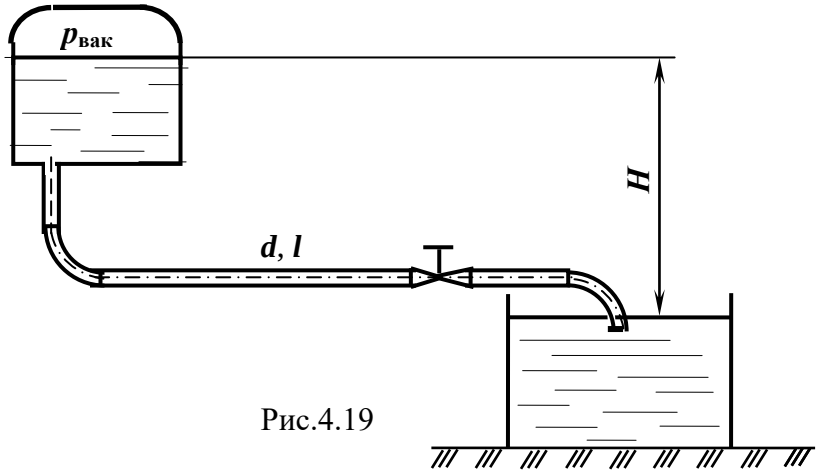


Рис.4.19

Задача 4.20.

Сифонный водосброс диаметром $d = 200$ мм и длиной $l = 10$ м сбрасывает воду из водохранилища в водоём, уровень которого на $H = 2{,}5$ м ниже уровня воды в водохранилище (рис. 4.20).

Определить пропускную способность сифона (Q, л/с), если труба водопроводная загрязнённая имеет водозаборную сетку с обратным клапаном, два колена: одно с углом закругления $\alpha_1 = 90°$ и отношением $r/R = 0{,}5$; второе без закругления с углом $\alpha_2 = 60°$; вентиль с коэффициентом сопротивления $\zeta_{вент} = 5{,}0$ и выход из трубы в резервуар больших размеров. Рассчитать, каким должен быть вакуум ($p_{вак}$ в ат.) в конце горизонтального участка сифона, если длина трубы до этого сечения $l_1 = 4{,}0$ м, высота сифона $h_{сиф} = 1.5$ м.

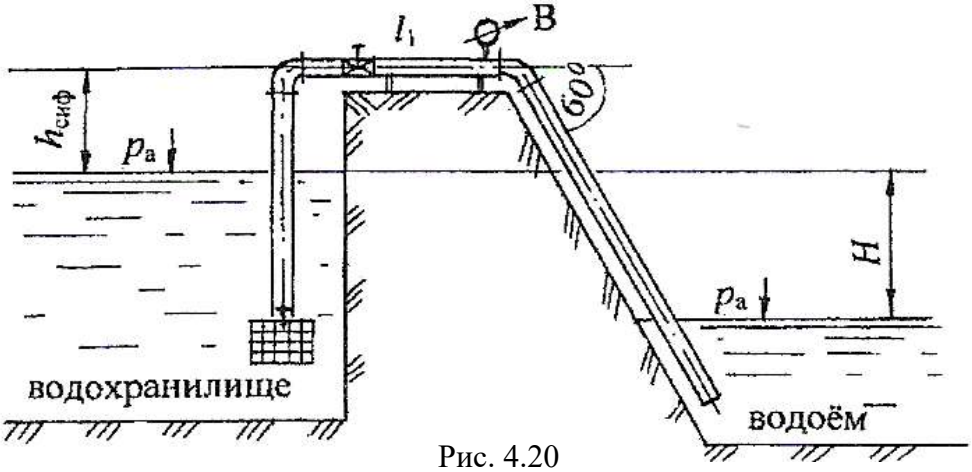


Рис. 4.20

Задача 4. 21.

Из напорного бака по стальной трубе длиной l = 30,0 м, диаметром d = 50 мм с абсолютной шероховатостью Δ = 0,15 мм бензин подаётся в открытый резервуар (рис. 4.21). Транспортирование производится при постоянном напоре H = 5,0 м. На поверхности бензина в баке действует вакуумметрическое давление ($p_{вак}$). Пропускная способность системы Q = 2,5 л/с. На трубопроводе установлен вентиль с коэффициентом сопротивления $\zeta_{вент}$ = 8,0.

Определить величину вакуума ($p_{вак}$) в бензобаке. Принять плотность бензина $\rho_{бенз}$ = 750 кг/м^3; коэффициент кинематической вязкости бензина $\nu_{бенз} = 0{,}9 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

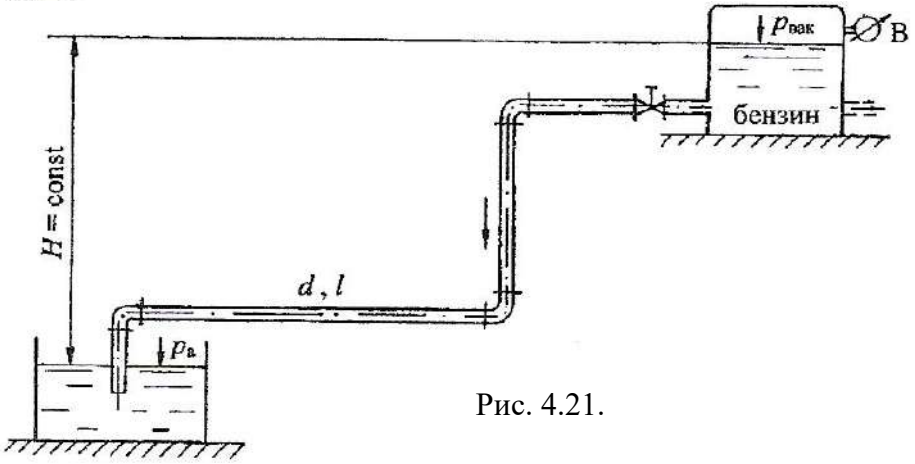


Рис. 4.21.

Задача 4.22.

Из закрытого резервуара с избыточным давлением на поверхности масла, соответствующим показанию манометра $p_{ман}$ = 0,11 ат, трансформаторное масло подаётся в открытый отстойник по трубе диаметром d = 50 мм и длиной l = 60,0 м. На трубе установлен пробковый кран с углом закрытия $\alpha = 30^\circ$ (рис. 4.22).

Определить, какой должна быть разность уровней масла в баке и отстойнике (H) для обеспечения пропускной способности трубопровода Q = 2,5 л/с.

Принять плотность масла $\rho_{масл}$ = 884 кг/м^3; коэффициент кинематической вязкости масла $\nu_{масл} = 30 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

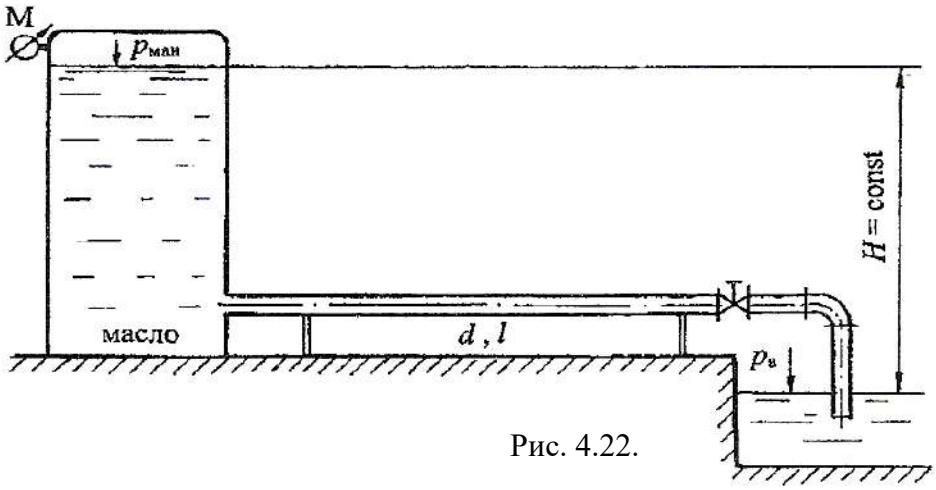


Рис. 4.22.

Задача 4.23.

Определить подачу $Q_р$ и напор $H_р$ для *рабочей точки* насосной установки, состоящей из насоса К 90/85 и трубопровода длиной l = 1400 м и диаметром d = 200 мм, снабженного задвижкой с коэффициентом сопротивления $\zeta_з$= 6,5. Необходимая высота подъема воды $H_г$=45 м, а свободный напор у потребителя $H_{св}$ =20 м. Трубопровод работает в зоне квадратичных сопротивлений. Коэффициент эквивалентной шероховатости Δ =0,9 мм.

Данные для построения характеристики насоса:

Характеристи-ка насоса К 90/85	Q,л/с	0	10	20	30	40
	H, м	100	110	105	90	65

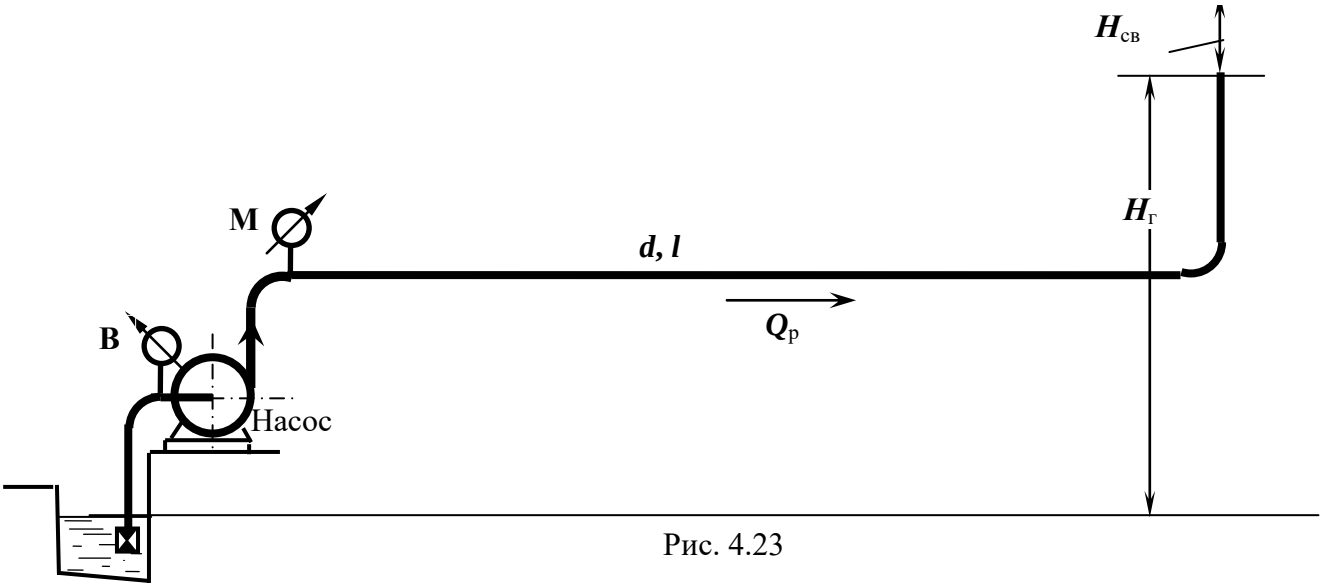


Рис. 4.23

Задача 4. 24.

Из резервуара *A* в резервуар *B* при постоянном напоре (H) с расходом Q = 4,3 л/с вода подаётся по двум трубам d_1 = 50 мм, длиной l_1 = 15 м и d_2 = 100 мм, l_2 = 30 м (рис. 4.24).

Трубы стальные умеренно заржавевшие с эквивалентной шероховатостью $\Delta_1 = \Delta_2 = 0{,}5$ мм. На середине трубы диаметром d_2 установлена задвижка Лудло со степенью закрытия a/d = 3/4.

Учесть все местные сопротивления.

Принять коэффициент кинематической вязкости воды $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

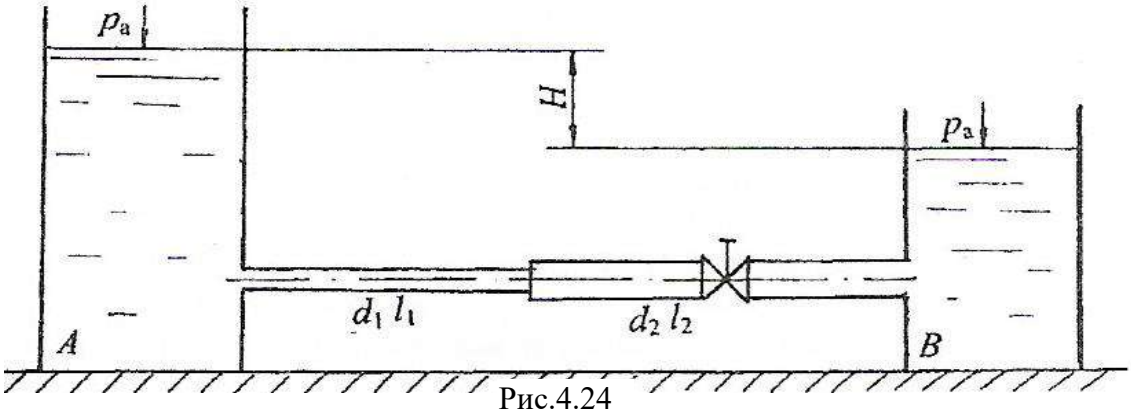


Рис.4.24

Задача 4. 25.

Поршень диаметром D = 200 мм движется равномерно вверх в цилиндре, засасывая воду из открытого водоёма с постоянным уровнем по трубопроводу диаметром d = 50 мм и длиной l = 12 м (рис. 4.25). Труба водопроводная нормальная имеет два колена, вход в трубу с острыми кромками и выход воды под уровень. Когда поршень находится выше уровня воды в водоёме на высоте h = 2 м, необходимая сила для его перемещения F = 2,4 кН.

Определить скорость подъёма поршня ($v_п$) и найти, до какой высоты h_{max} его можно поднимать с такой скоростью без опасности отрыва от него жидкости, если давление насыщенных паров $p_{н.п.}$ = 4,25 кПа. Давление насыщенных паров учитывать как абсолютное давление под поршнем. Массой поршня, трением его о стенки и потерями напора в цилиндре можно пренебречь.

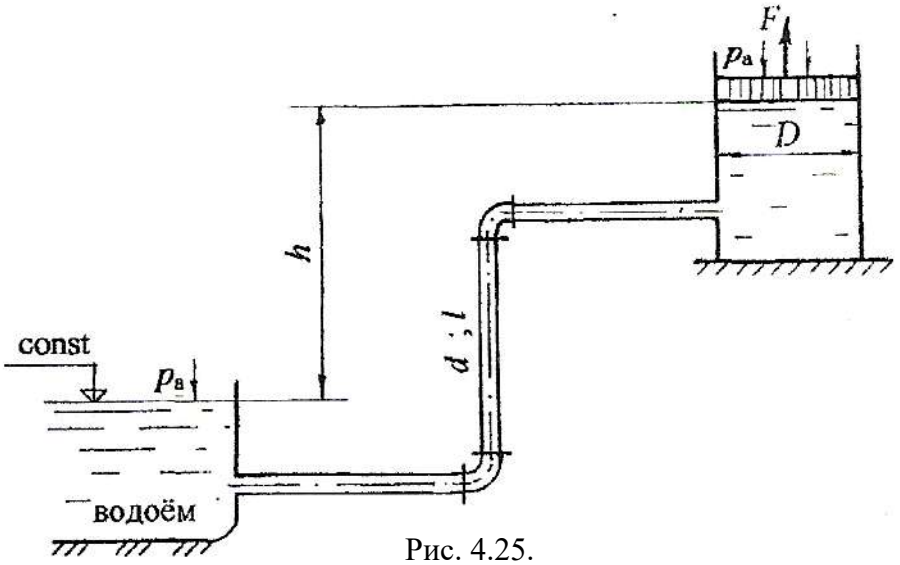


Рис. 4.25.

ТЕМА 5.
Основы гидравлического расчета сложных трубопроводов

Методические рекомендации по решению задач
Основы гидравлического расчета сложных трубопроводных систем

В сложных системах трубопроводы на отдельных участках чаще всего бывают длинными. В этих случаях основными являются потери напора по длине. Местные потери напора при этом могут отдельно не рассчитываться, а учитываться как часть потерь по длине. Например,

$$\Sigma h_r = (10 \div 15)\ \%\ h_l,$$

тогда

$$h_w = \Sigma h_r + h_l = (1{,}1 \div 1{,}15)\ h_l.$$

Коэффициент выбирается в соответствие с условием задачи.

Как правило, для определения потерь напора по длине участка используют обобщенные параметры, например – **удельное сопротивление** ***A*** (сопротивление единицы длины)**:**

$$h_l = AQ^2 l.$$

где

$$A = \frac{8\lambda}{\pi^2 g\, d^5}.$$

Для квадратичной области сопротивления можно использовать значение A из табл. 8 Приложения.

Кроме удельного сопротивления используется параметр, называемый *полным сопротивлением* трубопровода

$$a = A\, l,$$

l –длина трубопровода (полная или приведенная расчетная с учетом эквивалентных длин, заменяющих местные сопротивления).

Произведение $AQ^2 = I$ *– это гидравлический уклон*, т. е. потери напора на единице длины.

При решении задачи уместно воспользоваться уравнением Бернулли для энергетического анализа и на его основе составить уравнения для определения неизвестного параметра.

Важно помнить особенности расчета потерь напора в основных типах трубопроводных систем.

При последовательном соединении участков потери напора в системе- это сумма потерь напора на отдельных участках

В кольцевых и тупиковых системах в узловых точках для всех участков (сколько бы их не было) величина напора одинакова. При наличии параллельного соединения величина потерь напора на всех участках одинакова и в системе учитывается только по одному участку. В тупиковых системах при определении величины необходимого напора в узловой точке к расчету принимается участок с максимальными потерями напора.

Задача 5.1.

Из водонапорной башни ***A*** по трём последовательно соединённым трубам вода поступает в напорный бак ***D*** с отметкой горизонта воды 12,0 м. Расход воды в системе Q = 18,4 л/с. Диаметры и длины участков трубопровода: d_1 = 200 мм, l_1 = 600 м; d_2 =150 мм, l_2 = 500 м; d_3 = 125 мм, l_3 = 400 м. Система работает при постоянном напоре (рис. 5.1).

Определить отметку горизонта воды в водонапорной башне ($H_{\text{башни}}$), а также напоры в пунктах ***B*** (H_B) и ***C*** (H_C). Построить пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине.

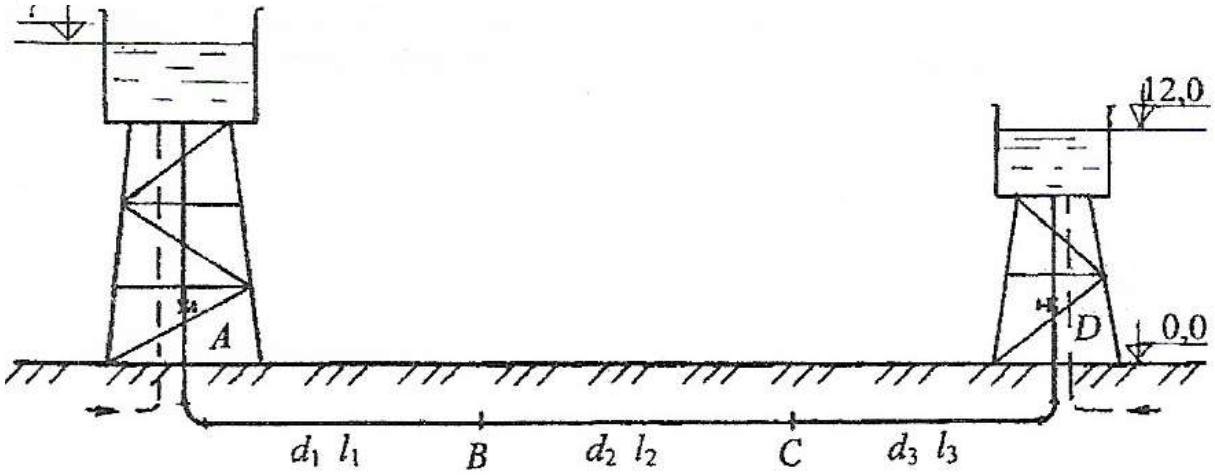


Рис.5.1

Задача 5.2.

Тупиковая система, представленная в плане, предназначена для снабжения водой четырёх потребителей - ***A***, ***B***, ***C*** и ***D***. Расходы потребителей: Q_A = 16 л/с; Q_B = 14 л/с; Q_C = 12 л/с; Q_D = 8 л/с (рис. 5.2).

Рассчитать диаметры труб на каждом участке при условии, что средняя скорость в трубах не должна превышать $v_{\text{ср}}$ = 1,2 м/с. Определить высоту водонапорной башни H, если остаточные напоры у потребителей должны быть не менее 10 м ($h_{\text{ост}} \geq 10$ м).

Длины участков сети: l_1 = 700 м; l_2 = 400 м; l_3 = 600м; l_4 = 350 м. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине. Построить в аксонометрии пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

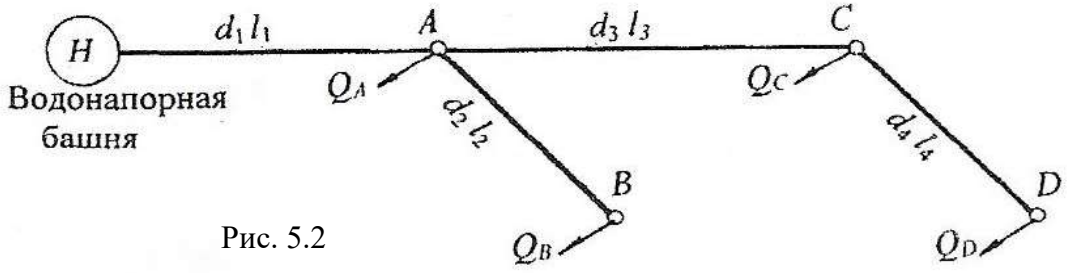


Рис. 5.2

Задача 5.3.

От водонапорной башни ***A*** вода подаётся потребителю ***D***. Водопроводная система включает параллельное соединение труб на участке ***BC*** (см. рис. 5.3).

Определить расход (Q) в системе, а также распределение расхода в параллельных участках (Q_2, Q_3, Q_4). Действующий напор водонапорной башни $H = 19{,}0$ м.

Диаметры и длины участков сети: $d_1 = 250$ мм, $l_1 = 500$ м; $d_2 = 150$ мм, $l_2 = 450$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 420$ м; $d_4 = 150$ мм, $l_4 = 550$ м; $d_5 = 200$ мм, $l_5 = 400$ м. Трубы водопроводные нормальные. Местные сопротивления принять равными 10 % от потерь по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

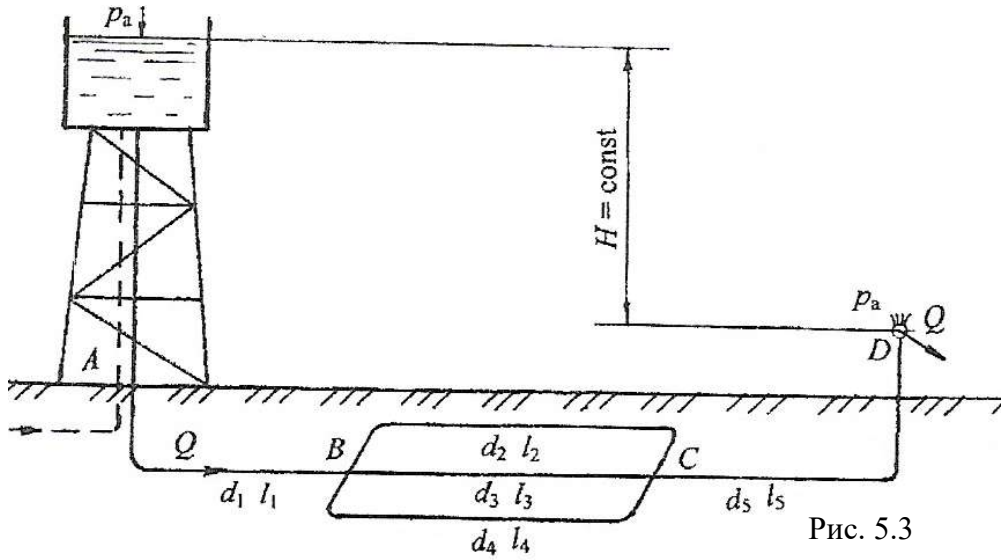


Рис. 5.3

Задача 5.4.

От насосной установки по двум трубам $d_1 = 250$ мм, $l_1 = 600$ м и $d_2 = 200$ мм, $l_2 = 400$ м вода подаётся двум потребителям - ***A*** и ***B*** - с расходами $Q_A = 30{,}0$ л/с; $Q_B = 10{,}0$ л/с. На втором участке предусмотрена равномерная раздача воды с путевым расходом $Q_{пут} = 20{,}0$ л/с (рис. 5.4).

Определить остаточные напоры у потребителей ***A*** и ***B***, если показание манометра, установленного после насоса, $p_{ман} = 2{,}0$ ат.

Трубы водопроводные нормальные. Местные сопротивления принять равными 10 % от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию.

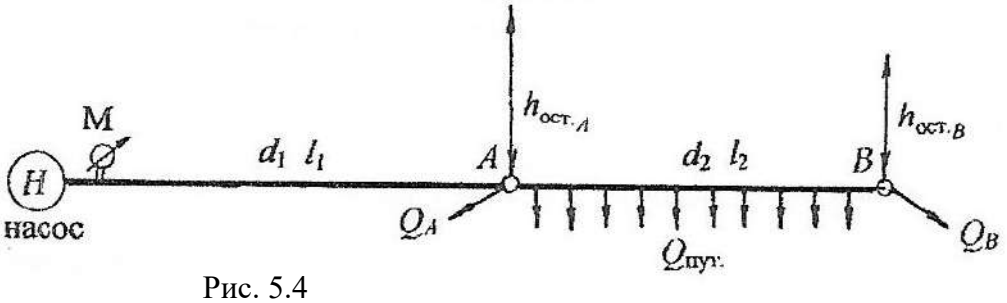


Рис. 5.4

Задача 5.5.

Из водонапорной башни с постоянной отметкой уровня воды при $H_{\text{башни}} = 24$ м, по трубопроводной системе вода подаётся четырём потребителям - ***A***,***B***,***C*** и ***D*** - на отметку $H = 12{,}0$ м (см. рис. 5.5).

Определить, какой расход подаётся каждому потребителю (Q_A, Q_B, Q_C, Q_D), если отметки пьезометрической линии в узловых точках: $H_A = 20{,}9$ м; $H_B = 18{,}7$ м; $H_C = 15{,}0$ м. Диаметры и длины участков труб: $d_1 = 200$ мм, $l_1 = 400$ м; $d_2 = 200$ мм, $l_2 = 450$ м; $d_3 = 150$ мм, $l_3 = 350$ м; $d_4 = 125$ мм, $l_4 = 300$ м.

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь по длине. Показать распределение пьезометрического напора и эпюру потерь напора для системы.

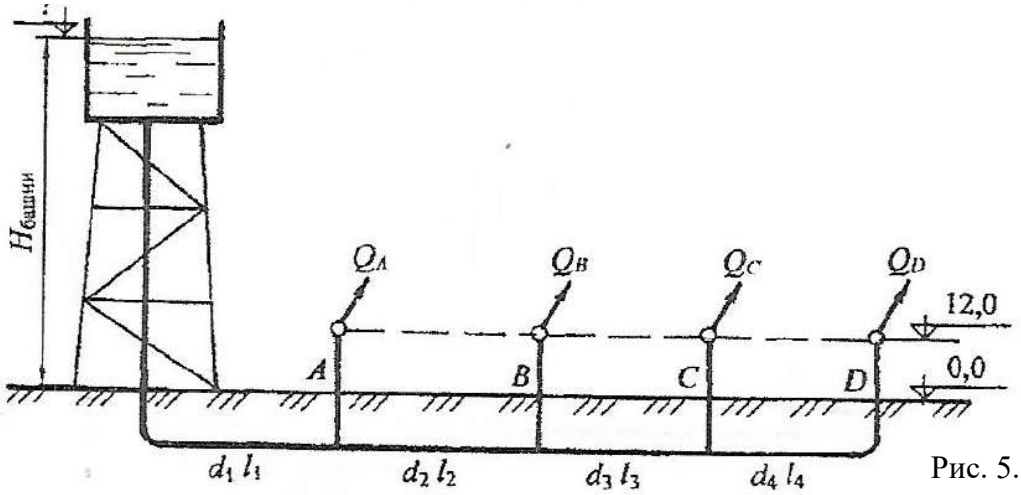


Рис. 5.5

Задача 5.6.

Система водоснабжения, представленная в плане на рис. 5.6), имеет три потребителя - ***A***, ***B*** и ***C***. Определить расходы воды у потребителей (Q_A, Q_B, Q_C в л/с), если свободные (остаточные) напоры у потребителей: $h_A = 20{,}0$ м; $h_B = 14{,}0$ м; $h_C = 15{,}0$ м. Показание манометра, установленного после насоса, $p_{\text{ман}} = 2{,}7$ ат. Потребители расположены на одном горизонте.

Диаметры и длины участков сети: $d_1 = 200$ мм, $l_1 = 600$ м; $d_2 = 150$ мм, $l_2 = 500$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 400$ м. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине. Построить в аксонометрии пьезометрическую линию.

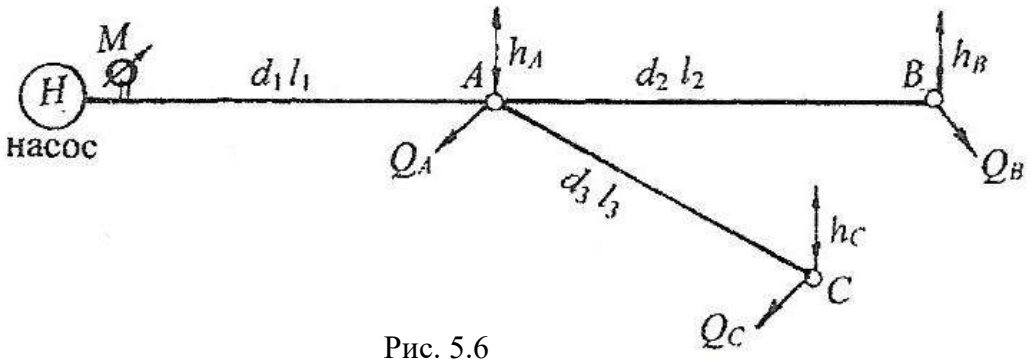


Рис. 5.6

Задача 5.7.

Водонапорная башня ***A*** с отметкой 22,0 м питает два потребителя - ***B*** и ***C*** - через систему двух последовательно соединённых труб. Пьезометрический напор в конце первого участка $h_p = 15{,}0$ м (рис. 5.7).

Определить расход воды на первом участке (Q_1) и расход потребителя ***C*** (Q_C), а также отметку потребителя ***C***. Принять расход потребителя ***B***: $Q_B = 10$ л/с.

Диаметры и длины участков водопроводной системы: $d_1 = 150$ мм, $l_1 = 600$ м; $d_2 = 125$ мм, $l_2 = 500$ м. Трубы водопроводные нормальные. Местные потери напора принять равными 5 % от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

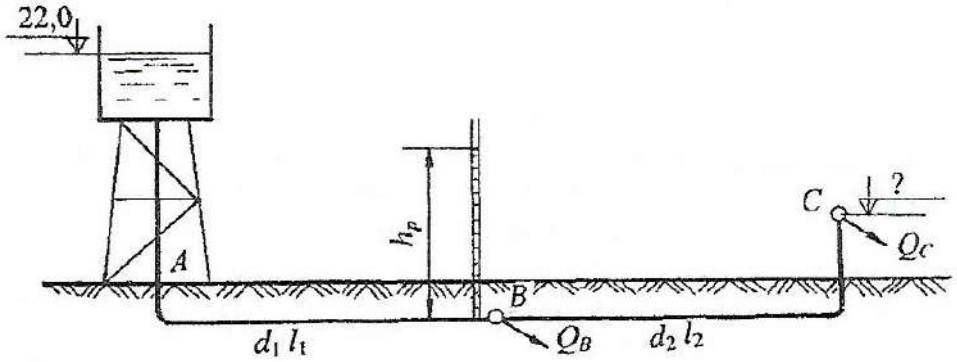


Рис. 5.7

Задача 5.8.

От насосной установки по трубопроводной системе с параллельным соединением труб вода подаётся двум потребителям - ***A*** и ***B*** - с расходами $Q_A = 10{,}0$ л/с и $Q_B = 12{,}0$ л/с (рис. 5.8). Длины и диаметры участков системы: $d_1 = 100$ мм, $l_1 = 500$ м; $d_2 = 125$ мм, $l_2 = 700$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 600$ м. Высота подъёма воды у потребителя ***B*** относительно магистрального трубопровода $H_B = 8$ м.

Определить распределение расходов в параллельных участках труб (Q_1 и Q_2), а также показание манометра, установленного после насоса ($p_{ман}$). Местные сопротивления принять равными 5 % от потерь по длине. Потери напора на участке от насоса до узла разветвления труб не учитывать. Трубы водопроводные нормальные уложены на одном горизонте.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора

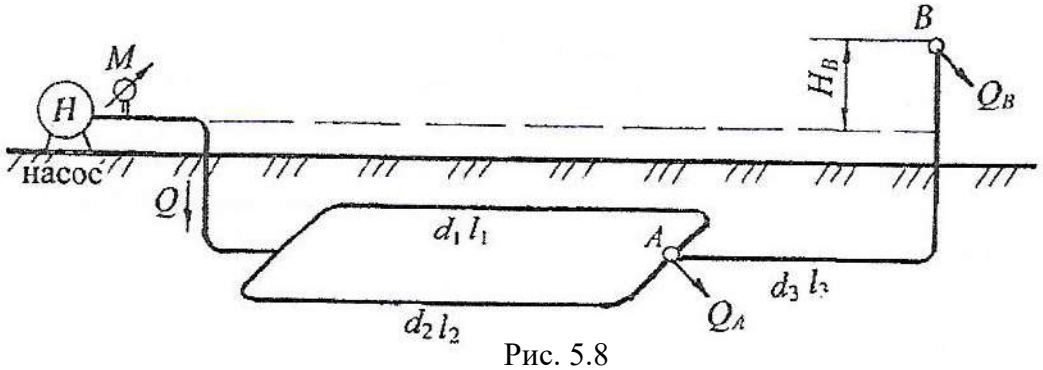


Рис. 5.8

Задача 5.9.

Из водонапорного бака A с избыточным давлением на поверхности $p_{ман} = 19{,}6$ кПа по трём последовательно соединённым трубам вода подаётся потребителям B, C и D с одинаковыми расходами: $Q_B = Q_C = Q_D = Q$. У потребителя D - выход воды в атмосферу (рис. 5.9).

Определить расход воды на каждом участке трубы, диаметры и длины участков соответственно: $d_1 = 200$ мм, $l_1 = 600$ м; $d_2 = 150$ мм, $l_2 = 500$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 400$ м.

Действующий напор $H = 15$ м считать постоянным. Трубы водопроводные нормальные. Местные потери принять равными 10 % от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

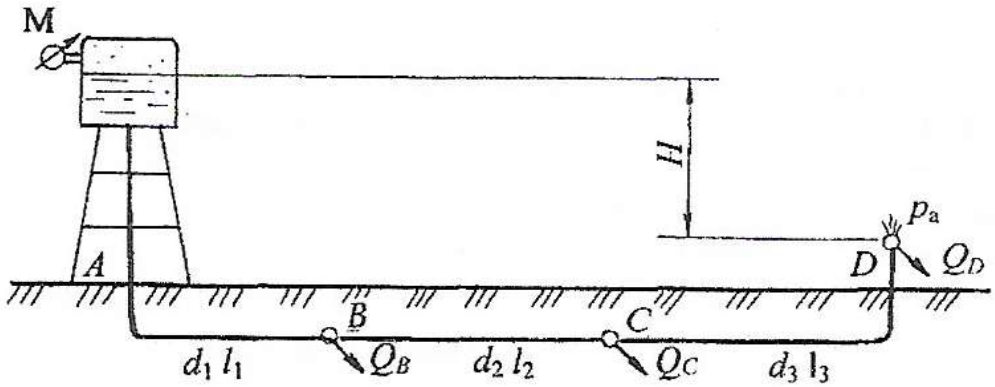


Рис. 5.9

Задача 5.10.

Два потребителя - B и C - с расходами: $Q_B = 20$ л/с и $Q_C = 15$ л/с - питаются от насосной установки. Отметки, на которые надо поднять воду у потребителей: $h_B = 12{,}0$ м; $h_C = 10{,}0$ м (рис. 5.27). Диаметры и длины трубопроводов: $l_1 = 600$ м; $d_2 = 150$ мм, $l_2 = 500$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 400$ м.

Определить расход воды на магистральном участке (Q_1), рассчитать диаметр трубы первого участка (d_1) при условии, что эксплуатационная скорость не должна превышать 1,2 м/с ($v_{экс} \leq 1{,}2$ м/с).

Рассчитать показание манометра ($p_{ман}$), установленного после насоса. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине.

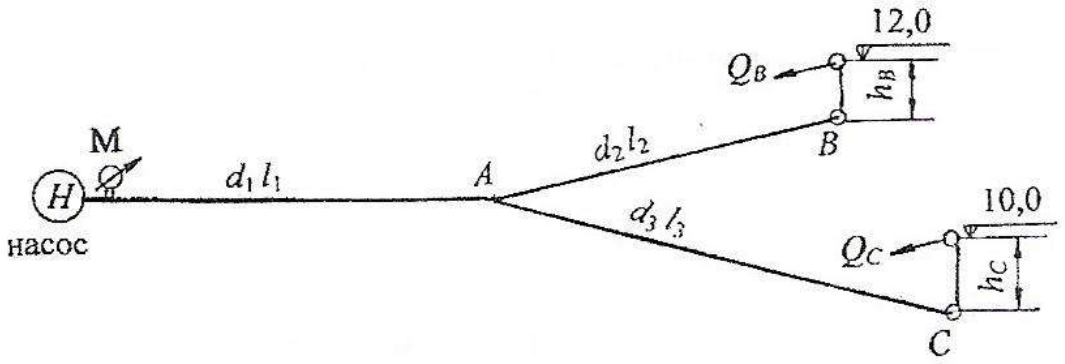


Рис. 5.10

Задача 5.11.

От насосной установки вода подаётся двум потребителям - ***A*** и ***B*** - с расходами Q_A = 15,0 л/с, Q_B = 20,0 л/с. У потребителя ***B*** вода подаётся на высоту 12,0 м (рис. 5.11).

Определить показание манометров после насоса ($p_{ман}$) и на середине второго участка ($p_{ман1}$). Диаметры и длины участков: d_1 = 200 мм, l_1 = 700 м; d_2 = 150 мм, l_2 = 600 м.

Трубы водопроводные нормальные. Местные потери принять равными 5 % от потерь напора по длине. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

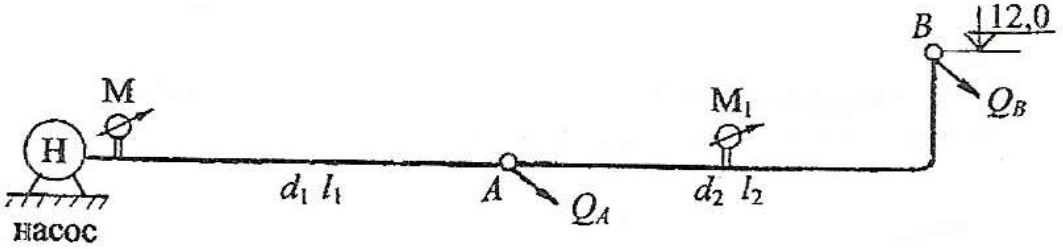


Рис. 5.11

Задача 5.12.

Из водонапорной башни ***A*** вода поступает потребителю ***D*** система включает параллельное соединение труб на участке ***BC*** (рис. 5.12).

Определить действующий напор (H), а также распределение расхода в параллельных участках (Q_2, Q_3, Q_4), если общий расход Q = 52,0 л/с.

Диаметры и длины участков сети: d_1 = 250 мм, l_1= 400 м; d_2 = 150 мм, l_2 = 500 м; d_3 = 125 мм, l_3 = 450 м; d_4 = 150 мм, l_4 = 550 м; d_5 = 200 мм, l_5 = 350 м. Трубы водопроводные нормальные. Местные сопротивления принять равными 10 % от потерь по длине.

Построить пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

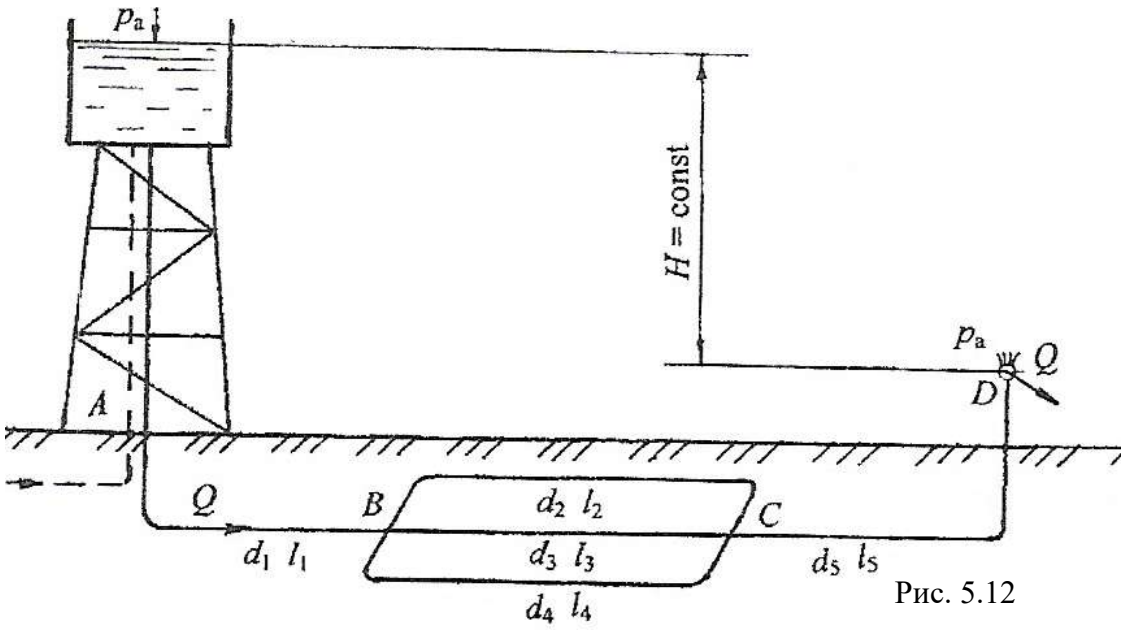


Рис. 5.12

Задача 5.13.

Из водонапорной башни по трубопроводам вода поступает четырём потребителям - ***A***, ***B***, ***C*** и ***D*** - на отметку 12,0 м. Расходы потребителей составляют: $Q_A = 6{,}0$ л/с; $Q_B = Q_C = 8{,}0$ л/с; $Q_D = 10{,}0$ л/с (рис. 5.13).

Определить отметку уровня воды в водонапорной башне ($H_{\text{башни}}$), считая её постоянной. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора, показать отметки пьезометрических напоров в узловых точках ***A***, ***B*** и ***C***. Диаметры и длины участков труб: $d_1 = 200$ мм, $l_1 = 400$ м; $d_2 = 200$ мм, $l_2 = 450$ м; $d_3 = 150$ мм, $l_3 = 350$ м; $d_4 = 125$ мм, $l_4 = 300$ м. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь по длине.

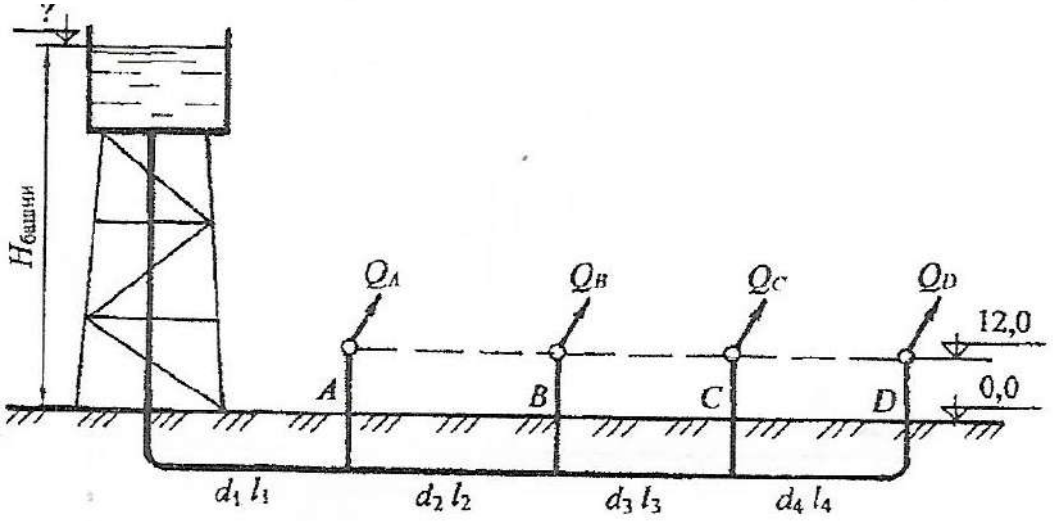


Рис. 5.13

Задача 5.14.

Из водонапорной башни ***A*** обеспечиваются водой три потребителя - в точках ***B***, ***C*** и ***D***. Пропускная способность первого участка $Q_1 = 30$ л/с; расходы потребителей: $Q_B = 12$ л/с; $Q_C = 10$ л/с (рис. 5.14).

Определить расход потребителя ***D*** (Q_D, л/с), а также отметку горизонта воды в водонапорной башне, если остаточный напор у потребителя ***D*** ($h_{\text{ост}_D}$) должен быть не менее 10 м. Принять диаметры и длины участков труб: $d_1 = 200$ мм, $l_1 = 600$ м; $d_2 = 150$ мм $l_2 = 500$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 400$ м.

Трубы водопроводные нормальные, местные сопротивления составляют 10 % от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

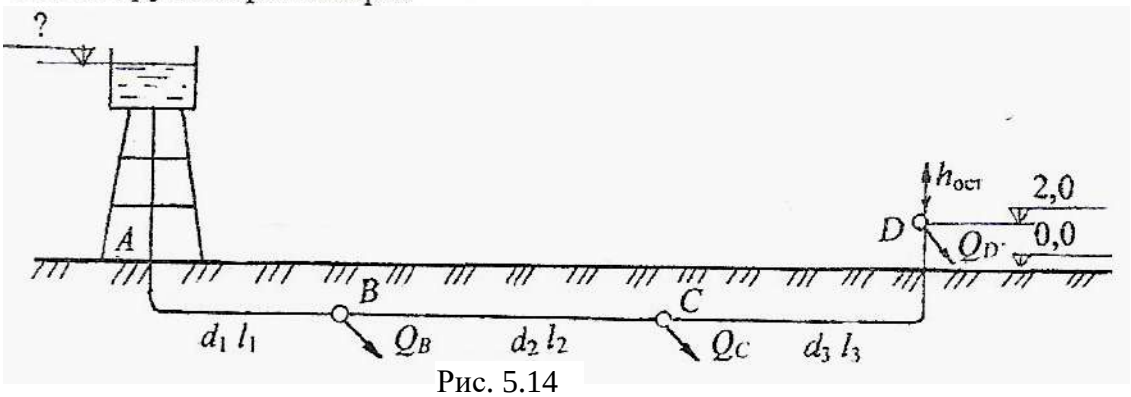


Рис. 5.14

Задача 5.15.

Тупиковая водопроводная система, представленная в плане на рис. 5.15), состоит из насосной установки, подающей воду четырём потребителям - ***A***, ***B***, ***C*** и ***D***– с расходами: Q_A = 10 л/с; Q_B = 15 л/с; Q_C = 12 л/с; Q_D = 13 л/с.

Рассчитать диаметры труб на каждом участке при условии, что эксплуатационная скорость $v_{экс} \leq 1{,}2$ м/с. Определить показание манометра, установленного после насоса, если остаточные (свободные) напоры у потребителей должны быть не менее 10 м ($h_{ост} \geq 10$ м). Длины участков сети: l_1 =500 м; l_2 = 400 м; l_3 = 600 м; l_4 = 300 м; l_5 =340 м.

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине.

Построить в аксонометрии пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

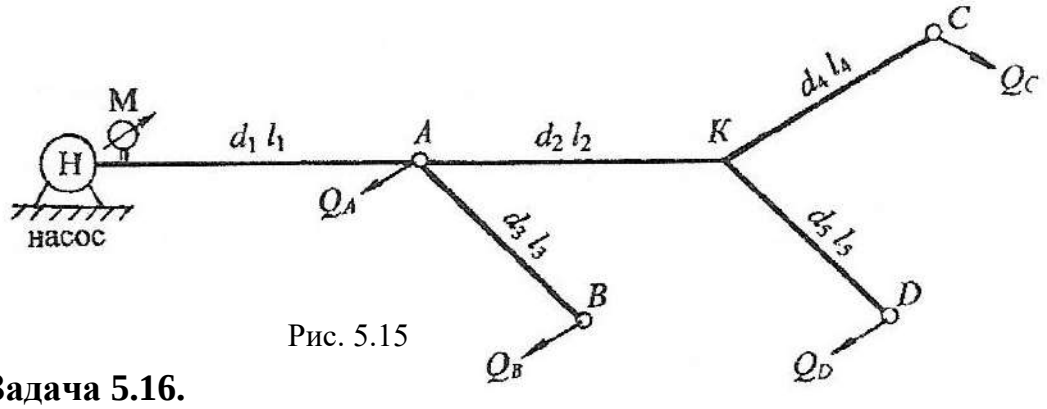


Рис. 5.15

Задача 5.16.

Из водонапорной башни ***A*** с отметкой уровня горизонта воды 20,0 м вода подаётся потребителям ***B*** и ***C*** с расходами: Q_B = 15,0 л/с; Q_C = 10,0 л/с по трубам: d_1 = 150 мм, l_1 = 500 м; d_2 = 125 мм, l_2 = 400 м (рис. 5.16).

Определить отметки в пунктах ***B*** и ***C***, на уровне которых будут обеспечены заданные расходы. Построить пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь по длине.

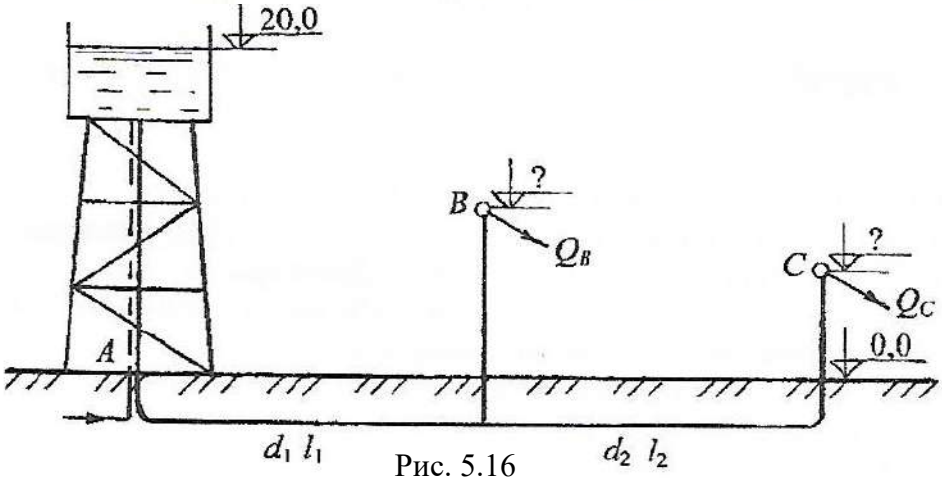


Рис. 5.16

Задача 5.17.

Из водонапорного бака с избыточным давлением на поверхности ($p_{ман}$) по трём последовательно соединённым трубам вода подаётся трём потребителям - ***B***,***C*** и ***D*** (см. рис. 5.17). с расходами: Q_B = 13,0 л/с; Q_C = 12,0 л/с; Q_D = 10,0 л/с. У потребителя ***D*** принять выход воды в атмосферу.

Диаметры и длины участков сети: d_1 = 200 мм, l_1 = 600 м; d_2 = 150 мм, l_2 = 450 м; d_3 = 125 мм, l_3 = 400 м. Действующий напор H = 6,5 м считать постоянным.

Определить, каким должно быть избыточное давление на поверхности воды в баке ($p_{ман}$) для обеспечения расходов потребителей. Построить пьезометрическую линию с указанием пьезометрических напоров H_B и H_C в пунктах ***B*** и ***C***, показать эпюру потерь напора.

Трубы водопроводные нормальные. Местные потери принять равными 10 % от потерь по длине.

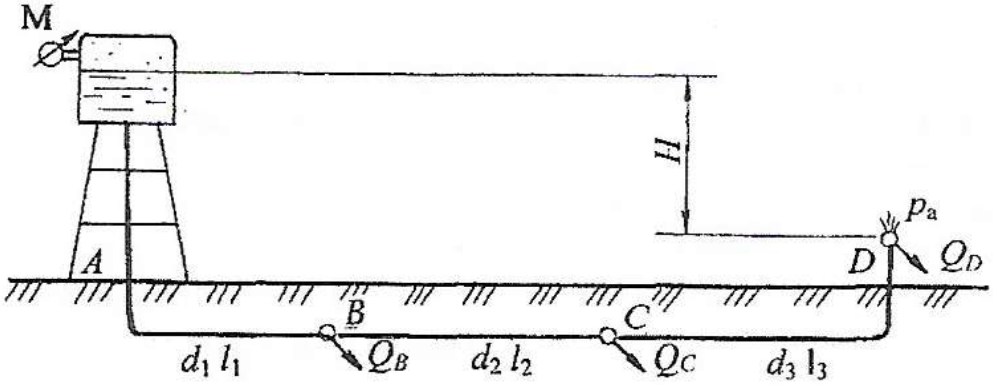


Рис. 5.17

Задача 5.18.

Из водонапорного бака ***A*** вода по системе труб поступает потребителю ***D***. Отметка горизонта воды в баке постоянная, равная 18,0 м. На участке ***BC*** трубы закольцованы (рис. 5.18).

Диаметры и длины участков сети: d_1 = 150 мм, l_1= 400 м; d_2 = 125 мм, l_2 = 450 м; d_3 = 200 мм, l_3 = 500 м. Трубы водопроводные нормальные. Расход воды на втором участке Q_2 = 13,0 л/с.

Определить расход воды на третьем участке ($Q_3 = Q_D$) и остаточный напор у потребителя ***D*** ($h_{ост_D}$). Потери напора на участке ***AB*** не учитывать. Местные потери напора принять равными 5 % от потерь по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

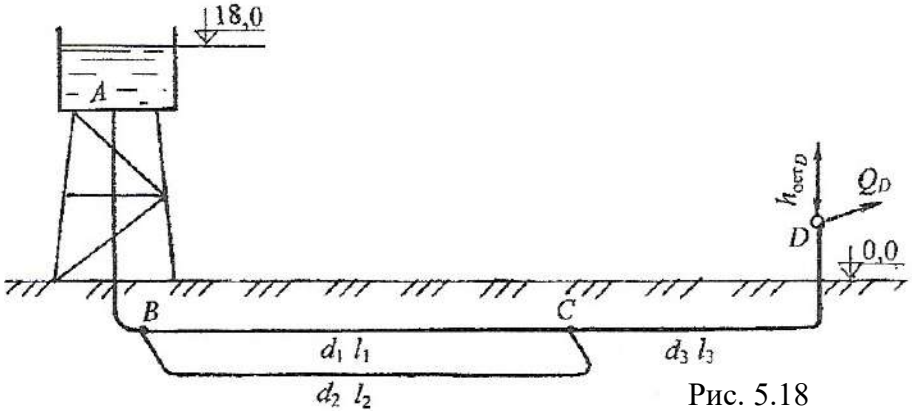


Рис. 5.18

Задача 5.19.

Насосом вода подается двум потребителям *A* и *C* с расходами: Q_A = 17,0 л/с и *Qc* =21,0 л/с по системе трубопроводов с параллельным соединением труб на участке *AB* (рис. 5.19), уложенных на одном горизонте. Показание манометра в узле *B* составляет $p_{ман1}$ = 1,9 ат.

Диаметры и длины трубопроводов: l_1 = 400 м; d_2 = 125 мм, l_2 = 350 м; d_3= 100 мм, l_3= 300 м; d_4= 125 мм, l_4 = 430 м; l_5 = 450 м.

Подобрать диаметры труб на первом и пятом участках системы (d_1 и d_5) при условии, что эксплуатационная скорость в трубах $\upsilon_{эксп} \leq 1{,}2$ м/с.

Определить высоту подъёма воды у потребителя *C* (H_c) и показание манометра М ($p_{ман}$), установленного после насоса.

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора .

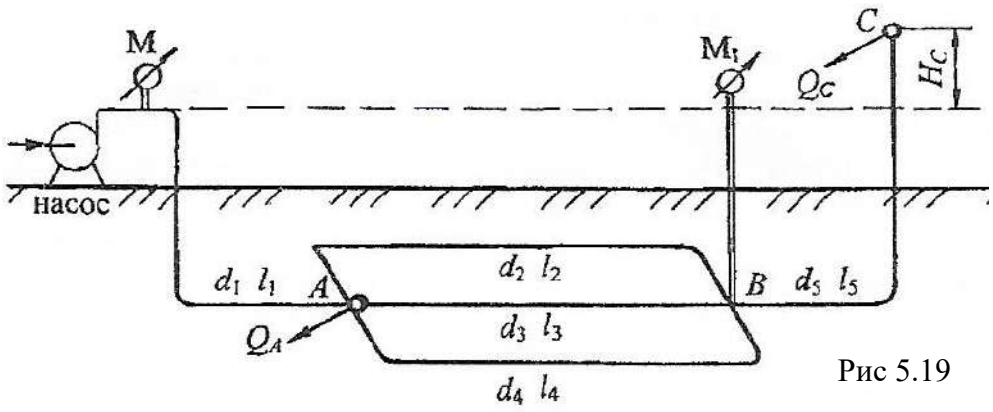


Рис 5.19

Задача 5.20

Распределительная водопроводная система, представленная в плане на рис. 5.20, состоит из насосной установки, подающей воду четырём потребителям - *A, B, C* и *D.*

Диаметры и длины участков системы: d_1 = 250 мм, l_1= 500 м; d_2 = 200 мм, l_2 = 435 м; d_3 = 150 мм, l_3 = 600 м; d_4 = 125 мм, l_4 =300 м d_5 = 125 мм, l_5 =350 м.

Показание манометра, установленного после насоса, $p_{ман}$ = 2,2 ат.

Определить расходы воды каждого потребителя, если пьезометрические напоры в узловых точках *A* и *K: H_A* = 19,0 м; H_K = 17,0 м; остаточные напоры у потребителей - *B, C* и *D: $h_{остB}$*= 14,5 м; $h_{остC}$ =13,0 м; $h_{остD}$ = 12,0 м.

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине. Показать распределение пьезометрического напора и эпюру потерь напора в аксонометрии.

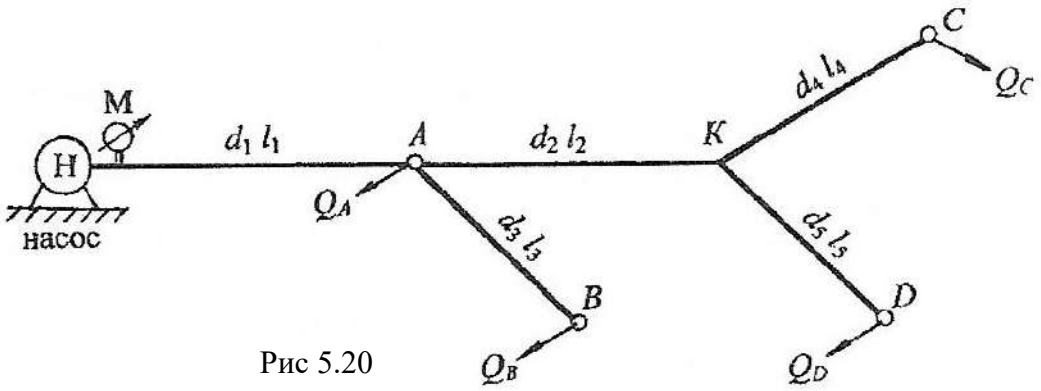


Рис 5.20

Задача 5.21

Три потребителя - *A, B* и *C* - снабжаются водой из водонапорной башни по системе труб, уложенных на одном горизонте . Потребителю *A* отводится расход Q_A = 12,0 л/с; потребителю *B* - Q_B = 17,0 л/с. На участке между потребителями *A* и *B* трубы закольцованы, в узлах отвода воды выведены манометры M_1 и M_2 (рис. 5.21). Показание второго манометра $p_{ман2}$ = 2,2 ат.

Диаметры и длины участков трубопроводов: d_1 = 250 мм, l_1= 500 м; d_2 = 200 мм, l_2 = 550 м; d_3 = 150 мм, l_3 = 440 м; d_4 = 150 мм, l_4 = 600 м.

Определить расход воды, поступающей от водонапорной башни *(Q),* расход потребителя *C* (Q_C), показание первого манометра ($p_{ман1}$), а также отметку горизонта воды в напорной башне ($H_{башни}$).

Отметка потребителя С равна 3,0 м, остаточный напор у потребителя *C* $h_{ост} \geq$ 10,0 м.

Трубы водопроводные нормальные, потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

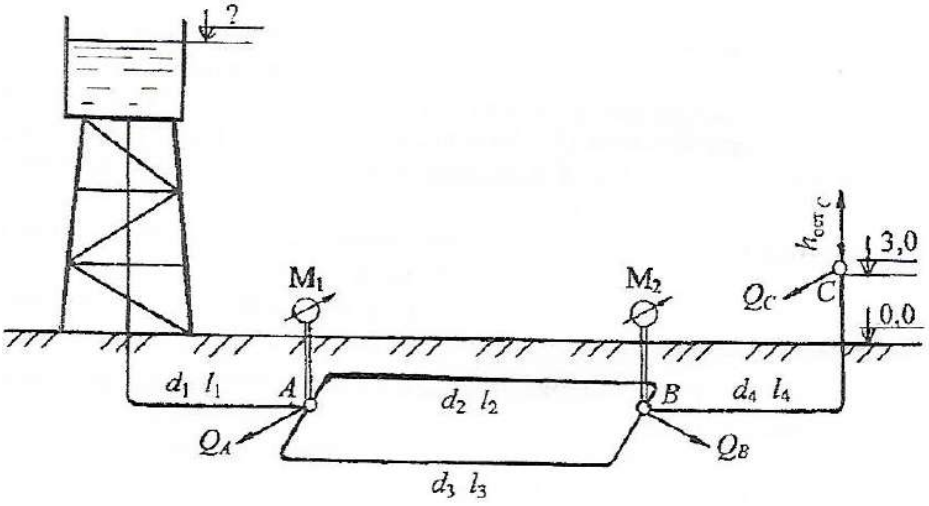


Рис 5.21

Задача 5.22.

Насос подает воду по системе трубопроводов с параллельным соединением труб на участке *AB* (рис. 5.22), уложенных на одном горизонте. при расходе Q =37 л/с двум потребителям *A* и *C*. Расход потребителя *A* составляет Q_A = 16,0 л/с. Показание манометра после насоса соответствует $p_{ман}$ = 2,4ат.

Диаметры и длины трубопроводов: d_1=200 мм, l_1 = 450 м; d_2 = 125 мм, l_2 = 380 м; d_3= 100 мм, l_3= 320 м; d_4= 125 мм, l_4 = 470 м; l_5 = 450 м.

Определить расход потребителя *C* и подобрать диаметр трубы на пятом участке при условии, что эксплуатационная скорость в трубах $\upsilon_{эксп} \leq 1{,}2$ м/с. Найти показание манометра M_1 ($p_{ман1}$), установленного в узле *B*, и высоту подъёма воды у потребителя *C* (H_C).

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине.

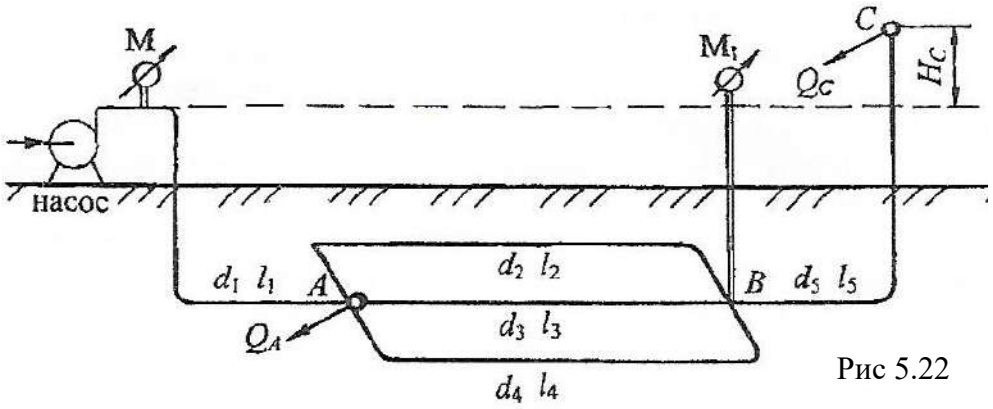


Рис 5.22

Задача 5.23

Три потребителя - ***A***,***B*** и ***C*** - снабжаются водой из водонапорной башни с постоянным действующим напором H = 24 м. Расходы потребителей: Q_A = 10,0 л/с; Q_B = 12,0 л/с; Q_C = 35,0 л/с. Трубопроводная система включает параллельное соединение труб на участке ***AB*** (рис. 23).

Диаметры и длины трубопроводов: d_1 = 250 мм, l_1 = 500 м; d_2 = 200 мм, l_2 = 400 м; d_3 = 150 мм, l_3 = 550 м; d_4 = 200 мм, l_4 = 700 м. Трубы водопроводные нормальные.

Определить пропускную способность второго (Q_2) и третьего (Q_3) участков, а также остаточный напор у потребителя ***C*** ($h_{ост_C}$).

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

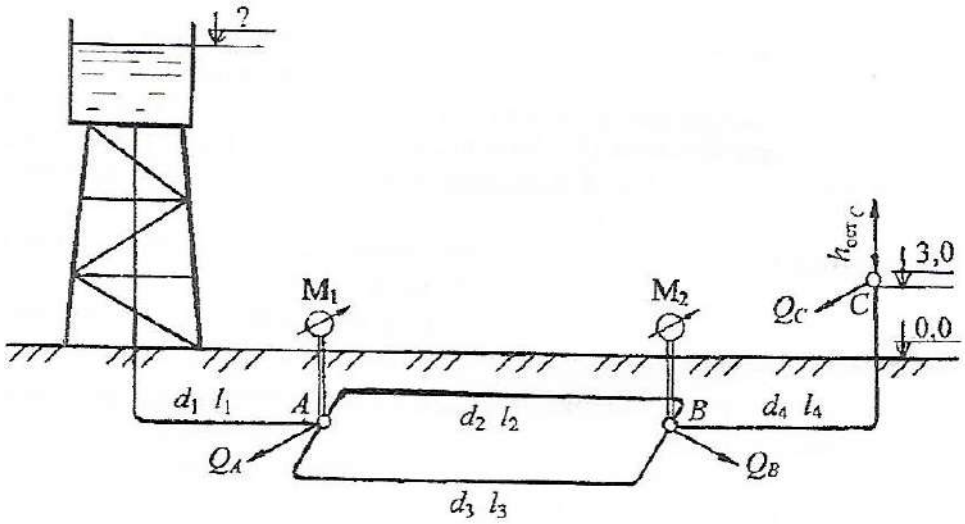


Рис 5.23

Задача 5.24.

Из водонапорной башни ***A*** с отметкой горизонта воды $H_A = 24{,}0$ м вода подаётся в напорный бак ***B*** с отметкой горизонта воды $H_B = 12{,}0$ м. Система трубопроводов имеет закольцованный участок ***CD***. В узлах разветвления ***C*** и ***D*** выведены манометры $\mathbf{M_1}$ и $\mathbf{M_2}$ (рис. 5.24). Диаметры и длины участков трубопроводов: $d_1 = 200$ мм, $l_1 = 450$ м; $d_2 = 150$ мм, $l_2 = 400$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 360$ м; $d_4 = 150$ мм, $l_4 = 300$ м. Трубы проложены на одном горизонте.

Определить расход воды в системе (Q), а также распределение расхода в параллельных участках (Q_2 и Q_3). Рассчитать показания манометров $p_{ман1}$ и $p_{ман2}$. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях составляют 10 % от потерь напора по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

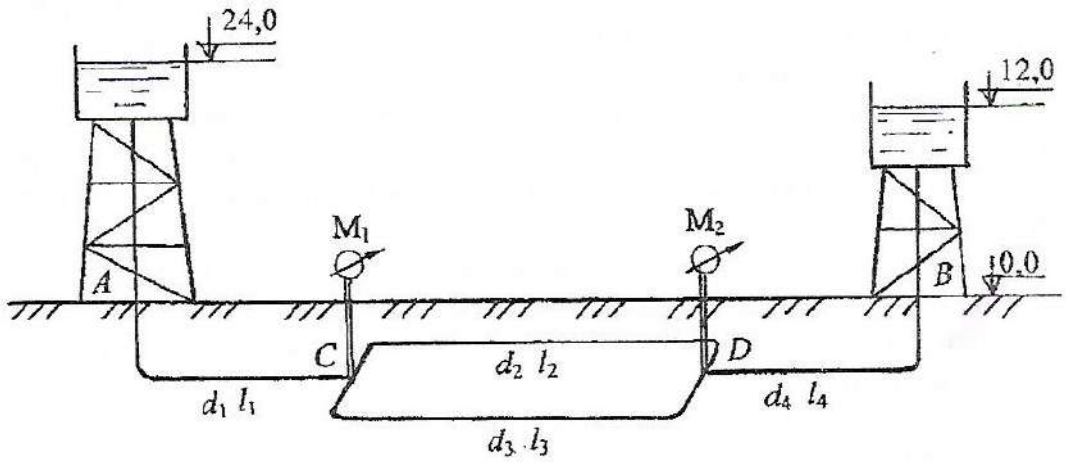


Рис 5.24

Задача 5.25.

Двум потребителям ***A*** и ***B*** с расходами $Q_A = 12{,}0$ л/с и $Q_B = 14{,}0$ л/с вода подаётся от насосной установки по системе с параллельным соединением труб (см. рис. 5.25).

Длины и диаметры участков трубопроводов: $d_1 = 100$ мм, $l_1 = 500$ м; $d_2 = 125$ мм, $l_2 = 550$ м; $d_3 = 125$ мм, $l_3 = 700$ м.

Определить пропускную способность первого (Q_1) и второго (Q_2) параллельных участков труб, а также высоту подъёма воды у потребителя ***B*** (H_B), если показание манометра, установленного после насоса, $p_{ман} = 3{,}5$ ат.

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь напора по длине.

В вертикальной плоскости чертежа построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

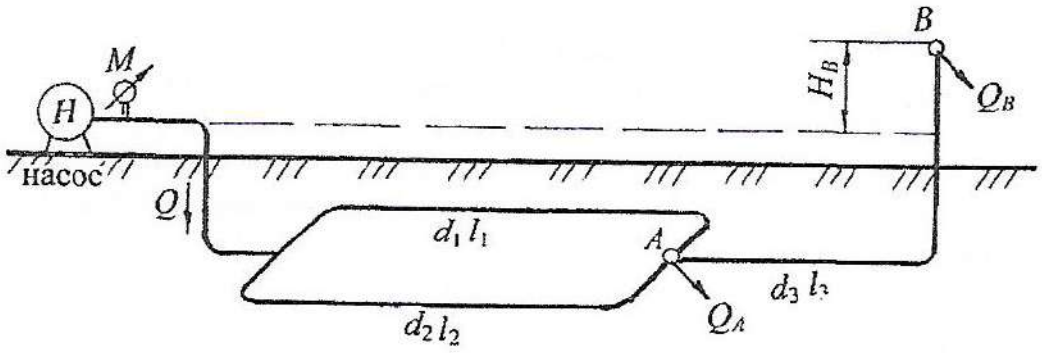


Рис. 5.25.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.2.05 ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ ГОРНЫХ МАШИН

Специальность
21.05.04 Горное дело

Профиль специализации ***№ 9***
Горные машины и оборудование

Форма обучения: очная, заочная

год набора: 2014

Автор: Долганов А.В., доц., к. т. н.

Одобрена на заседании кафедры
Горной механики
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Макаров Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов - это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы - закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

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.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

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 контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса: *для овладения знаниями:*

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам;

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с

презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей;

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам;

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям: *для овладения знаниями:*

- изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
- изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана проведения эксперимента;
- составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
- аналитическая обработка результатов экспериментов.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы. Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией - это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

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;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя: *для овладения знаниями:*

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада *для закрепления и систематизации знаний:*
- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - форма контроля для демонстрации обучающимся

умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту): *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест - это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца 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 выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

Теоретический вопрос - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание - средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

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 ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б2.04 БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Специальность
21.04.04 Горное дело

Профиль специализации
№ 9 Горные машины и оборудование

Форма обучения: очная, заочная
год набора: 2019

Автор: Дылдин Г.П.., к.т.н., доцент

Одобрена на заседании кафедры
Горной Механики
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Макаров Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов - это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы - закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

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.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как опНпе, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

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 контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса: *для овладения знаниями:*

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей. *для закрепления и систематизации знаний:*
- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам. *для формирования навыков и умений:*
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей. *для закрепления и систематизации знаний:*
- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам. *для формирования навыков и умений:*
- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям: *для овладения знаниями:*

- изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
- изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами. *для закрепления и систематизации знаний:*
- составление плана проведения эксперимента;
- составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
- аналитическая обработка результатов экспериментов. *для формирования навыков и умений:*
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Доклад с презентацией - это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

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;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя: *для овладения знаниями:*

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них. *для формирования навыков и умений:*

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест - это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца 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 выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Проректор по учебно-методическому

УТВЕРЖДАЮ

комплексу

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

ОСНОВЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки
21.05.04 Горное дело

Направленность (профиль):
«Горные машины и оборудование»
квалификация выпускника: **специалист**

Автор: Макаров Н.В.

Одобрена на заседании кафедры
Горной Механики
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)
Макаров Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…5

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

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 устудентов 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 знании 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 лекций, практическихзанятий 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 - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов 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 «*Математическая обработка результатов эксперимента* » обращают 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 сдаче *зачета(экзамена)*.

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 «Основы профессиональной деятельности»» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету(экзамену).

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. История специализации горные машины и оборудование ее место в структуре специальности горное дело, современное положение, задачи и обязанности выпускника специализации – горного инженера-механика в системе горного предприятия, состояние и направлениях развития специализации;
2. Основные понятия и термины, касающиеся выпускника специализации горные машины и оборудование в области горного дела, нормативные документы, регламентирующие безопасность, проектирование, эксплуатацию и ремонт горного оборудования;
3. Оптимальные направления профессиональной реализации и профессионального развития, оптимальные варианты собственного трудоустройства на производственную практику и на постоянную работу по окончании вуза;
4. ключевые компетенции (необходимые и достаточные качества) горного инженера – профессионала в горном деле;
5. Современное состояние отечественного и зарубежного уровней в области модернизации, эксплуатации, технического и сервисного обслуживания и ремонта горных машин и оборудования;
6. Направления развития повышения рациональной эксплуатации горны машин и оборудования;
7. Современные способы и средства мониторинга технического состояния горных машин и оборудования;
8. Современные методы и технические мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации горных машин и оборудования.

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 К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом

конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

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 К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету(экзамену)*по дисциплине *«Математическая обработка результатов эксперимента»* 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 ин-

формацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины *«Математическая обработка результатов эксперимента»*.

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(экзамене)*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(экзамене)*(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(экзамену)* 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 образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Н. П. Косарев, В. Я. Потапов, С. В. Белов

ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Шахтные подъемные установки

Учебно-методическое пособие
по выполнению практических работ по дисциплине
«Горные машины и оборудование» и «Стационарные установки»
для студентов специальности 21.05.04 Горное дело
»

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета
« »_____ 2019 г.
Председатель комиссии
_____ В. П. Барановский

Н. П. Косарев, В. Я. Потапов, С. В. Белов

ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Шахтные подъемные установки

Учебно-методическое пособие
по выполнению практических работ по дисциплине
«Горные машины и оборудование» и «Стационарные установки»
для студентов специальности 21.05.04 Горное дело
»

__Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

УДК 622.532.5.272
К 71

Рецензент: *Суслов Н. М.*, доктор технических наук, профессор кафедры горных машин и комплексов (УГГУ).

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета.

Учебно-практическое пособие рассмотрено на заседании кафедры горной механики 18 апреля 2019 г. (протокол № 179) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Косарев Н. П., Потапов В. Я., Белов С. В.

К 71 ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ. Шахтные подъемные установки: учебно-практическое пособие / Н. П. Косарев, В. Я. Потапов, С. В. Белов; под ред. Н. П. Косарева; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. – 138 с.

ISBN 978-5-8019-0395-8

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования к обязательному минимуму содержания и уровня подготовки специалиста по специальности 21.05.06 – «Горное дело» и содержит методические указания по изучению конструкций основных элементов грузоподъемных машин и механизмов.

Учебно-практическое пособие может быть использовано также студентами других специальностей очного и заочного обучения, обучающимися по курсам кафедры горной механики УГГУ.

УДК 622.532.5.272

© Уральский государственный горный университет, 2019
© Косарев Н. П., Потапов В. Я., Белов С. В.

Учебное издание

Николай Петрович КОСАРЕВ,

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Общие указания к проведению практических занятий и оформлению отчетов 4

Практическая работа № 1
ПОВЕРХНОСТНЫЙ КОМПЛЕКС ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК 6

Практическая работа № 2
ПОДЪЕМНЫЕ КАНАТЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ИХ ЦЕЛОСТНОСТИ 20

Практическая работа № 3
КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ 36

Практическая работа № 4
КОНСТРУКЦИИ ПОДВЕСНЫХ УСТРОЙСТВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ 54

Практическая работа № 5
КОНСТРУКЦИИ ПАРАШЮТНЫХ УСТРОЙСТВ 66

Практическая работа № 6
КОНСТРУКЦИИ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН 82

Практическая работа № 7
ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН 104

Практическая работа № 8
ЭЛЕМЕНТЫ НАКЛОННОГО ПОДЪЕМА 121

Вопросы для самоконтроля 135

Кроссворд «Проверьте свои знания!». 137

Рекомендуемая литература. 138

Введение

Подъемная установка среди других машин и механизмов шахтного оборудования занимает особое место в связи с условиями ее работы. Она является единственным звеном, обеспечивающим связь подземных выработок с дневной поверхностью. И вполне естественно, что основным требованием, предъявляемым к подъемной установке, является безопасность и надежность ее работы в течение всего срока службы шахты. Не менее важными являются также вопросы обеспечения высокой производительности и экономичности работы подъемной установки.

Конструкция подъемной установки должна позволять регулирование взаимного расположения подъемных сосудов относительно приемных площадок, которое может быть нарушено при вытяжке подъемных канатов.

Современная подъемная установка позволяет за несколько секунд достигать высоких скоростей движения подъемных сосудов, останавливая и надежно удерживая их в определенных положениях при помощи тормозных устройств.

Будущему горному инженеру необходимо хорошо знать подъемное оборудование, умело и эффективно эксплуатировать его.

Изучение комплекса подъемного оборудования: шахтных копров, подъемных машин и тормозных устройств, подъемных канатов, парашютных устройств – следует начинать с теории.

В практической части студент должен усвоить назначение, устройство, конструктивные особенности, принцип работы всего комплекса подъемного оборудования. Кроме того, студент должен самостоятельно изучать техническую литературу, используя современные сведения, для лучшего усвоения материала изучаемого курса.

Общие указания к проведению практических занятий и оформлению отчетов

Тематика лабораторных работ на каждое занятие объявляется студентам заблаговременно.

До прихода в лабораторию студент обязан ознакомиться с содержанием и методикой выполнения лабораторных работ.

Лабораторные работы выполняются студентом индивидуально с оформлением отчета в тетрадях по практикуму. Отчет содержит название и цель работы, назначение и описание конструкции устройства, эскиз устройства или его ксерокопию.

Отчеты защищаются, как правило, в индивидуальном порядке, в форме беседы с преподавателем.

Перечень основных контрольных вопросов приведен в конце пособия.

По результатам собеседования выставляется оценка в журнале.

После выполнения и защиты всех работ отчет остается у студента для подготовки к экзамену.

Практическая работа № 1

ПОВЕРХНОСТНЫЙ КОМПЛЕКС ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Основные элементы шахтных подъемных установок.
2. Конструкции копров и копровых шкивов.
3. Оборудование здания шахтных подъемных машин.
4. Основные требования ПБ к конструкциям шахтных подъемных установок.

Шахтные подъемные установки – комплекс технических средств, предназначенных для выдачи породы и полезного ископаемого на поверхность, а также для спуска и подъема людей и грузов.

Классификация подъемных установок

Шахтные подъемные установки подразделяют:

1. ***По назначению*** – на главные, или грузовые (для транспортирования полезного ископаемого); вспомогательные, или грузолюдские (для транспортирования породы, материалов и оборудования, а также спуска и подъема людей из шахты); людские (только для спуска и подъема людей).
2. ***По типу ствола шахты*** – на вертикальные и наклонные.
3. ***По типу органов навивки подъемных канатов*** – на установки с постоянным радиусом навивки (с подъемными машинами с цилиндрическими барабанами или с ведущим шкивом трения) и установки с переменным радиусом навивки канатов (с подъемными машинами с бицилиндроконическим барабаном).
4. ***По типу подъемных сосудов*** – на клетевые, скиповые, комбинированные (скипо-клетевые) и с бадьями (при проходке стволов).
5. ***По типу привода подъемных машин*** – на установки с асинхронным электродвигателем и с двигателем постоянного тока.
6. ***По степени уравновешенности*** – на уравновешенные и неуравновешенные.

Основные элементы подъемной установки

Подъемная установка состоит из подъемного оборудования и горнотехнических сооружений.

К подъемному оборудованию относятся: подъемные машины, подъемные сосуды и канаты, разгрузочные и загрузочные устройства и др.

К горнотехническим сооружениям относятся:

– сооружения, расположенные в околоствольном стволе (погрузочный бункер и камера для опрокидывателя при скиповом подъеме или приемная площадка при клетевом подъеме);

– ствол шахты, оборудованный направляющими проводниками для клетей и скипов при вертикальном подъеме и рельсовыми путями для вагонеток и скипов при наклонном подъеме;

– надшахтные сооружения, состоящие из копра и приемного бункера для разгрузки подъемных сосудов; при оборудовании подъема неопрокидными клетями вместо приемного бункера сооружается надшахтное здание с приемными площадками и откаточными путями.

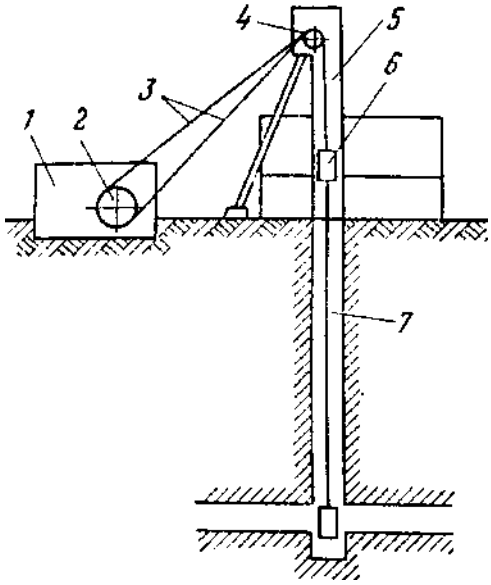


Рис. 1.1. Вертикальная одноканатная подъемная установка:
1 – здание подъемных машин;
2 – подъемная машина;
3 – головные канаты;
4 – копровые шкивы; *5* – копер;
6 – подъемный сосуд; *7* – ствол

Основные типы подъемных установок изображены на рис. 1.1 – 1.5.

Конструкции копров

Копры подъемных установок служат для установки копровых направляющих шкивов, крепления проводников и разгрузочных кривых для скипов и опрокидных клетей, крепления посадочных устройств клетей, приемных бункеров для пустой породы и полезного ископаемого. В башенных копрах, кроме прочего, устанавливаются сами подъемные машины, а также системы и агрегаты,

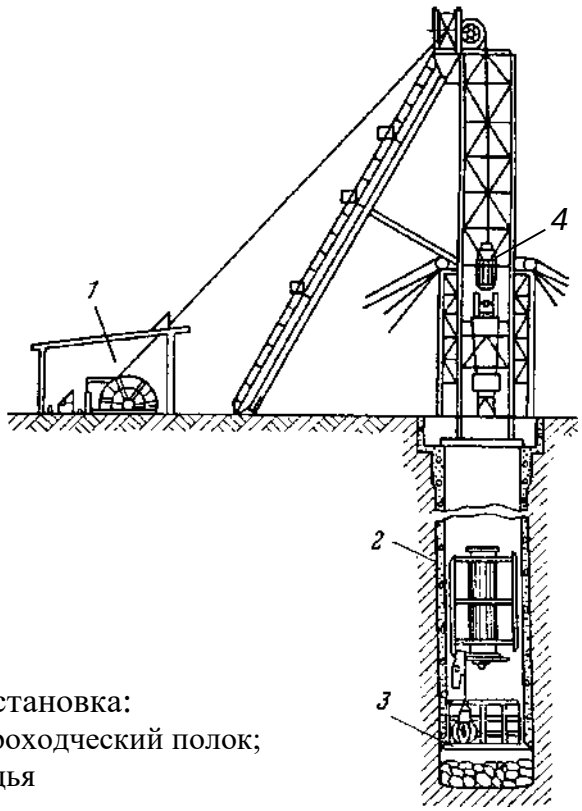


Рис. 1.2. Проходческая подъемная установка:
1 – здание временной подъемной машины; *2* – проходческий полок;
3 – секционная опалубка; *4* – бадья

обеспечивающие их работу. Копры воспринимают нагрузки от натяжения подъемных канатов, собственного веса, давления ветра, стремящегося опрокинуть копер, а также от веса всего оборудования, установленного в нем.

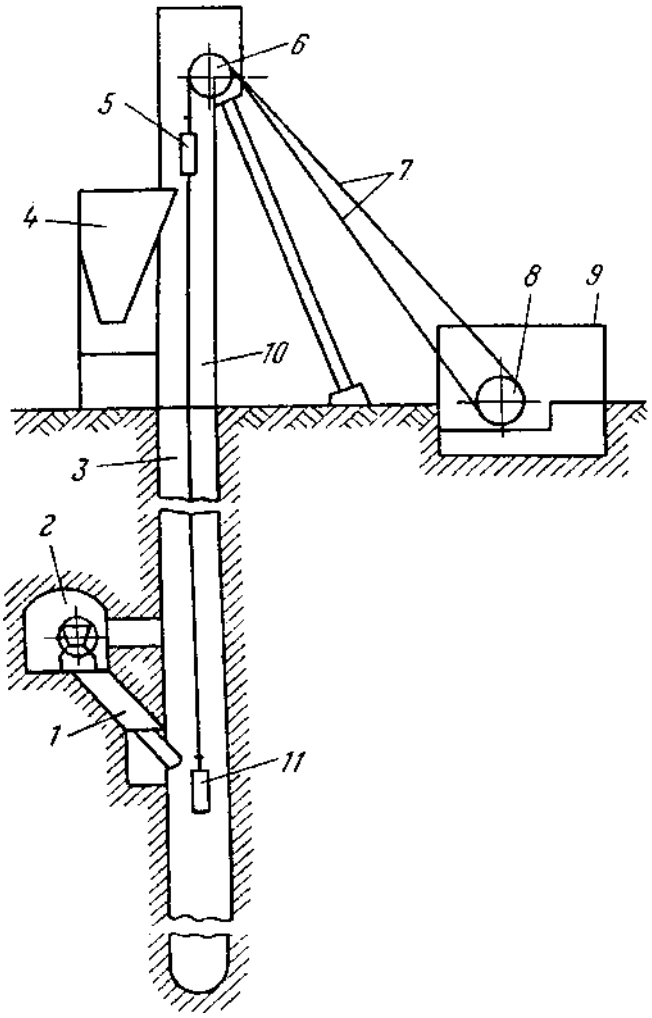


Рис. 1.3. Скиповая подъемная установка:
1 – загрузочный бункер и дозатор;
2 – опрокидыватель; *3* – ствол;
4 – приемный бункер; *5, 11* – сосуды;
6 – копровые шкивы; *7* – головные канаты;
8 – подъемная машина; *9* – здание подъемной машины; *10* – копер

Копры в зависимости от материала, из которого они изготовлены, подразделяют на металлические и железобетонные.

На угольных шахтах наибольшее распространение получили металлические копры. Достоинства металлических копров: меньший вес; минимальное время на монтаж при установке на шахте; возможность перенесения на другую шахту; возможность реконструкции (усиления, повышения и т. д.). Железобетонные копры имеют большую устойчивость, меньшие затраты на содержание.

По конструкции копры могут быть:

Копры *А-образной системы* (рис. 1.6) состоят из вертикального станка *1*, смонтированного над стволом, и укосины *2* (отдельной фермы), воспринимающей все нагрузки от подъема, собственного веса и давления ветра. Станок *2* в этом копре независим от укосины *1*.

Четырехстоечные копры (рис. 1.7) имеют единую конструкцию станка и укосины. Станок *1* копра имеет четырехугольное сечение и жестко связан с укосинами *2*. При такой конструкции станок воспринимает собственный вес копра и давление ветра, а укосина – усилия от натяжения подъемного каната. Для скиповых подъемов и подъемов с опрокидными клетями в станке четырехстоечного копра

надо оставлять проемы для разгрузки подъемных сосудов, что ослабляет конструкцию станка.

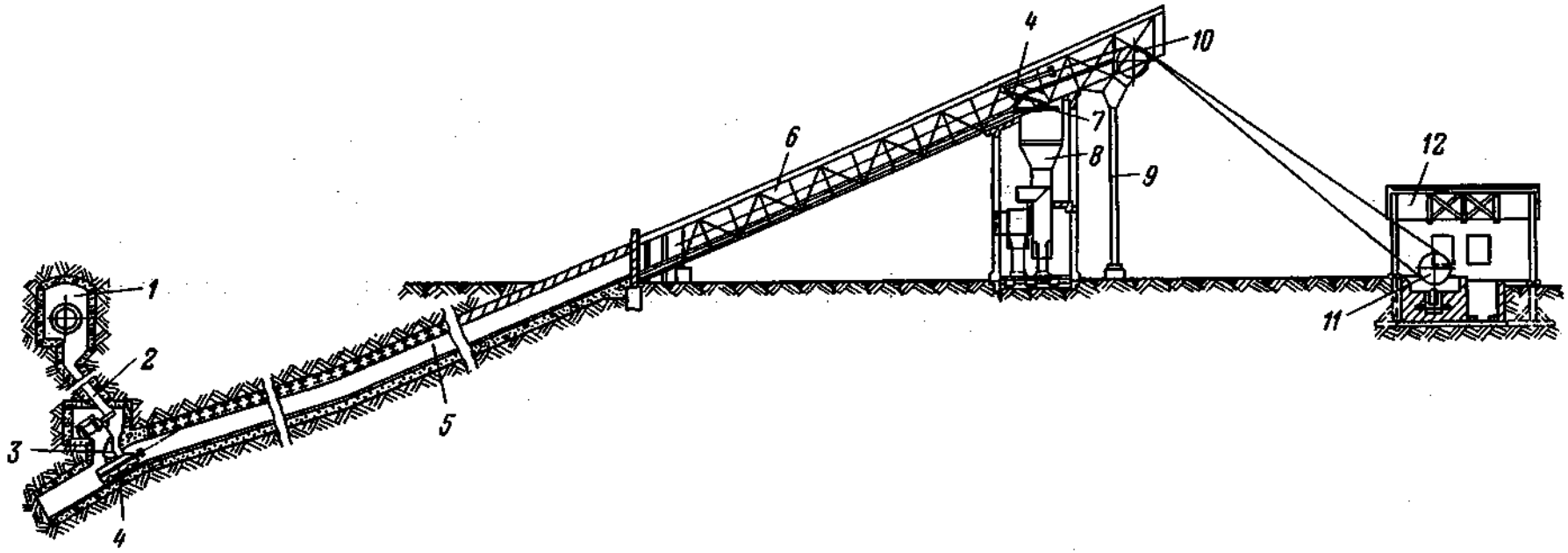


Рис. 1.4. Схема наклонной подъемной установки:
1 – камера опрокидывателя; *2* – загрузочный бункер; *3* – секторный затвор; *4* – скип; *5* – наклонный ствол; *6* – станок копра; *7* – разгрузочные кривые; *8* – приемный бункер; *9* – опора (металлическая ферма); *10* – направляющие шкивы; *11* – подъемная машина; *12* – здание

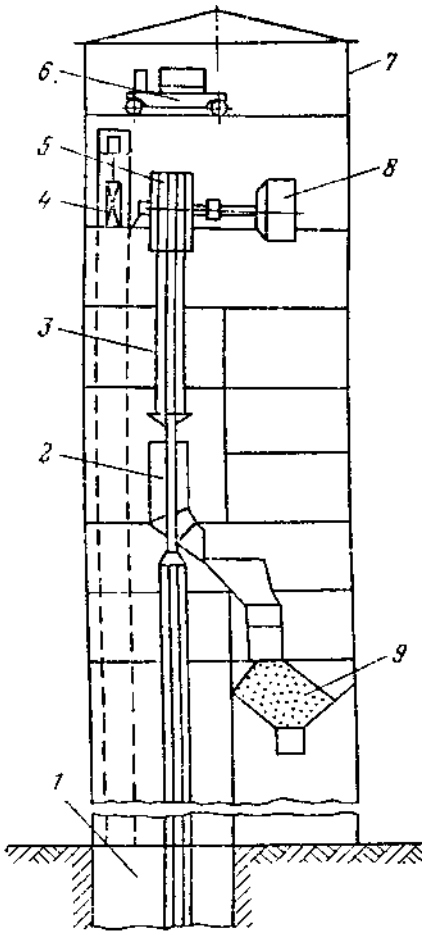


Рис. 1.5. Многоканатная подъемная установка:
1 – ствол; *2* – скип; *3* – головные канаты; *4* – лифт;
5 – канатоведущий шкив; *6* – мостовой кран;
7 – башенный копер; *8* – электропривод;
9 – приемный бункер

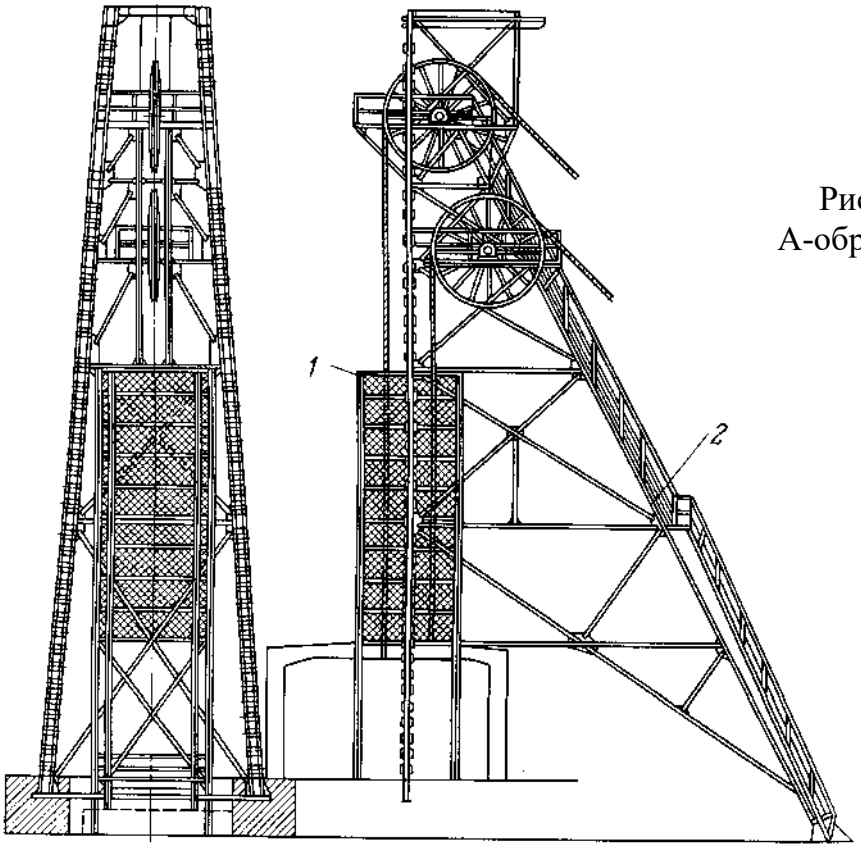


Рис. 1.6. Копер
А-образной системы

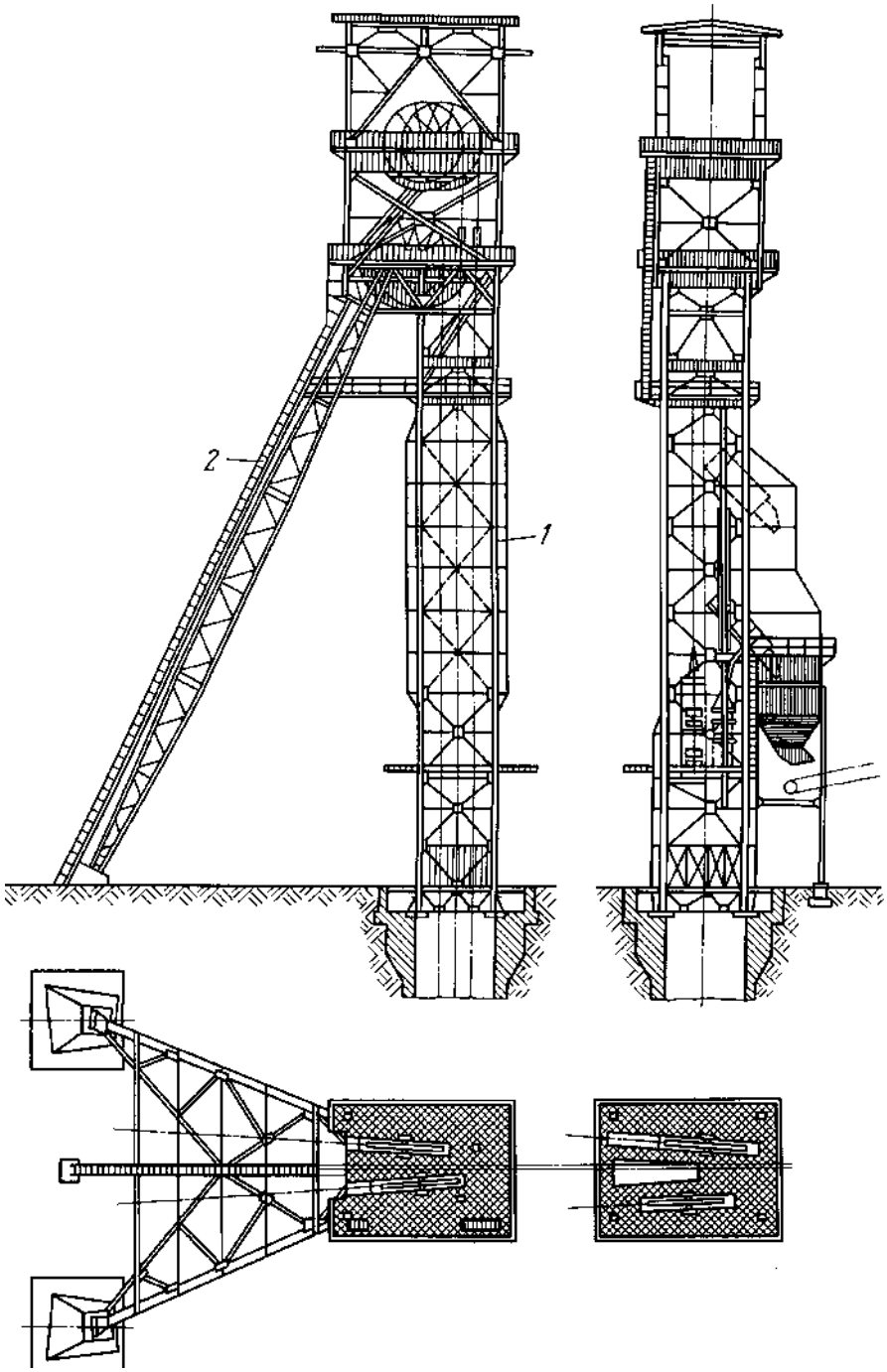


Рис. 1.7. Четырехстоечный копер

Копер может одновременно обслуживать несколько подъемных установок (от одной до трех включительно). Для двух подъемных установок, расположенных относительно одного ствола под углом 90-180°, применяют шатровые копры (рис. 1.8). Копер состоит из вертикального станка *1*, укосины *2*, подпирающей станок в верхней части и укрепленной внизу на бетонном фундаменте, подшкивной площадки *3* и направляющих шкивов *4*.

При установке многоканатных подъемных машин используют башенные копры (рис. 1.9).

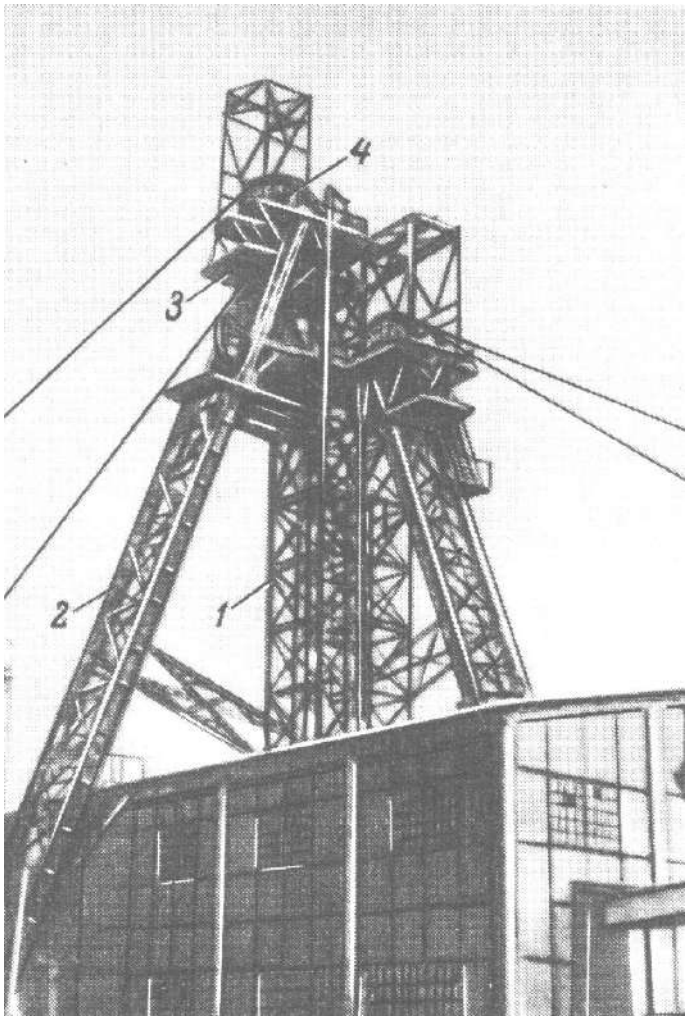


Рис. 1.8. Шатровой копер

Башенные копры представляют собой сооружения, совмещающие функции копра, здания подъемных машин и отдельных узлов технологического комплекса поверхности шахты. Расположение подъемной машины на башне копра коренным образом изменило характер работы несущих конструкций. Значительное уменьшение горизонтальных нагрузок упрощает и облегчает конструкцию копра и дает возможность увеличить его высоту, улучшить схему перемещения полезных ископаемых на поверхности при переработке и обогащении.

Башенные копры состоят из машинного зала, расположенного на верхнем этаже башни, наружной и внутренней оболочек. По высоте копра оболочки связаны горизонтальными перекрытиями. Внутренняя оболочка выполняет роль станка и имеет прямоугольное сечение, размер которого определяется размерами подъемных сосудов. Наружная оболочка может иметь круглое или прямоугольное сечение.

Шкивы

Для направления движения подъемных канатов по стволу шахты служат направляющие (копровые) шкивы, устанавливаемые на подшкивной площадке копра.

Копровый шкив (рис. 1.10) состоит из обода *1*, спиц *2*, ступицы *3*, вала *4* и подшипников 5.

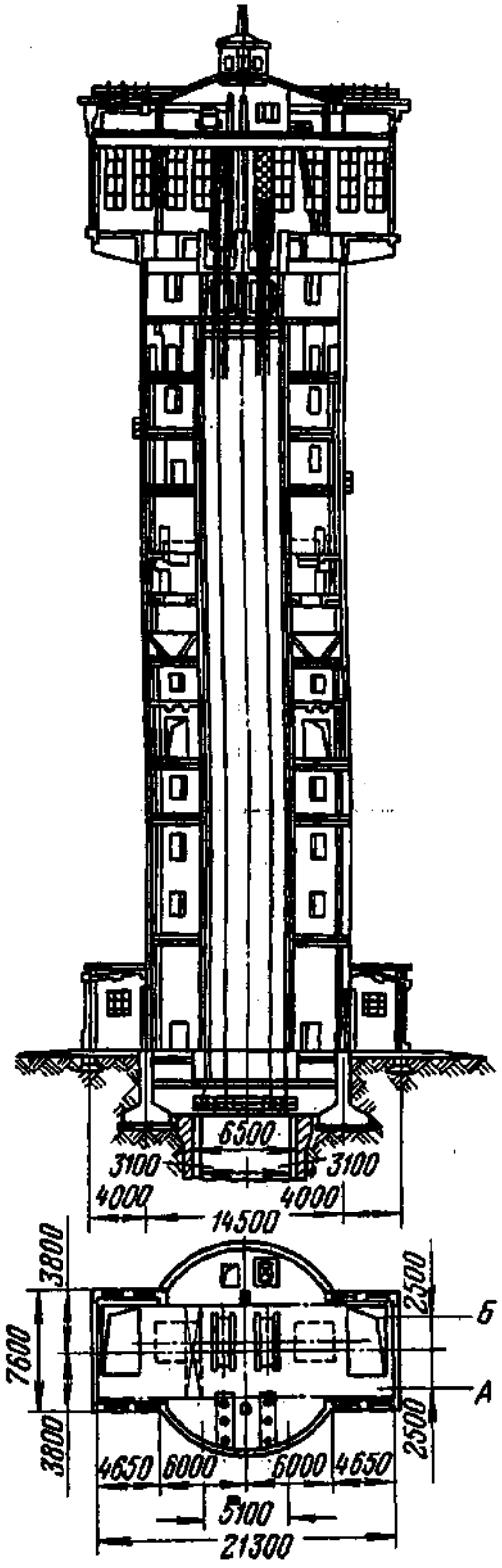


Рис. 1.9. Башенный копер

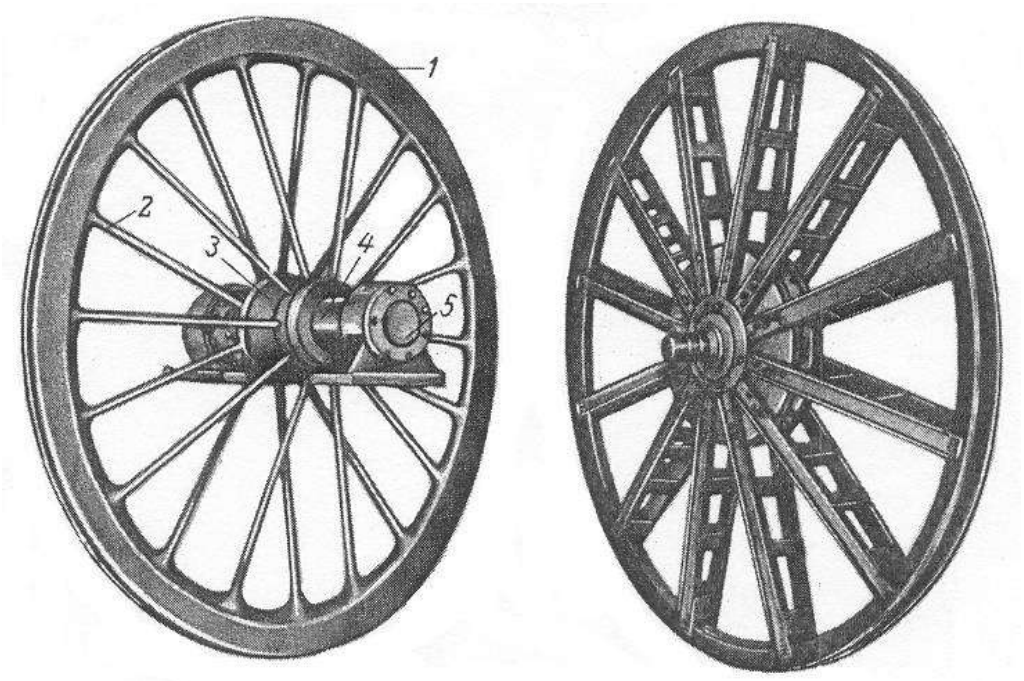


Рис. 1.10. Копровые шкивы одноканатных машин

Стандартные копровые шкивы изготовляют: а) с литым ободом (без футеровки) и спицами круглого сечения; б) со штампованным ободом (без футеровки) и спицами из швеллеров. Шкивы диаметром 1,25; 1,6; 2,5 и 3 м делают с литым ободом, а диаметром 4,5 и 6 м – со штампованным ободом (см. рис. 1.10). Высота реборды копровых шкивов с литым ободом для соответствующего типоразмера шкива с литым ободом должна быть не менее 40, 50, 65, 80 и 95 мм, а со штампованным ободом – 120 и 150 мм. Вес шкивов 600-10800 кг.

В нестандартных копровых шкивах для уменьшения износа каната желоб обода шкива заполняют деревянной, резиновой или другой футеровкой, которую по мере износа заменяют.

Расположение шкивов на копре принимают в зависимости от типа установленной подъемной машины.

При подъемной машине с одним барабаном шкивы располагают на копре друг над другом, в одной вертикальной плоскости, а при подъемной машине с двумя барабанами – на одной высоте. При подъемной машине со шкивом трения копровые шкивы располагают друг над другом, в одной вертикальной плоскости со шкивом трения машины.

Расположение шкивов на копре зависит также от направления разгрузки подъемных сосудов и расположения подъемных машин. Если направление разгрузки подъемных сосудов совпадает с направлением

канатов, идущих к барабану подъемной машины (т. е. с направлением оси подъема), то копровые шкивы устанавливают на одинаковой высоте параллельно друг другу.

При разгрузке подъемных сосудов в направлении, перпендикулярном оси подъема, копровые шкивы располагают в одной вертикальной плоскости, но на разной высоте.

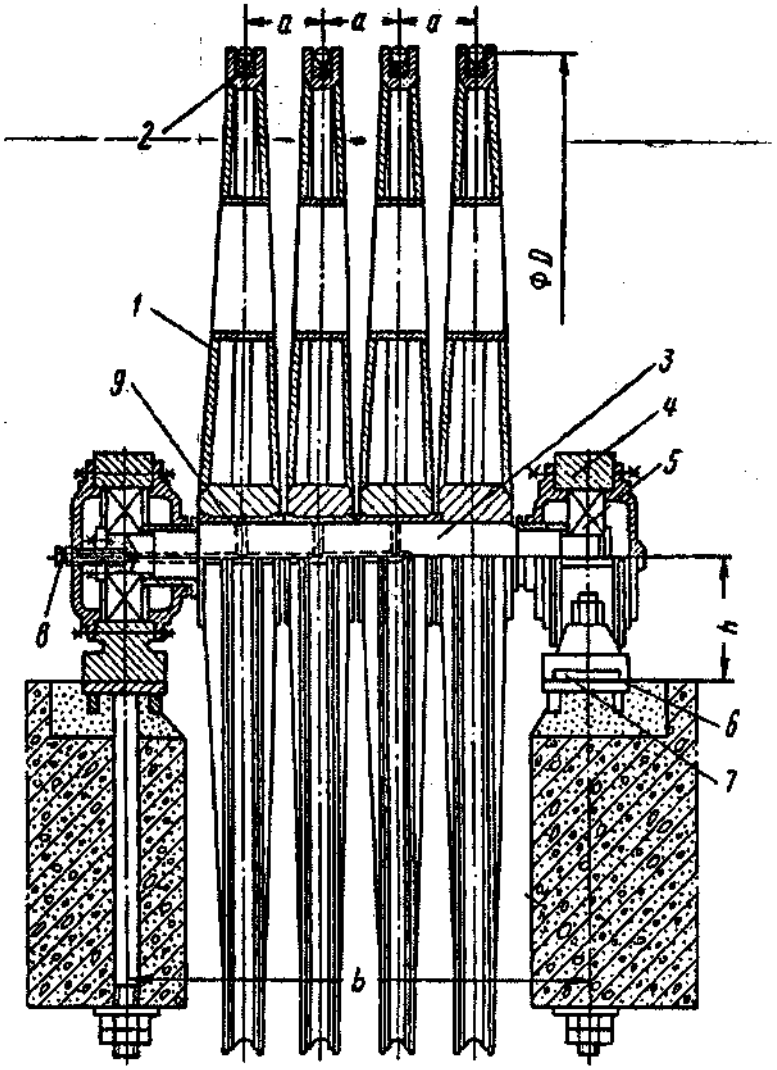


Рис. 1.11. Отклоняющие шкивы:
1 – шкив; *2* – футеровка; *3* – вал; *4* – корпус; *5* – радиальные подшипники; *6* – опорная плита; *7* – упоры крепления подшипников; *8* – тавотница (подвода смазки шкивов); *9* – бронзовая втулка

При использовании многоканатных подъемных машин для направления движения канатов в стволе применяют отклоняющие шкивы (рис. 1.11).

Расположение оборудования в здании подъемных машин

Здания, в которых располагают подъемные машины и их оборудование, могут иметь подвальное помещение или выполняться без него. В первом случае (рис. 1.12) в самом здании располагается подъемная машина *1* с органами навивки, редуктор *2*, подъемный двигатель *3*, тахограф (указатель скорости) *4*, механический указатель глубины (при его наличии) *5*, пульт управления *6*, высоковольтное распределительное устройство *7*, воздушный реверсор *8*, располагаемый на балконе, возбудительный агрегат тахогенераторов *9* (может быть заменен выпрямителем), мостовой кран *10* на подкрановой балке *11* для монтажных работ. Органы навивки, редуктор и двигатель размещаются на фундаменте *12*. В подвальном помещении размещаются компрессор *13* с двигателем, магнитный пускатель *14* и воздухосборник *15*. Тормоз *16* устанавливают в подвальном помещении на фундаменте *17*. Металлический реостат подъемного двигателя *18*, трансформатор *19* и высоковольтную аппаратуру также размещают в подвальном помещении.

В полу здания имеется монтажный проем *20*; в стенах здания предусмотрены монтажные отверстия для транспортировки оборудования. Размеры монтажного отверстия должны быть на 1,2–1,5 м больше ширины барабана, а по высоте больше на 0,5 м диаметра барабана. Ось барабанов должна находиться на расстоянии 0,6–0,7 м от уровня пола здания, а пол здания должен находиться выше уровня почвы на 0,3–0,4 м.

При приводе подъемной машины по системе Г–Д расположение оборудования примерно такое же, как и при асинхронном приводе. Машинный зал при этом имеет две части: в одной находится подъемная машина, аппаратура управления и контроля, в другой – мотор-генераторная группа привода Г–Д.

Значительно реже встречается второй вариант здания – без подвального помещения. В этом случае пульт управления устанавливается выше пола машинного здания на специальной площадке.

При использовании многоканатной подъемной машины зданием для оборудования является башенный копер, в котором располагается подъемная машина с приводами, а при удобстве размещения и преобразовательные агрегаты. В случае ограниченности пространства в машинном зале преобразовательные агрегаты располагаются на нижележащих отметках копра на минимальном удалении от двигателей подъемной машины.

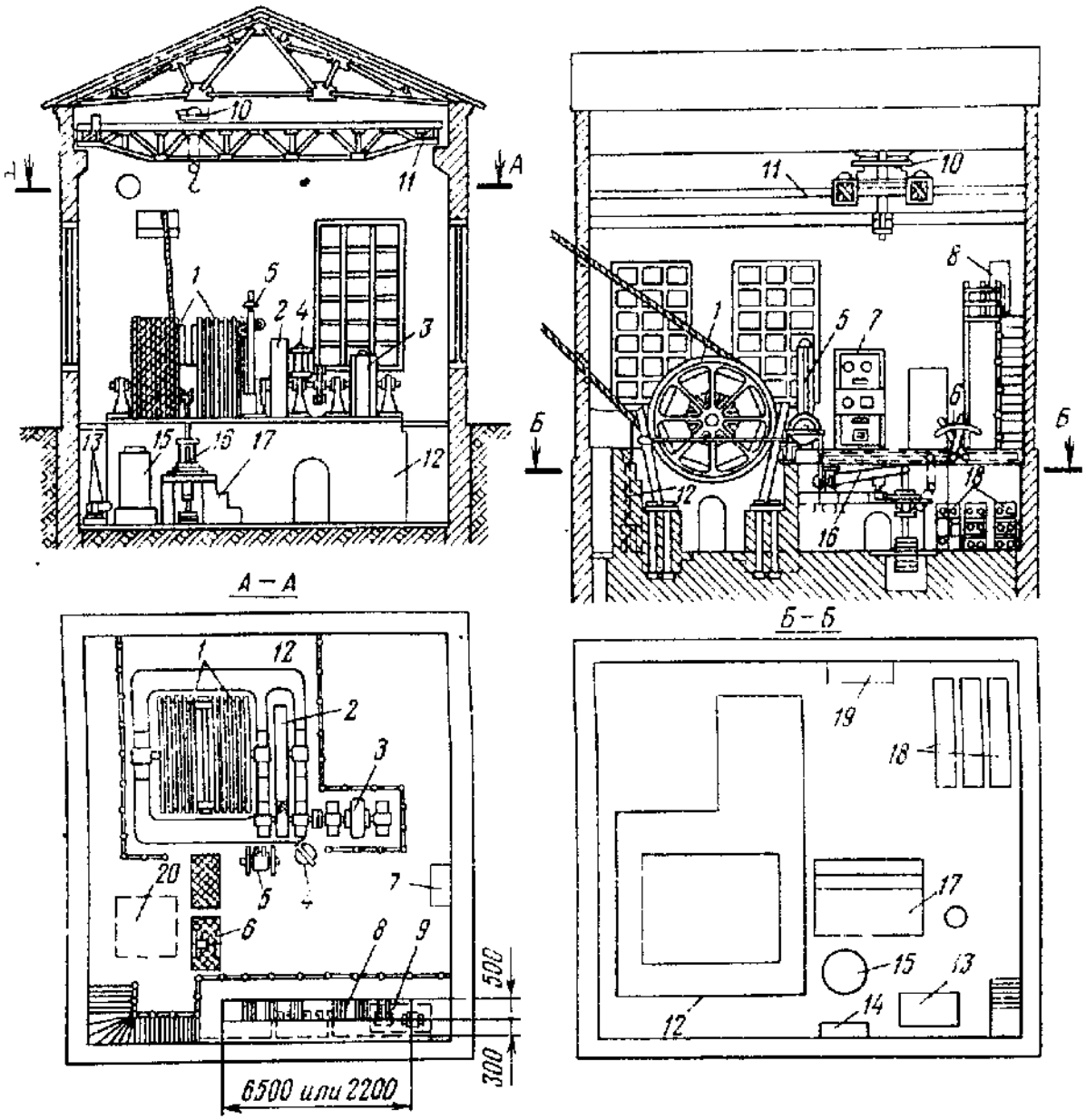


Рис. 1.12. Расположение оборудования в здании подъемных машин (одноканатный подъем)

Кроме того, в верхней части машинного зала устанавливается мостовой кран, способный поднимать наиболее тяжелую часть подъемной машины. В полу машинного зала для транспортировки элементов подъемной машины при замене или ремонте оборудуется монтажный проём, проходящий через все отделения копра до нулевой отметки (уровня земли).

В случае, когда диаметр цилиндрического шкива подъемной машины превышает расстояние между подъемными сосудами на подшкивной площадке копра, устанавливаются отклоняющие шкивы, служащие для направления движения подъемных сосудов в стволе.

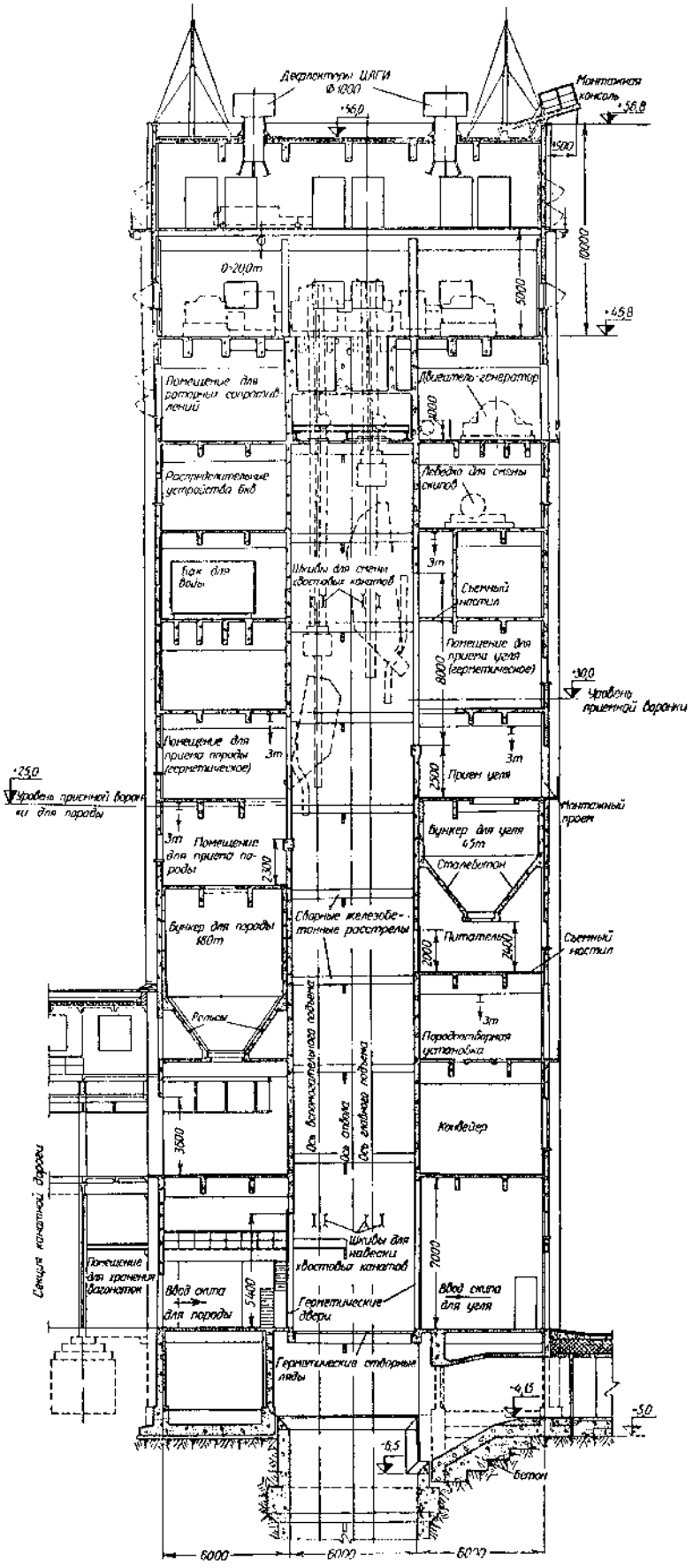


Рис. 1.13. Схема расположения оборудования в башенном копре

Схема расположения оборудования в башенном копре приведена на рис. 1.13.

Кроме прочего оборудования в башенном копре располагаются устройства управления и защиты подъемной установки и преобразовательных агрегатов, электрические подстанции, площадки для осмотра головных канатов, разгрузочные кривые и приемные бункеры для полезного ископаемого и породы, а при наличии грузового клетевого подъема – комплексы обмена вагонеток.

Для удобства обслуживания копра в нем устанавливается лифт, отметки копра, кроме лифта, соединяются лестничными отделениями

Требования Правил безопасности, предъявляемые к конструкциям подъемных установок

Каждая подъемная установка должна быть снабжена устройством для подачи сигналов от стволового к рукоятчику и от рукоятчика к машинисту, а также ремонтной сигнализацией, используемой только для осмотра и ремонта ствола.

На людских и грузо-людских вертикальных и наклонных (с углом наклона выработки более 50°) подъемных установках, кроме рабочей и ремонтной сигнализации, должна предусматриваться резервная сигнализация с обособленным питанием по отдельному кабелю. По функциональным возможностям резервная сигнализация не должна отличаться от рабочей.

Практическая работа № 2

ПОДЪЕМНЫЕ КАНАТЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ИХ ЦЕЛОСТНОСТИ

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Назначение и устройство канатов.
2. Классификация канатов и их обозначение по ГОСТ.
3. Контроль состояния каната.
4. Требования правил безопасности к подъемным канатам.

Назначение и устройство канатов

Канаты, соединяющие подъемные сосуды с органами навивки, являются одной из самых ответственных частей подъемной установки. От качества изготовления подъемных канатов и правильной их эксплуатации зависит бесперебойная и безаварийная работа шахтного подъема.

На шахтных подъемных установках применяют *только стальные канаты*.

Канат представляет собой несколько прядей, свитых вместе вокруг сердечника так, что каждая прядь принимает вид винтовой линии. В некоторых канатах сердечника нет.

Прядью каната называется пучок стальных круглых проволок одного или разного диаметра, свитых вместе так, что каждая проволока принимает вид винтовой линии.

Классификация канатов

В зависимости от материала сердечника стальные канаты подразделяют:

1) с органическим сердечником (О.С.);
2) с металлическим сердечником мягким из проволоки (М.С.М.), имеющей временное сопротивление разрыву не более 880 Н/мм^2 (90 кгс/мм^2);
3) с металлическим сердечником из канатной проволоки (М.С.);
4) с сердечником из искусственных материалов (И.С.).

В качестве органического применяют сердечники из пеньки, манилы или сизали. Органический сердечник применяют только витой и в пропитанном состоянии. При изготовлении каната органический сердечник пропитывают высоковязкими тугоплавкими консистентными смазками, предохраняющими проволоки каната от коррозии и истирания

друг о друга, а также придающими канату большую гибкость. От качества смазки и способности органического сердечника сохранять ее во многом зависит срок службы стальных канатов.

Стальные канаты по механическим свойствам проволоки, из которой они изготовлены, подразделяют на марки: В – из проволоки высшего качества (марка В); 1 – из проволоки марки I.

Стандартные стальные канаты изготовляют:

а) по виду покрытия поверхности проволоки и каната: из светлой проволоки, С – из оцинкованной проволоки для средних агрессивных условий работы, Ж – из оцинкованной проволоки для жестких агрессивных условий работы, ОЖ – из оцинкованной проволоки для особо жестких агрессивных условий работы, П – с покрытием искусственными материалами каната или прядей;

б) по назначению: ГЛ – грузолюдские, служащие для транспортирования людей и грузов, Г – грузовые, служащие для транспортирования грузов и других целей (исключая транспортировку людей).

В подъемных установках, служащих для транспортирования людей, должны применяться канаты только марки В.

Диаметр проволок для подъемных канатов принят 1-3 мм. Канаты, изготовленные из проволок с расчетным пределом прочности 1270-1470 Н/мм^2 (130-150 кгс/мм^2), применяют обычно для откаток и подъема с небольшой концевой нагрузкой по вертикальным стволам неглубоких шахт, а канаты с пределом прочности проволок 1570-1970 Н/мм^2 (160-200 кгс/мм^2) – для подъема по вертикальным стволам шахт средней и большой глубины.

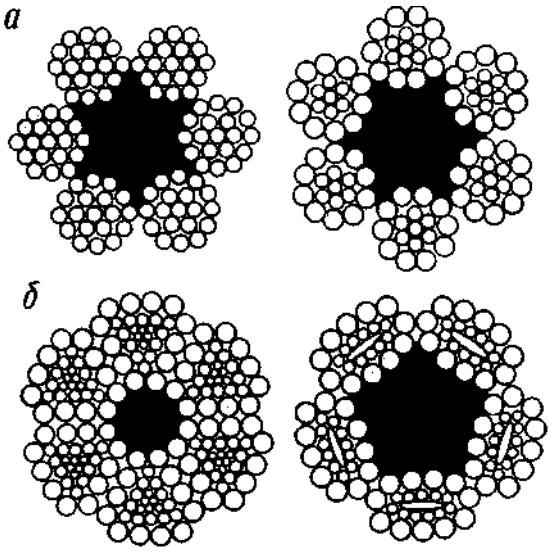


Рис. 2.1. Канаты стальные круглопрядные (*а*) и фасоннопрядные (*б*)

На шахтном подъеме следует избегать применения канатов с пределом прочности проволок выше 1770 Н/мм^2 (180 кгс/мм^2), так как с повышением предела прочности уменьшаются пластические свойства металла и увеличивается его склонность к усталостному разрушению.

Стальные канаты по форме поперечного сечения прядей подразделяют на круглопрядные и фасоннопрядные.

Канаты, свитые из круглых прядей, называются круглопрядными, а свитые из трехгранных, овальных или плоских прядей, – фасоннопрядными (рис. 2.1).

Фасоннопрядные канаты имеют меньшее удельное давление на проволоки, так как соприкасаются с опорной поверхностью барабанов или шкивов большей площадью. Это повышает срок службы каната.

В зависимости от числа свивок различают одинарную, двойную и тройную свивки каната (рис. 2.2). Отдельная прядь, применяемая как самостоятельный канат, является канатом одинарной свивки. Для подъемн-ых установок применяют канаты двойной свивки, представляющие собой несколько прядей, свитых в один ряд вокруг сердечника. Канат тройной свивки составляется из отдельных канатов двойной свивки.

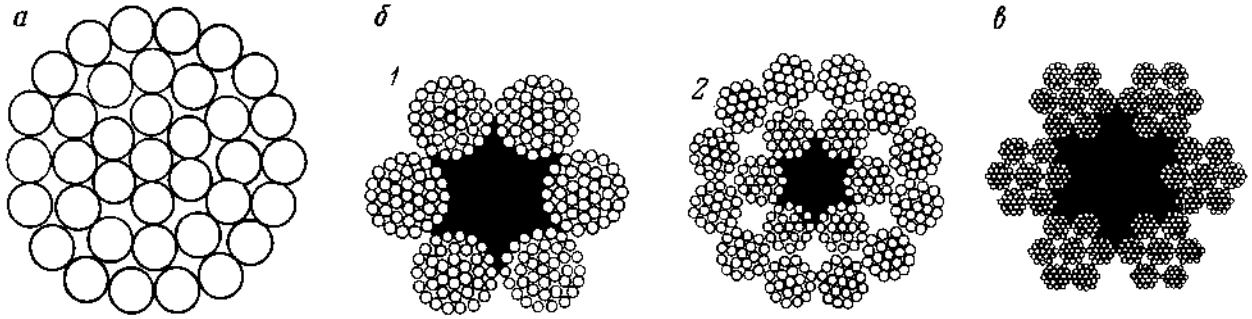


Рис. 2.2. Канаты стальные:
а – одинарной свивки (спиральные); *б* – двойной свивки (тросы);
1 – с одним слоем прядей (однослойные); *2* – с двумя слоями прядей (многопрядные);
в – тройной свивки

По конструкции проволок наружного слоя канаты одинарной свивки бывают открытыми и закрытыми. В канатах закрытой конструкции наружный слой выполняется из фасонных проволок (рис. 2.3). Такие канаты обладают высокой износоустройчивостью и высокой коррозионной стойкостью благодаря профилированным проволокам, препятствующим проникновению влаги внутрь каната. *Недостаток этих канатов* – малая гибкость, что заставляет применять с ними органы навивки и направляющие шкивы больших размеров.

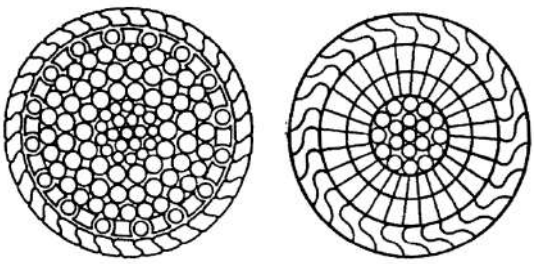


Рис. 2.3. Канаты закрытой конструкции

По направлению свивки проволок и прядей стальные канаты бывают односторонней (параллельной), крестовой и комбинированной свивки (рис. 2.4). Если проволока в прядях и пряди в канате свиты в одном направлении, такой канат называется канатом односторонней свивки, а если в противоположных направлениях – канатом крестовой свивки.

Канаты односторонней свивки по сравнению с канатом крестовой свивки имеют следующие преимущества: более гибки; их проволоки менее подвержены деформации при огибании канатов направляющего шкива и органов навивки; легче наблюдение за состоянием их проволок благодаря выходу проволок на наружную сторону каната на значительной длине.

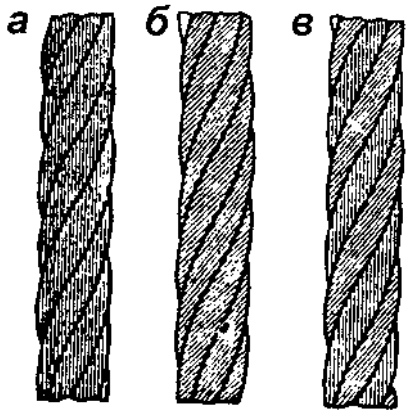


Рис. 2.4. Канаты крестовой (*а*), односторонней (*б*) и комбинированной (*в*) свивки

Однако, несмотря на большой срок службы и перечисленные достоинства, канаты односторонней свивки большого распространения не получили, так как подвержены раскручиванию. Кроме того, при навеске и во время эксплуатации требуют умелого и осторожного обращения, так как склонны к петлеобразованию. Указанные недостатки канатов односторонней свивки устраняют при их изготовлении с предварительной деформацией прядей (нераскручивающимися).

По способу свивки канаты подразделяют на раскручивающиеся, в которых пряди и проволоки в прядях не сохраняют своего положения в канате после снятия перевязок с конца каната, и нераскручивающиеся, в которых пряди и проволоки в прядях сохраняют свое положение после снятия перевязок с конца каната.

По степени крутимости стальные канаты подразделяют на крутящиеся (с одинаковым направлением свивки всех прядей) и малокрутящиеся (многопрядные с противоположным направлением свивки прядей по слоям каната) (рис. 2.5).

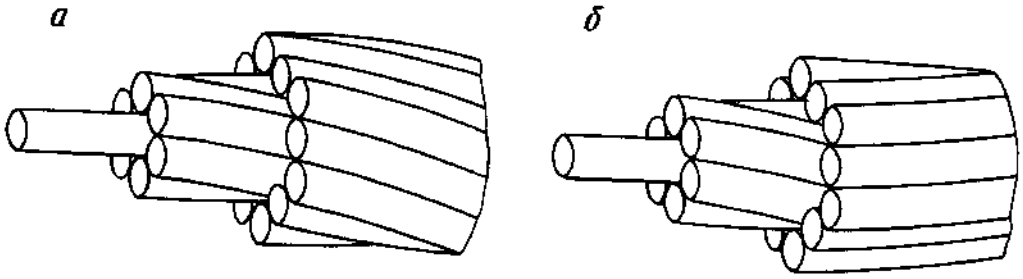


Рис. 2.5 Крутящиеся (*а*) и малокрутящиеся (*б*) канаты

По направлению свивки прядей канаты бывают правой или левой свивки.

Направление свивки каната является важным эксплуатационным фактором, так как канат, навиваясь на барабан подъемной машины, испытывает не только изгиб, но и кручение вокруг своей оси, возникающее при навивке по винтовой линии.

На подъемных установках с ведущим шкивом трения при каждой навеске каната применяют поочередно канаты правой и левой свивки. В каждой многоканатной подъемной установке для уравновешивания крутящих моментов, передающихся от подъемных канатов через скип (клеть) на армировку ствола и повышающих износ проводников, следует одновременно навешивать одинаковое количество канатов правой и левой свивки.

По форме поперечного сечения подъемные канаты бывают круглые (см. рис. 2.1, 2.2) и плоские (рис. 2.6). Круглые канаты применяют как головные (подъемные), а плоские – как хвостовые (уравновешивающие).

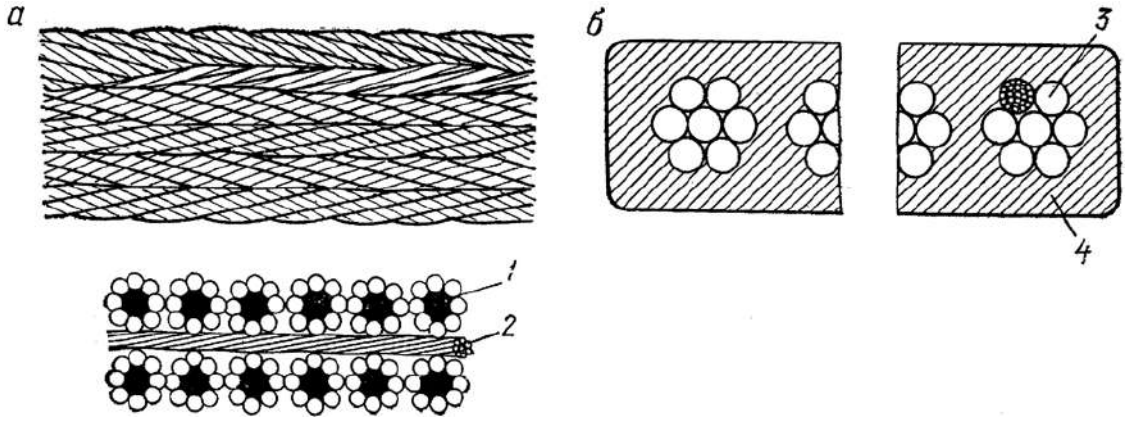


Рис. 2.6 Плоские канаты:
а – металлический; *б* – резинотросовый

Плоские канаты изготовляют соединением стренг *1* (круглопрядных канатов), уложенных в одну ленту. Стренги соединяются проволочными ушивальниками *2*, которые пропускаются между прядями от одного борта каната к другому, поочередно огибая одну из прядей крайних стренг. Стренги плоского каната укладывают так, чтобы правая и левая свивки чередовались. Плоские канаты гибки и не раскручиваются, но срок службы их из-за быстрого перетирания ушивальников и неравномерного вытягивания отдельных стренг примерно в два раза меньше срока службы круглых канатов. Конструкция плоского резинотросового уравновешивающего каната, состоящая из тросов *3* и резинового покрытия *4*, отличается большей гибкостью, износостойкостью и антикоррозийной защитой.

Основные стандарты на изготовление канатов и их обозначение по ГОСТ

Стандартные стальные канаты по роду свивки проволок в прядях изготавливают:

1) с точечным касанием отдельных проволок между слоями прядей (ТК); пряди с точечным касанием проволок изготовляют из проволок одинакового или разных диаметров по отдельным слоям;

2) с линейным касанием проволок в пряди (ЛК): ЛК-0 – проволоки одинакового диаметра в отдельных слоях пряди; ЛК-Р – проволоки двух диаметров в верхнем слое пряди; ЛК-РО – проволоки разного и одинакового диаметра по отдельным слоям пряди: ЛК-З – между двумя слоями проволок размещаются заполняющие проволоки меньшего диаметра;

3) с точечным и линейным касанием проволок в пряди (ТКЛ);

4) с полосовым или поверхностным контактом (ПК) (наиболее благоприятны условия работы проволок каната).

Канаты имеют так называемые пластически обжатые пряди, получаемые за счет протягивания их через специальные фильеры. При этом проволоки претерпевают пластическое смятие и взаимный контакт получается поверхностным.

Проволоки в прядях канатов с линейным касанием соприкасаются не в отдельных точках, как в канатах с точечным касанием проволок, а по всей длине. При таком касании устраняется вредное внутреннее пересечение проволок в смежных рядах, что значительно улучшает условия работы проволок, уменьшает их истирание, улучшает условия скольжения рядов проволок в пряди.

Канаты с линейным касанием проволок имеют высокие гибкость и плотность, повышающие срок службы, а также большой коэффициент заполнения поперечного сечения металлом, что при одинаковом разрывном усилии позволяет получить меньший диаметр каната.

Каждому ГОСТу соответствует стальной канат определенной конструкции. Конструкцией каната называется число прядей в канате, число проволок в пряди и вид сердечника. Если сердечник металлический, то так же называется его конструкция.

Для вертикального одноканатного подъема глубиной до 600 м применяют стальные канаты с линейным и точечно-линейным касанием проволок по ГОСТ 7668-80 типа ЛК-РО конструкции 6 × 36 (1+7+7/7+ +14)+1 О.С. (с органическим сердечником), при больших глубинах и концевых нагрузках – по ГОСТ 7668-80 типа ЛК-РО конструкции 6 × 36 (1+7+7/7+14)+1. Трехграннопрядные канаты двойной свивки конструкции 6 × 30 (6+12+12)+О.С. по ГОСТ 3085-80 и канаты закрытой конструкции по ГОСТ 10506-76 применяются, как правило, на многоканатных подъемных установках. Канаты плоской конструкции используются в качестве уравновешивающих канатов и подъемных канатов на проходческих подъемных установках бобинного типа. Резинотросовые канаты используются только в качестве уравновешивающих канатов.

В конструкции каната первая цифра означает количество прядей в канате (6), вторая – число проволок в пряди (36). В конструкции пряди показано количество и расположение проволок – одна, вокруг нее – семь, вокруг них (второй слой) и т. д.

Эксплуатационной особенностью работы канатов на наклонном подъеме является значительное истирание поверхностного слоя проволок. Поэтому для наклонного подъема применяют стальные канаты с линейным касанием проволок типа ЛК-0.

Контроль износа каната

Подъемные канаты являются наиболее ответственным элементом подъемной установки, поэтому требуют ежесуточного контроля состояния.

Контроль осуществляется визуально и приборами контроля потери сечения металла канатов на барабанных подъемных машинах.

Такими приборами являются ИИСК-3 (индуктивный измеритель сечения канатов).

В основу измерения потери сечения металла стальных канатов положен индуктивный метод.

Принцип действия измерителя основан на зависимости индуктивности датчика от сечения металла стального каната, охватываемого его башмаками.

Для повышения точности измерений датчик включен в плечо резонансного моста переменного тока.

Для компенсации погрешности измерения от нестабильности величины питающего напряжения, частоты, а также упрощения градуировки и балансировки в измерителе используются два резонансных моста переменного тока, включенные дифференциально.

Измеритель представляет собой комплект аппаратуры, состоящий из аппарата измерения АИ-3 и индуктивного датчика ДИ-3.

На передней панели АИ-3 (рис. 2.7) расположены: *1* – сигнальная лампа контроля напряжения; *2* – тумблер включения сети; *3* – ручка установки чувствительности усилителя; *4* – ручки магазина емкости; *5* – тумблер калибровки; *6* – тумблер снятия сигнализации; *7* – ручка балансировки моста; *8* – сигнальная лампа опасной потери сечения; *9* – индикатор потери сечения; *16* – потенциометр установки порога срабатывания сигнализации.

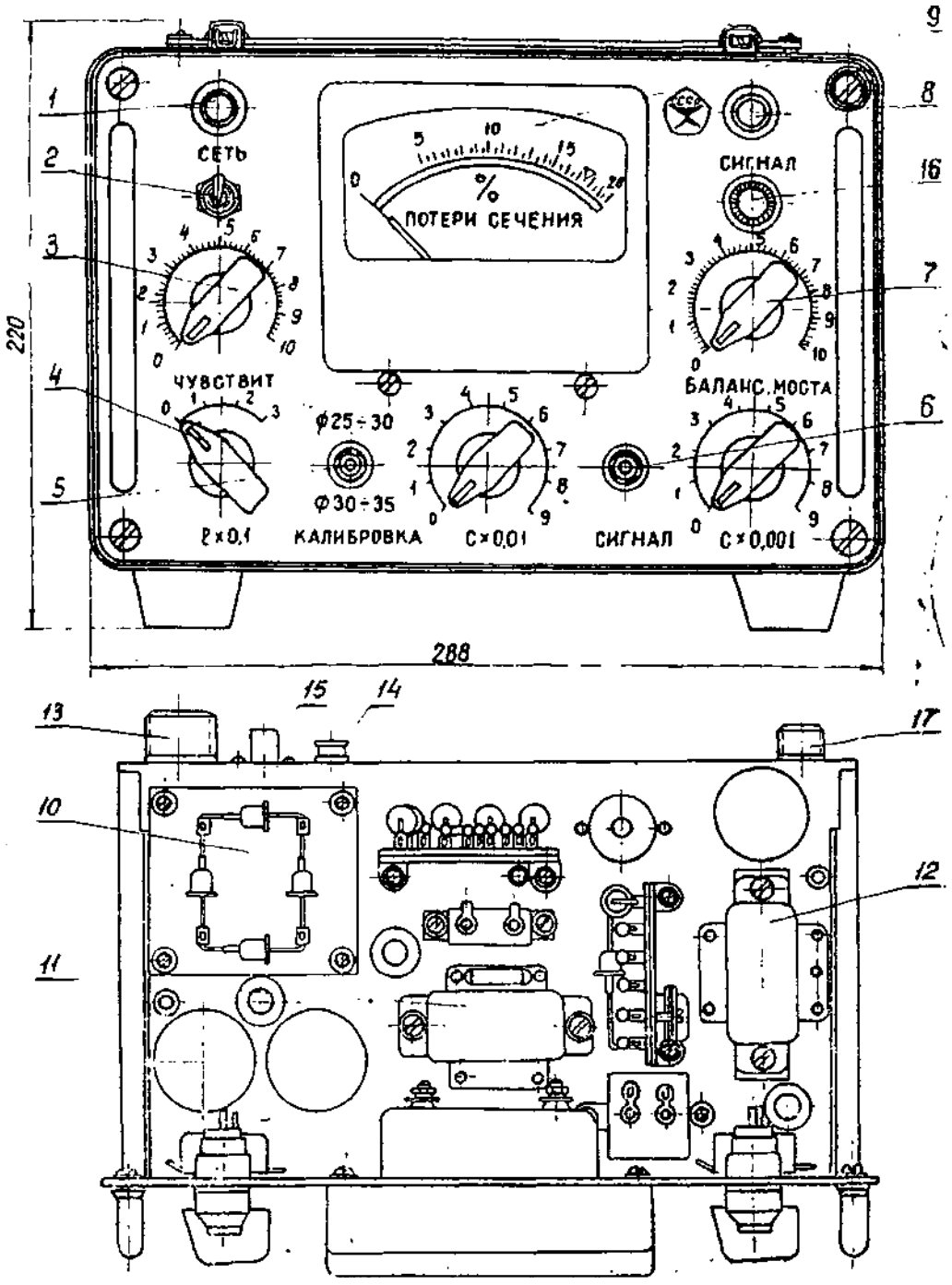


Рис. 2.7. Аппарат измерения защищенного исполнения

На выдвигающемся шасси расположены: *10* – стабилизатор напряжения; *11* – выходной трансформатор; *12* – дроссель и другие элементы схемы.

На задней части аппарата измерения расположены: *17* – разъем для подсоединения датчика; *14* – предохранитель; *15* – гнездо для подключения самописца; *13* – разъем для подключения напряжения сети.

Индуктивный датчик ДИ-3 (рис. 2.8) представляет собой устройство, состоящее из двух катушек *1*, расположенных на сердечниках из трансформаторной стали. Обе половины датчика оканчиваются стальными башмаками *2*.

При установке на канат обе половины датчика скрепляются при помощи зажимов *3*. Для правильного соединения обоих половин датчика имеются направляющие *4*, входящие в специальные отверстия другой половины. Катушки установлены таким образом, что при последовательном соединении их магнитные потоки замыкаются через канат, в одном направлении.

Индуктивность последовательно соединенных катушек при прочих равных условиях зависит от поперечного сечения металла каната.

Прохождение через индуктивный датчик участка каната с уменьшенным сечением приводит к дисбалансу измерительного моста.

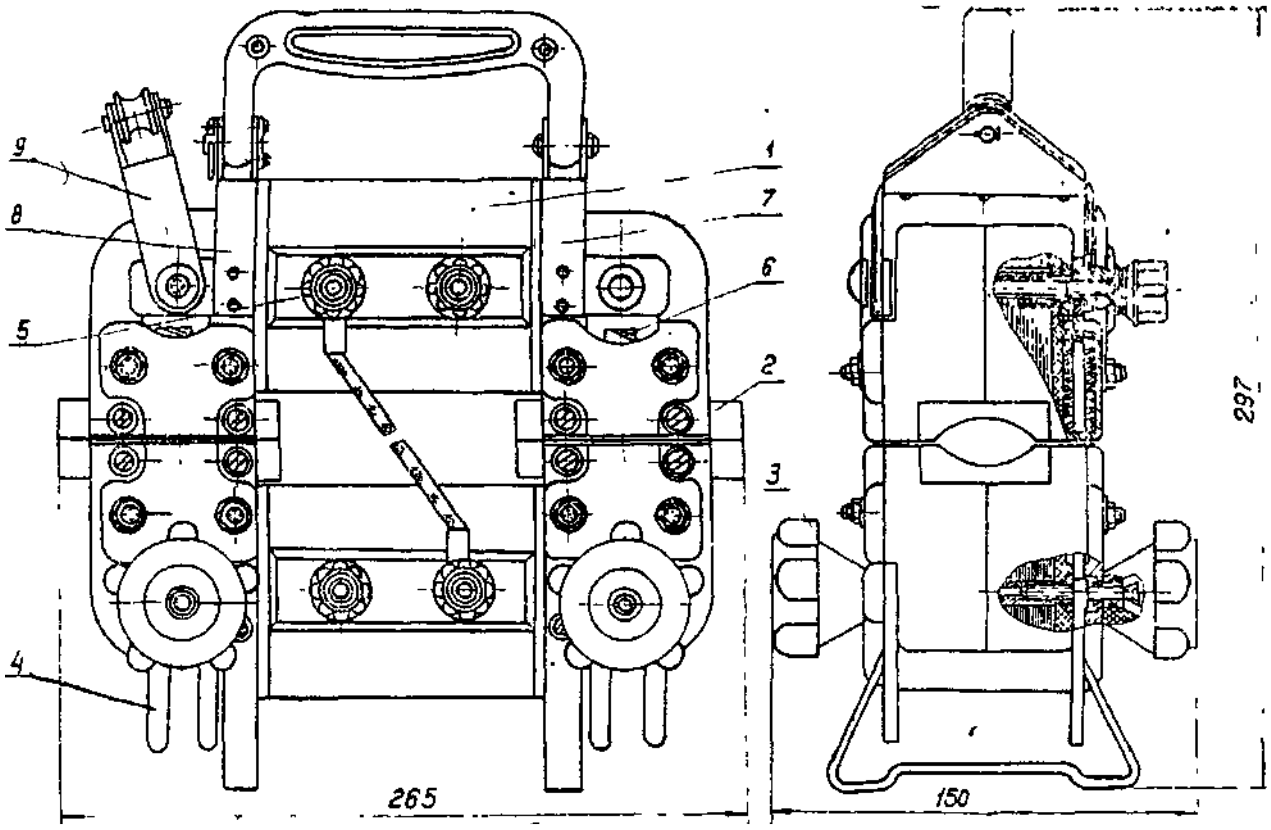


Рис. 2.8. Индуктивный датчик

Напряжение дисбаланса поступает на вход усилителя. Левая часть двойного триода используется как усилитель напряжения, а правая – как усилитель мощности. Миллиамперметр служит в качестве индикатора при балансировке моста, для калибровки прибора, а также для

непосредственного отсчета в процентах показаний потери сечения при проверке каната.

Самопишущий миллиамперметр подсоединяется к выходу аппарата измерения и позволяет записать диаграмму изменения относительной потери сечения по длине каната. При включении прибора без самописца вместо него автоматически включается эквивалент самопишущего прибора. В зависимости от диаметров контролируемых стальных канатов измеритель изготавливается трех типоразмеров: 1198 А – для диапазона диаметров от 25 до 35 мм; 1198 Б – для диапазона диаметров от 35 до 45 мм; 1198 В – для диапазона диаметров от 45 до 62 мм.

Измерение потери сечения металла канатов на барабанных подъемных машинах

1. Аппарат измерения АИ-3 устанавливается на столе или другой ровной поверхности; к нему подключаются соответствующими разъемами провод питания аппарата АИ-3 и провод подсоединения датчика индуктивного ДИ-3. При этом датчик индуктивный должен быть собран у витков трения при нахождении подъемного сосуда в самом нижнем положении и закреплен с помощью тросика, как показано на рис. 2.9. Для этого датчик индуктивный должен быть разнят на две части (перед этим имеющаяся на нем перемычка должна быть снята) и собран в соответствии с инструкцией.

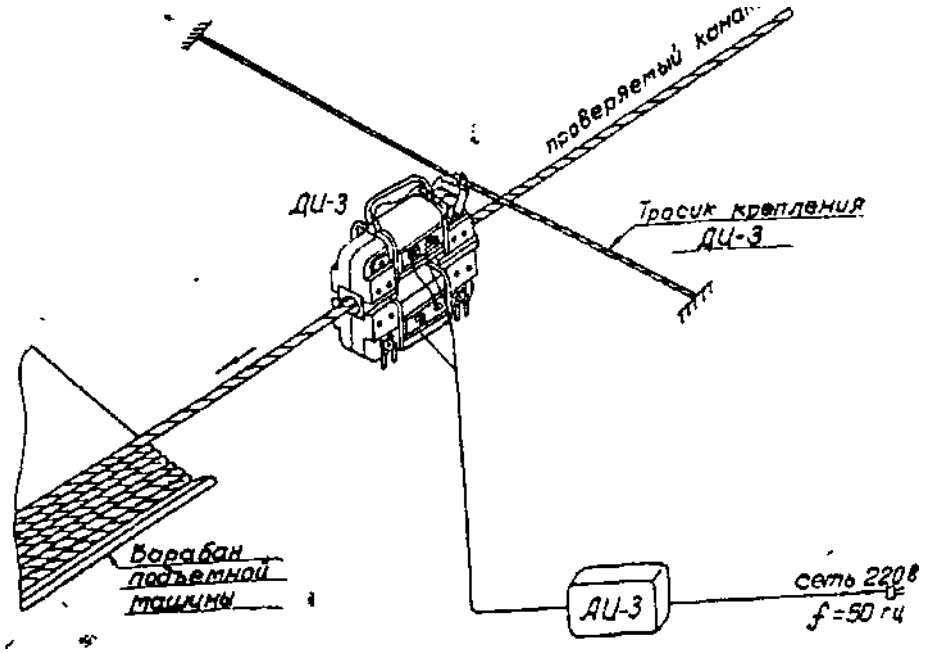


Рис. 2.9. Блок-схема установки аппаратуры ИИСК-3

После этого перемычку поставить на клеммы, обозначенные буквой «П», а к другим клеммам подключить провод от аппарата измерения.

2. Штепсель провода питания аппарата измерения вставить в розетку с напряжением сети 220 В. Ручку «Чувствит» установить в нулевое положение. Включить аппарат измерения (тумблер «Сеть» установить в верхнее положение). При этом у тумблера должна загореться сигнальная лампа.

После 5-минутного прогрева измерителя произвести его настройку, для чего ручку «Чувствит» поворачивать по часовой стрелке до тех пор, пока стрелка указательного прибора установится в средней части шкалы. После этого ручками магазина емкостей и ручкой «Баланс моста» добиться минимального отклонения стрелки указательного прибора от нулевой отметки шкалы. Повышая далее ручкой «Чувствит» чувствительность измерителя (стрелка - во второй половине шкалы), ручками магазина емкостей и «Баланс моста» снова добиться минимального отклонения стрелки от нулевого деления. Вышеуказанное повторять до тех пор, пока при установке ручки «Чувствит» до упора не будет получено минимальное отклонение стрелки.

3. Ручку «Чувствит» установить на нулевую отметку, тумблер «Калибровка» перевести в положение, соответствующее измеряемому канату и, не отпуская его, ручкой «Чувствит» стрелку указанного прибора установить на красную отметку шкалы (17,5 %).

При отпускании тумблера «Калибровка» стрелка указательного прибора должна установиться в пределах сектора у нулевой отметки. Этим измеритель подготовлен к измерению потери сечения.

Внимание!

После настройки измерителя положение всех ручек
в процессе измерений должно оставаться неизменным.

4. Проверка лампы «Сигнал» производится в такой последовательности (если при предварительной настройке лампа «Сигнал» оказалась включенной, то ее погасить установкой ручки тумблера в положение «сигнал»): ручкой «Баланс моста» поворотом вправо или влево установить стрелку на красную отметку шкалы. При этом лампа «сигнал» должна загореться, а при незначительном отводе стрелки ручкой «Чувствит» влево от красной черты и при нажатой ручке тумблера в положение «сигнал» лампа должна гаснуть. Если это не происходит, то с помощью потенциометра В («Сигнал») установить

порог срабатывания полупроводникового реле при установке стрелки на красную отметку шкалы.

Примечание. Порог срабатывания по желанию может быть установлен на любой отметке в пределах от 12 до 20.

5. При необходимости произвести запись потери сечения самописцем, шнур питания последнего включить в сеть соответствующего напряжения, вилку вставить в соответствующее гнездо аппарата измерения, а зажимы вилки подключить к самописцу, установив предел измерения 5 мА при входном сопротивлении 1000 Ом. После настройки аппарата АИ-3 ручкой самописца «Корректор» совместить его стрелку с нулевой отметкой.

Скорость движения бумаги самописца выбирается в зависимости от длины контролируемого каната и находится в пределах 150-250 мм/мин.

Начало движения бумаги включается с момента начала движения проверяемого каната.

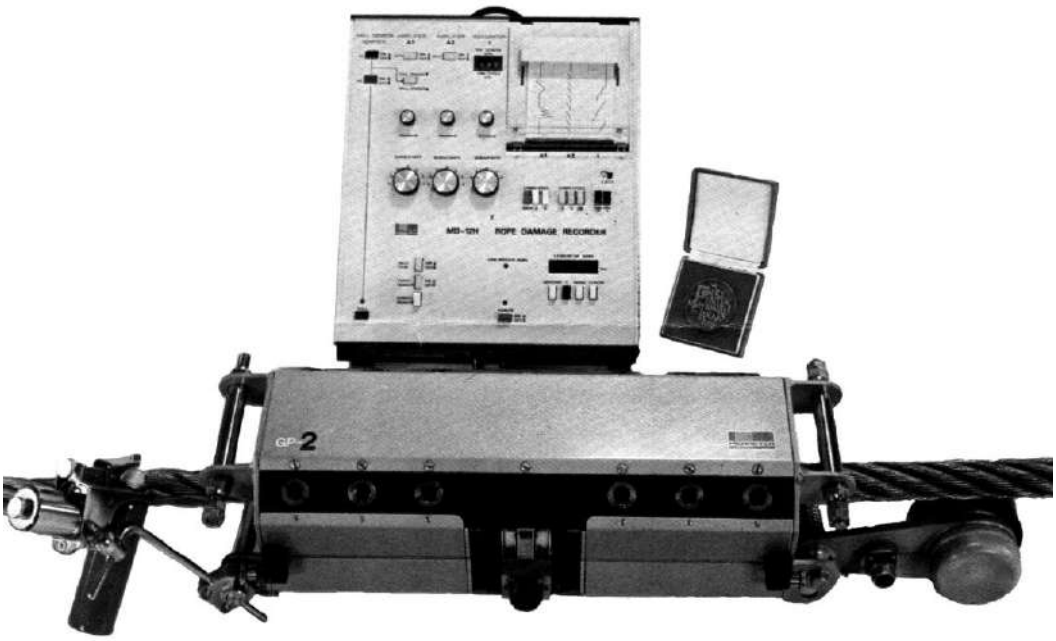


Рис. 2.10. Прибор контроля износа каната

Пригодность каната оценивается процентом потери индуктивности контура. В настоящее время разработано несколько новых модификаций этого прибора (рис. 2.10).

Требования правил безопасности к подъемным канатам

Стальные канаты, применяемые на подъемно-транспортных установках шахт, должны отвечать требованиям действующих ГОСТов или ТУ, согласованных с Институтом по безопасности работ.

Применение импортных канатов, изготовленных не по отечественным стандартам, допускается по согласованию с Госгортехнадзором России.

Конструкции канатов должны выбираться в соответствии с требованиями по эксплуатации стальных канатов для различных подъемно-транспортных установок.

Подъемные и тяговые канаты людских и грузолюдских подъемно-транспортных установок должны быть грузолюдскими марки В, остальные не ниже марки I.

Канаты для сосудов и противовесов шахтных подъемных установок должны иметь при навеске запас прочности не ниже:

а) 9-кратного для людских и аварийно-ремонтных подъемных установок, людских и грузолюдских (при расчете по людям) двухканатных подъемных установок со шкивами трения, не оборудованных парашютами;

б) 8-кратного для подъемных установок со шкивами трения одноканатных (людских, грузолюдских и грузовых) и многоканатных людских и грузолюдских подъемных установок;

в) 7,5-кратного для грузолюдских подъемных установок, а также для подвески механических грузчиков (грейферов) в стволе, проходческих люлек;

г) 7-кратного для грузовых многоканатных подъемных установок;

д) 6,5-кратного для грузовых подъемных установок;

е) 6-кратного для передвижных аварийных подъемных установок, спасательных лестниц, канатных проводников шахт, находящихся в эксплуатации, канатов для подвески полков при проходке стволов глубиной до 600 м**,** насосов, труб водоотлива, проходческих агрегатов;

ж) 5,5-кратного для резинотросовых уравновешивающих канатов, а также канатов для подвески полков при проходке стволов глубиной от 600 до 1500 м;

з) 5-кратного для отбойных канатов, канатных проводников проходческих подъемных установок, для подвески проходческого оборудования, в том числе стволопроходческих комбайнов в стволах глубиной более 900 м, за исключением указанного в пп. «в» и «е», для подвески полков при проходке стволов глубиной от 1500 до 2000 м, для новых подъемных канатов при разовом спуске под подъемным сосудом негабаритных грузов и при навеске (замене) подъемных сосудов на многоканатных подъемных установках;

и) 3-кратного от динамической нагрузки для тормозных и амортизационных канатов парашютов;

к) 10-кратного для стропов многократного использования при опускании негабаритных и длинномерных грузов под подъемным сосудом, для сигнальных тросов грузолюдских и людских подъемных установок.

Стыковые соединения резинотросовых уравновешивающих канатов должны иметь запасы прочности в соответствии с требованиями Инструкции по навеске и безопасной эксплуатации огнестойких резинотросовых уравновешивающих канатов (РТК) на скиповых подъемах шахт и рудников.

Подъемные канаты для вертикальных стволов при максимальной длине отвеса более 600 м могут навешиваться, если отношение суммарного разрывного усилия всех проволок каната к концевому грузу (без учета подъемного каната) не менее:

а) 13-кратного для людских подъемных установок;

б) 10-кратного для грузолюдских подъемных установок;

в) 8,5-кратного для грузовых подъемных установок;

г) 11,5-кратного для подъемных установок со шкивами трения, одноканатных (людских, грузолюдских и грузовых) и многоканатных (людских, и грузолюдских установок), кроме двухканатных подъемов, не оборудованных парашютами;

д) 9,5-кратного для многоканатных грузовых подъемных установок;

Запас прочности с учетом массы каната должен быть не ниже 4,5-кратного для грузовых подъемов и 5-кратного для людских и грузолюдских подъемных установок.

На одноканатных подъемных установках с канатными проводниками для обоих подъемных сосудов должны навешиваться головные канаты одного диаметра, конструкции и направления свивки.

На каждом многоканатном подъеме, независимо от его назначения, должно быть не менее двух уравновешивающих канатов.

Шахтные канаты должны испытываться в соответствии с Инструкцией по испытанию шахтных канатов на канатно-испытательных станциях, зарегистрированных в установленном порядке.

Резервный испытанный канат перед навеской может вторично не испытываться, если срок хранения не превышает 12 месяцев.

Резинотросовые уравновешивающие канаты испытываются в соответствии с Инструкцией по навеске и безопасной эксплуатации огнестойких резинотросовых уравновешивающих канатов (РТК) на скиповых подъемах шахт и рудников.

Канаты, испытанные перед навеской, должны повторно испытываться (за исключением канатов в установках с одноканатными и многоканатными шкивами трения канатов для подвески полков и нижних уравновешивающих канатов) **в следующие сроки:**

а) через каждые 6 мес. на людских и грузолюдских подъемных установках, а также для проходческих люлек;

б) через 12 мес. после навески и затем через каждые 6 мес. на грузовых, аварийно-ремонтных и передвижных подъемных установках, а также для спасательных лестниц;

в) через 6 мес. после навески, а затем через каждые 3 мес. – подъемные многопрядные неоцинкованные малокрутящиеся канаты (грузовые и грузолюдские).

Срок повторных испытаний канатов исчисляется с момента их навески.

Шестипрядные подъемные канаты людских и грузолюдских подъемных установок с жесткими посадочными устройствами подлежат перепанцировке в прицепных устройствах не реже одного раза в 6 мес.

Для испытания каната отрезается его конец длиной не менее 1,5 м.

Для повторных испытаний каната отрезается кусок его такой же длины над последним жимком запанцировки.

Каждый образец каната, направляемый на испытание, должен быть снабжен копией заводского паспорта, заверенной шахтой, и дощечкой или металлическим ярлыком, прикрепленным к канату проволокой. На ярлыке должны быть ясно указаны: организация (предприятие), шахта, номер и назначение подъема, канат правый или левый, заводской номер каната, ГОСТ, диаметр каната, конструкция каната, даты навески, отрубки и отправки каната на испытание. Оба конца образца каната должны быть надежно обвязаны проволокой.

Канат должен быть снят и заменен другим, если при повторном испытании:

а) запас прочности окажется ниже 7-кратного для людских и аварийно-ремонтных подъемов; 6-кратного для грузо-людских подъемов и проходческих люлек; 5-кратного для грузовых, передвижных подъемных установок и спасательных лестниц;

б) суммарная площадь проволок, не выдержавших испытания на разрыв и перегиб, достигает 25% общей площади поперечного сечения всех проволок каната.

Запрещается эксплуатация подъемных канатов закрытой конструкции:

а) при износе половины высоты проволок наружного слоя;

б) при нарушении замка наружных проволок фасонного профиля (расслоение проволок);

в) при выходе проволок из замка на поверхность каната;

г) при наличии трех оборванных проволок (включая и запаянные) фасонного профиля наружного слоя на длине участка, равной пяти шагам их свивки или двенадцати на всей рабочей длине каната.

Проводниковые канаты подлежат замене: при износе на 15 % номинального диаметра, но не более половины высоты или диаметра наружных проволок; если на 200 м длины каната закрытой конструкции обнаружено два обрыва наружных проволок. Если при обрыве наружные проволоки в канате закрытой конструкции выходят из замка, то их необходимо запаять. Каждый подъемный и уравновешивающий канаты в установках со шкивами трения должны ежесуточно тщательно осматриваться при скорости движения не более 0,3 м/с. При этом определяют общее число оборванных проволок по всей длине каната. Еженедельно должен производиться дополнительный осмотр канатов, при этом подсчитывается число обрывов проволок на одном шаге свивки в наиболее поврежденных местах. Участок (шаг), на котором число оборванных проволок превышает 2 % общего числа проволок каната, отмечают в Книге записи осмотра подъемных канатов и их расходов.

Тормозные канаты парашютов, проводниковые канаты эксплуатационных шахт и нижние уравновешивающие канаты подъемных установок с барабанными машинами осматриваются еженедельно.

Ежемесячно должен производиться детальный осмотр подъемного каната, при этом его поверхность очищают от корок затвердевшей смазки и внимательно осматривают места, где наиболее вероятны повреждения (под коушем, жимками и т. д.) и имеется наибольшее число оборванных проволок.

Указанные места следует осматривать при неподвижном канате. Если при осмотре канатов окажется, что на каком-либо участке, равном шагу свивки, число оборванных проволок достигает 5 % общего числа проволок в подъемном канате и 10 % в нижнем уравновешивающем, то канат должен быть заменен другим.

Если число оборванных проволок подъемного каната достигает на шаге свивки 5 % в месте крепления его к подвесному устройству, то разрешается конец каната с оборванными проволоками отрубить и снова прикрепить канат к коушу.

Подъемные канаты следует смазывать специальной канатной смазкой не реже одного раза в неделю.

Для головных канатов в установках со шкивом трения можно применять только антикоррозийную фрикционную смазку.

Практическая работа № 3
КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Назначение и классификация подъемных сосудов.
2. Конструкции клетей.
3. Конструкции скипов.
4. Конструкции бадей.
5. Требования Правил безопасности к конструкциям подъемных сосудов.

Подъем полезного ископаемого из шахты и спуск оборудования, материалов и людей в шахту осуществляются в специальных подъемных сосудах, изготавливаемых в соответствии с ГОСТами или техническими условиями и правилами безопасности.

Шахтные подъемные сосуды классифицируются:

по назначению: для насыпных грузов (скипы, бадьи);
для штучных грузов (клети);
для насыпных и штучных грузов (скипо-клети);

по конструкции: клети;
скипы;
бадьи;
скипо-клети.

Скипо-клети представляют собой комбинированные подъемные сосуды и состоят из установленных на одной несущей раме клети и кузова скипа. Комбинированные подъемные сосуды не получили широкого распространения и в настоящее время могут эксплуатироваться только на старых шахтах, поэтому в данном курсе не рассматриваются.

Подъемные сосуды должны обеспечивать безопасность перемещения грузов и людей, иметь большую грузоподъемность при небольшой собственной массе, обеспечивать возможность автоматизации процесса загрузки и разгрузки, иметь простую конструкцию и быть надежными в работе. Как правило, подъемные сосуды изготавливают из низколегированных сталей. Однако как в нашей стране, так и за рубежом есть опыт изготовления облегченных подъемных сосудов из легких сплавов и полимерных материалов.

Клети

Клети являются универсальными подъемными сосудами, в них одинаково удобно транспортировать как людей, так и различные грузы (оборудование, взрывчатые и пиломатериалы, сыпучие грузы и крепежный лес). Клети для вертикального подъема подразделяются на опрокидные и неопрокидные. Неопрокидные клети могут изготавливаться одно- и двухэтажными. Наибольшее распространение получили неопрокидные клети, а опрокидные, хотя и находятся в эксплуатации, но в настоящее время уже сняты с производства.

Загрузка и разгрузка клетей производится выталкиванием вагонетки, находящейся в клети, другой вагонеткой, находящейся в руддворе (или на приемной площадке), которая приводится в движение специальными толкателями, или вытягиванием вагонетки из клети при помощи вспомогательной лебедки. Их конструкция и принцип действия рассматривается в курсе «Шахтный транспорт».

В обозначении клети, как правило, указывается количество этажей (одноэтажная или двухэтажная), тип клети (опрокидная или неопрокидная), тип прицепного устройства (для одноканатного или многоканатного), если клеть предназначена для использования на одноканатном подъеме, то уточняется тип подъема (вертикальный или наклонный), далее указывается длина каркаса клети в метрах или сантиметрах (в зависимости от обозначения, принятого на заводе–изготовителе), и последнее число обозначает грузоподъемность клети в килоньютонах или меганьютонах. Примеры обозначения клетей: 1НОВ400–9,0 (одноэтажная неопрокидная клеть для вертикального подъема длиной 400 см и грузоподъемностью 9 МН) и 2КНМ5,2–150 (двухэтажная неопрокидная клеть для наклонного подъема длиной 5,2 м и грузоподъемностью 150 кН).

Неопрокидные клети существуют следующих типов: шахтные типа КШР (для рельсовых проводников) и КШД (для деревянных проводников), унифицированные облегченные типа КШРУ и КШДУ, унифицированные шахтные типа УКН; УКР и УКД для двухсторонних проводников.

Неопрокидная одноэтажная клеть (рис. 3.1, *а*) представляет собой металлический опорный каркас с вертикальными стойками *1* и двумя горизонтальными рамами *8* (в двухэтажных клетях три горизонтальные рамы (рис. 3.1, *б*). Каркас с подвесным устройством *2* прикреплен к канату с помощью коуша *5*.

Все клети имеют две независимые подвески, основную и предохранительную. При обрыве основной подвески, образуемой

стойками *2* и балкой *4*, клеть удерживается на предохранительной подвеске, включающей в себя коуш *5*, свободно передвигающийся в пазах *3*, тяги и шток подвески *6*. Нижняя рама одноэтажной клети и нижняя и средняя рамы двухэтажной клети имеют сплошной пол из листовой или рифленой стали. На полу каждого этажа смонтирована рельсовая колея *9*

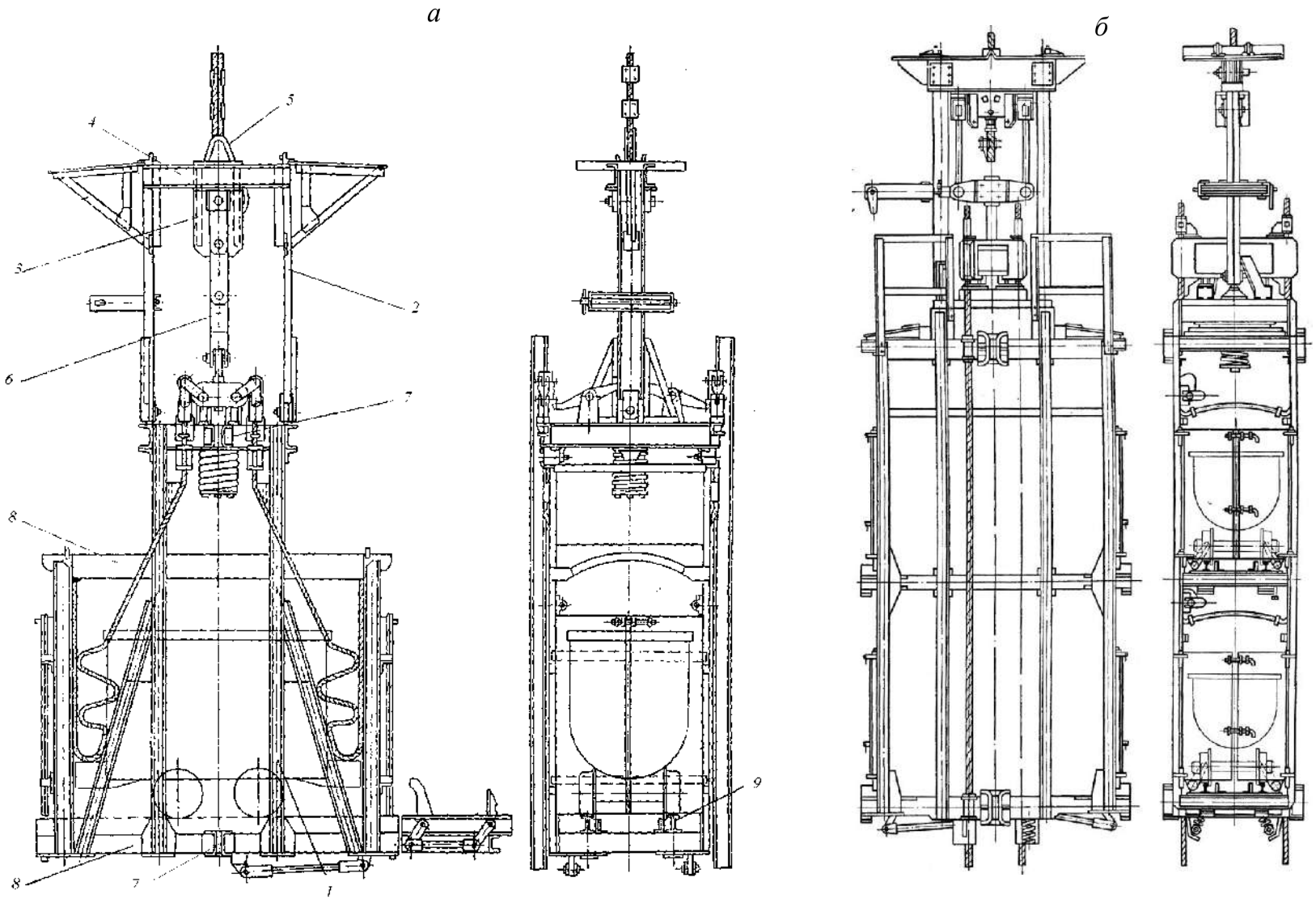


Рис. 3.1. Неопрокидные одноэтажная (*а*) и двухэтажная (*б*) клети

и стопорные устройства, удерживающие вагонетки за колеса. Правилами безопасности допускается иметь в полу надежно закрепляемые съемные части или откидные ляды в местах, предназначенных для осмотра стопорных устройств.

Направляющие *7*, которые охватывают металлические или деревянные проводники, установленные в стволе шахты, предохраняют клеть от поперечных колебаний относительно ствола шахты при ее движении. Направляющие могут быть скользящего в виде литых скоб-закрытого – или лап-открытого – и роликового типа (рис. 3.2), при котором подъемный сосуд опирается на проводник специальными роликовыми опорами, футерованными упругими материалами. Роликовые направляющие получили широкое распространение ввиду того, что при их использовании снижается сопротивление движению подъемных сосудов и износ проводников.

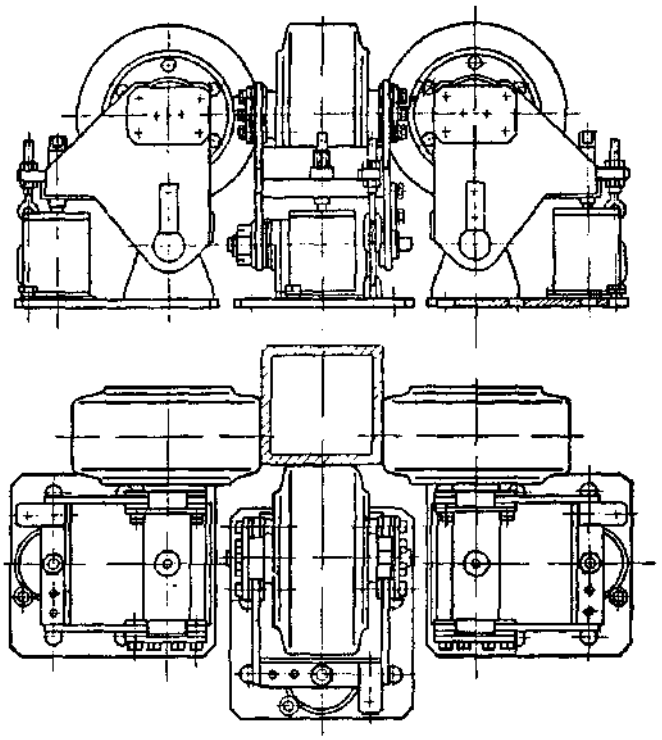


Рис. 3.2. Роликовые направляющие опоры

Длинные (боковые) стороны клети на полную высоту обшивают тонкими сплошными или перфорированными листами, отверстия в листах против проводников недопустимы. Внутри клети вдоль длинных сторон размещают поручни. С коротких (торцовых) сторон располагают двери с наружным засовом, которые должны открываться только внутрь клети. Высота верхней кромки двери над уровнем пола должна быть не

менее 1,2 м, нижней – не более 150 мм. Верхняя рама клети имеет сплошную крышу из трех металлических листов, крайние листы закреплены на шарнирах и могут откидываться вверх при транспортировании длинномерных материалов или частей оборудования.

ПБ требуют, чтобы расстояние в верхнем этаже клети от пола для наиболее выступающей под крышей клети части было не менее 1,9 м без учета основного стержня с пружиной, которую необходимо ограждать предохранительным стаканом. Высота остальных этажей клети должна быть не менее 1,8 м. Число людей, находящихся на каждом этаже клети, определяют из расчета пяти человек на 1 м^2 полезной площади пола клети.

Неопрокидные клети имеют следующие преимущества: простую конструкцию и возможность поднятия различных грузов; простое оборудование околоствольного двора; полную уравновешенность собственных масс в течение всего периода подъема; наименьшее дробление полезного ископаемого; наибольшую безопасность перемещения людей; наименьшие динамические нагрузки на копер при разгрузке.

Недостатки неопрокидных клетей: большая собственная масса (1,6-2,5 массы полезного груза), сложность оборудования поверхности для обмена вагонеток и сложность автоматизации процессов обмена, большой потребный вагонный парк, ограниченная возможность увеличения полезного груза, так как грузоподъемность вагонеток определяется условиями подземного транспортирования. Поэтому подъемные установки с неопрокидными клетями используют главным образом как вспомогательные. Для главных установок их применяют только при малых производственных мощностях горнодобывающих предприятий (до 300 тыс. в год) и малых глубинах.

В 50-60-е годы как альтернатива скиповому подъему использовались подъемные установки с опрокидными клетями. Опрокидные клети выполняют те же функции, что и неопрокидные.

Опрокидная клеть (рис. 3.3) состоит из основной рамы *1*, поворотной платформы *2* с разгрузочным роликом *3*, которая шарнирно при помощи вала *4* связана с рамой *1*, подвесного устройства *5*, парашюта *6*, направляющих башмаков *7*, направляющих муфт *8* для тормозных канатов, крыши *9*, а также дверей и запорного устройства, необходимого для предотвращения опрокидывания платформы при движении клети по стволу (на рисунке не показаны). На полу кузова установлены рельсы для вагонеток и стопоры, на боковых стенках на

уровне верхней кромки вагонетки приварены уголки, удерживающие вагонетку при разгрузке.

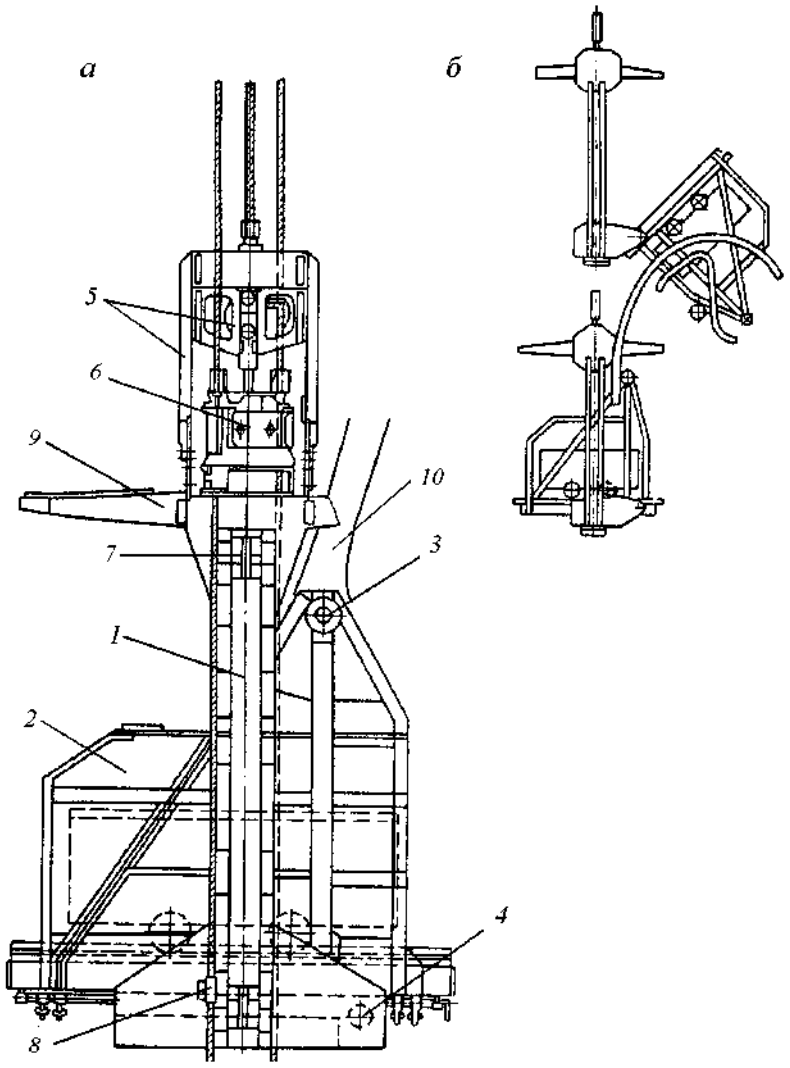


Рис. 3.3. Опрокидная клеть и схема ее разгрузки

На верхней приемной площадке ролик *3* входит в разгрузочные кривые *10*, закрепленные на копре, в связи с чем платформа *2* поворачивается на 135° и содержимое вагонетки высыпается в бункер. По окончании разгрузки клеть опускается, отклоняющие ролики переводят платформу в нормальное положение, затем цикл повторяется. Таким образом, при опрокидных клетях исключается замена вагонеток, что является их основным преимуществом.

Для большей устойчивости платформы центр тяжести ее смещен в сторону, противоположную опрокидыванию. Общий вид клети данного типа изображен на рис. 3.4.

Опрокидные клети, так же как и неопрокидные, загружаются вагонетками в околоствольном дворе. Опрокидные клети бывают только одноэтажными на одну вагонетку. Подъем людей в опрокидных клетях можно производить только до устья шахты, отсюда же в шахту доставляется оборудование и материалы.

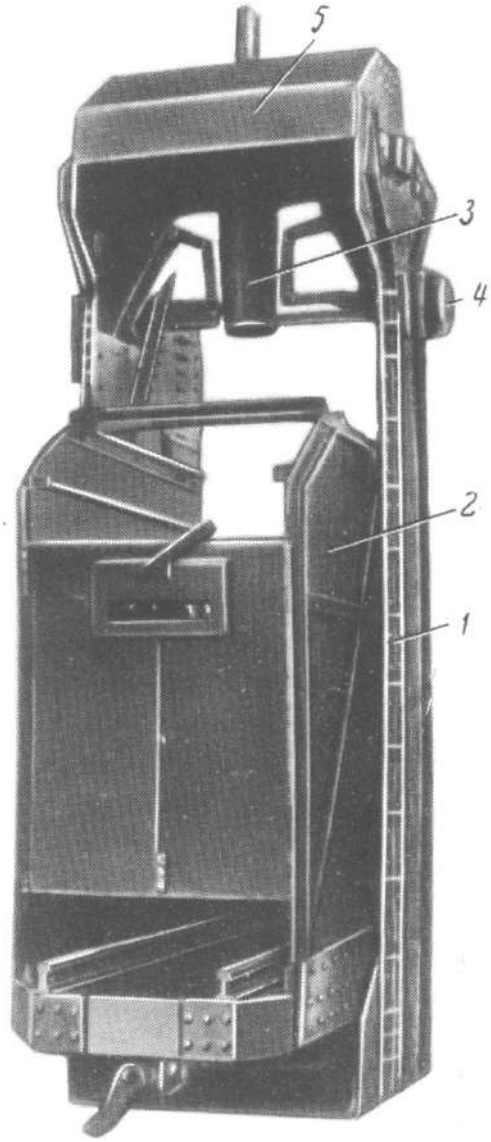


Рис. 3.4. Общий вид опрокидной клети:
1 – рама; *2* – кузов; *3* – подвесное устройство; *4* – разгрузочный ролик; *5* – предохранительный зонт

Кроме всего прочего к преимуществам опрокидных клетей можно отнести следующее: универсальность сосуда, простое оборудование околоствольного двора и надшахтного здания, автоматизация разгрузки клетей, меньший вагонный парк, чем при неопрокидных клетях (так как на поверхности вагонетки не используются).

Недостатки опрокидных клетей: сложность конструкции; большая мертвая масса, превышающая мертвую массу неопрокидной клети той же грузоподъемности почти в 2 раза; неуравновешенность мертвых масс в начале и в конце подъема, так как часть мертвого веса передается на разгрузочные кривые; большее дробление полезного ископаемого, чем при неопрокидных клетях; недостаточная защищенность людей; большие динамические нагрузки на разгрузочные кривые копра, возникающие при опрокидывании клети, которые уменьшают срок службы клети в 4 раза по сравнению с неопрокидными клетями и увеличивают размеры копра; ограниченная возможность увеличения массы полезного груза. Эти недостатки очень существенны, поэтому при проектировании новых рудников опрокидные клети для вспомогательных подъемов не предусматриваются.

Скипы

Скипы предназначены для транспортирования полезного ископаемого и породы.

Скипы по способу разгрузки подразделяют на три типа:

– с неподвижным кузовом и разгрузкой через отверстие в передней или задней стенке;

– с отклоняющимся кузовом и разгрузкой через дно;

– опрокидные с разгрузкой через верхний срез передней стенки.

Скипы всех типов загружаются через верх специальными загрузочными устройствами.

Скип состоит из рамы, кузова и подвесного устройства. К раме, состоящей из швеллеров, крепится кузов скипа, подвесное и направляющее устройства. Кузов скипа изготовляют стальным или клепаным из стали толщиной 6–10 мм.

В настоящее время для шахт проектируются и применяются скипы с неподвижным кузовом и разгрузкой через отверстие в передней или задней стенке, так как по сравнению с опрокидными скипами и скипами с отклоняющимся кузовом они имеют ряд преимуществ: меньшие собственный вес и нагрузки на копер в период разгрузки; уравновешенность собственных весов; меньший расход энергии на подъем. Неопрокидные скипы с неподвижным кузовом и донной разгрузкой отличаются конструкцией затвора, который является одним из наиболее сложных узлов скипа и определяет характер истечения сыпучего груза при его разгрузке.

Конструкция затвора должны удовлетворять следующим требованиям:

– надежно запирать выпускное отверстие перед загрузкой;

– исключать просыпание транспортируемого груза в период движения по проводникам;

– исключать самопроизвольное открывание затвора;

– обеспечить свободную и полную разгрузку скипа;

– иметь минимальный вес и простоту конструкции.

По конструктивному исполнению затворы подразделяют на секторные, клапанные, шиберные и рычажные.

Большегрузный скип с секторным затвором и с устройством, предотвращающим измельчение угля, представлен на рис. 3.5, *а*.

Скип состоит из кузова *4*, рамы *3*, подвесного устройства *1* для головных канатов, подвесного устройства *7* для уравновешивающих канатов, устройства *8* для предохранения угля от измельчения, секторного затвора *6*, ходовых роликов *2* и башмаков *5*.

Кузов скипа представляет собой призматическую оболочку, имеющую сужение в нижней части под затвор и усиленную ребрами жесткости в поперечном направлении.

Рама скипа состоит из двух стоек, верхней и нижней поперечин. К верхней поперечине крепится подвесное устройство для головных канатов, а к нижней – уравновешивающих канатов.

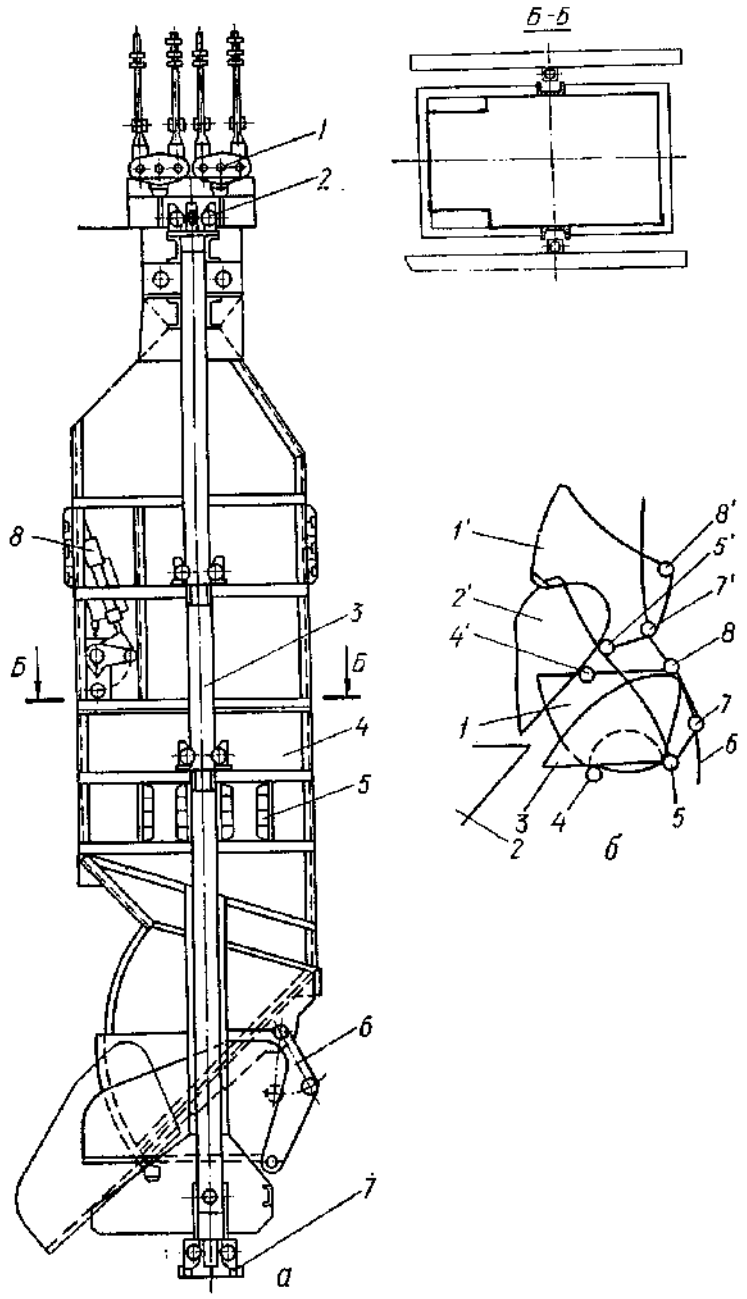


Рис. 3.5. Скип с неподвижным кузовом для вертикальных шахт:
а – общий вид скипа; *б* – схема разгрузки

В скипах большой грузоподъемности при загрузке происходит дробление насыпного груза в связи со значительной высотой падения. Поэтому при конструировании большегрузных скипов стремятся уменьшить высоту падения груза с помощью противодробящих устройств. Они представляют собой металлическую створку, удерживаемую в горизонтальном положении гидравлическим, пружинным или рычажным приводом. Под действием веса падающего в скип угля створка опускается, обеспечивая безударное просыпание его в нижнюю часть кузова. Общими недостатками всех противодробящих

устройств являются значительный их вес, утяжеляющий скип, и необходимость увеличения объема скипа для размещения в нем противодробящего устройства. На скипах с высотой падения угля менее 4-х метров противодробящие устройства, как правило, не применяются.

На рис. 3.5, *б* показана схема срабатывания секторного затвора *1*, поворачивающегося на оси *8*, укрепленной на кузове скипа. К затвору *1* подвешивается на оси *5* разгрузочный лоток *3*, поддерживаемый в закрытом положении опорными роликами *4*. Ось роликов укреплена в нижней части рамы скипа. При разгрузке скипа ролик *7* секторного затвора, попадая на разгрузочную кривую 6, перемещается в положение *7′* и поднимает затвор *1′* , открывая впускное отверстие. Одновременно лоток сдвигается вперед и, обкатывая опорные ролики *4′*, отклоняется вниз в положение *2′* и направляет поток угля в бункер *2*. При открытом затворе оси *5* и *8* занимают соответственно положения *5′* и *8′*.

При увеличении грузоподъемности скипов проявляются основные недостатки секторных затворов: большой вес, сужение в нижней части кузова, вызывающее концентрацию напряжений в его стенках, большой путь открывания и в связи с этим значительная динамичность, особенно при повышенных скоростях подъема.

Клапанный затвор получил широкое распространение на угольных скипах. Он требует меньшего сужения в нижней части скипа, а его разгрузочное отверстие имеет значительно большие размеры, чем у скипа с секторным затвором. Это обеспечивает быструю разгрузку и уменьшает концентрацию напряжений в месте крепления затвора. При этом значительно снижается собственный вес скипа.

На рис. 3.6, *а* представлена конструкция клапанного затвора, состоящего из лотка *6*, замкового механизма *5* и защелки *2*. Лоток представляет собой сварную конструкцию, футерованную сменными стальными листами. Замковый механизм удерживает лоток в закрытом положении. Он состоит из двух запорных рычагов, подвешенных при помощи шарниров и тяг к наклонной части днища кузова. Защелка затвора *2* выполняет роль дублирующего устройства. Она удерживает лоток в закрытом положении и автоматически срабатывает при подходе скипа к приемному бункеру.

При подъеме скипа к месту разгрузки ролики *3* и *4* входят в разгрузочные кривые, установленные на копре, и отводят замковый механизм в положение «открыто». Под действием веса сыпучего груза лоток поворачивается на шарнире 1 на угол 125° против часовой стрелки и открывает выпускное отверстие кузова. После разгрузки скип,

двигаясь вниз, возвращает затвор и затворные механизмы в положение «закрыто».

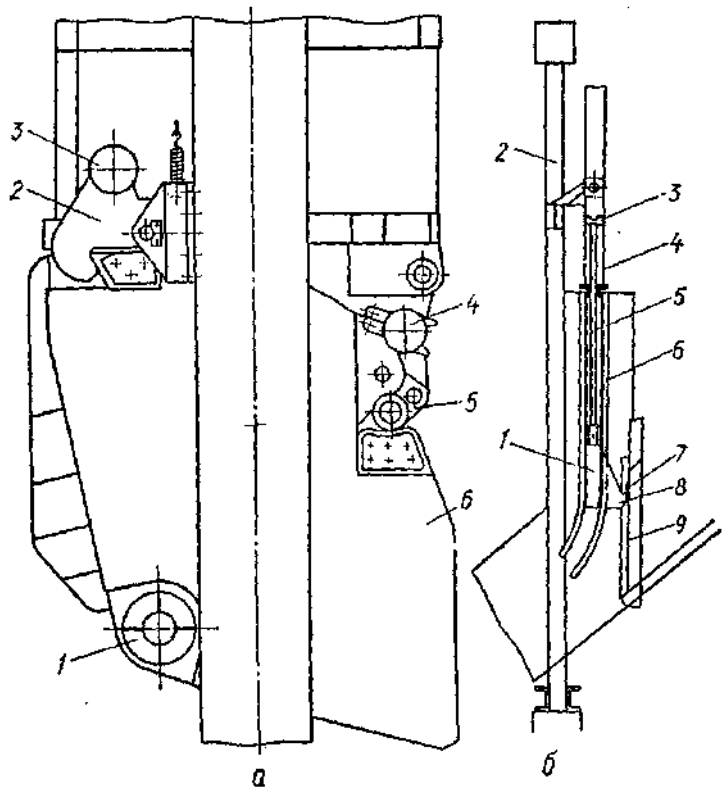


Рис. 3.6. Конструкции клапанного (*а*) и шиберного (*б*) скиповых затворов

Шиберный затвор представляет собой плоскую заслонку, передвигающуюся вверх и вниз в направляющих, укрепленных в боковых стенках выпускного отверстия скипа. В закрытом положении шибер является частью стенки кузова скипа, воспринимает все действующие нагрузки и выполняет роль элемента несущей конструкции. Шибер обычно изготавливается из листовой стали значительной толщины, закрывается под действием собственного веса, не требует сужения кузова под затвор и не выходит за габариты скипа. Шиберные затворы могут иметь пневматический, электрический и механический приводы для их открытия.

Наиболее часто шиберные затворы имеют пневматический привод, укрепленный на копре (рис. 3.6, *б*). К металлической раме *2* прикреплен пневматический цилиндр 4 с поршнем *3*. К штоку поршня *5* в нижней части присоединяется каретка *1*, передвигающаяся в направляющих *6*. При подходе к месту разгрузки скип автоматически включает впуск воздуха в цилиндр *4*. Каретка *1* поднимается в направляющих и своим

упором *8* цепляется за выступ *7* шиберного затвора *9*, который, поднимаясь, открывает разгрузочное отверстие скипа.

Применение шиберного затвора позволяет значительно уменьшить собственный вес скипов, исключить возможность самопроизвольного открывания затвора, создать равнопрочностную конструкцию и улучшить эксплуатационные характеристики скипов.

В России наиболее широкое распространение получили скипы с секторными затворами, остальные конструкции скипов широко применяются в Западной Европе, Америке и Южной Африке.

Скипы с отклоняющимся кузовом не нашли широкого применения и функционируют лишь на одноканатных подъемных установках старых шахт.

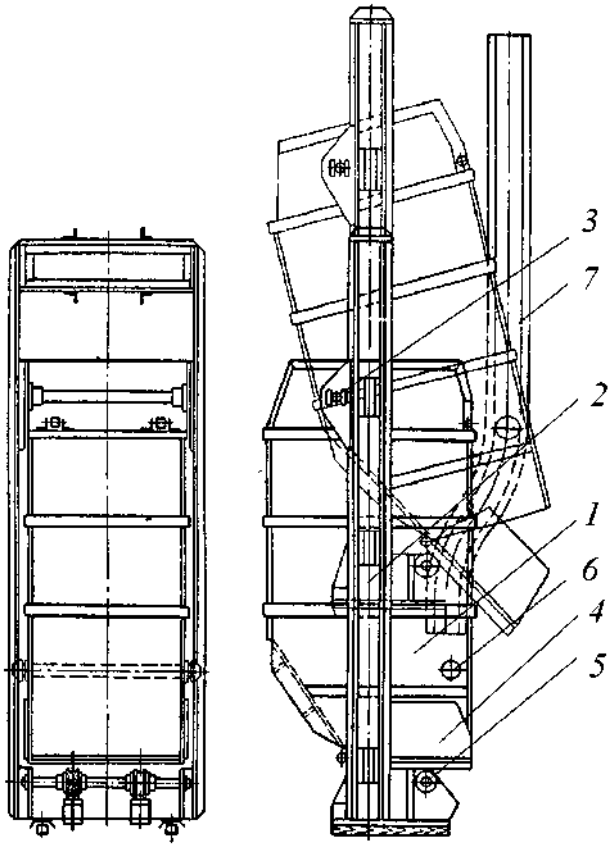


Рис. 3.7. Скип с отклоняющимся кузовом в транспортном положении и при разгрузке

Кузов такого скипа (рис. 3.7) представляет собой сварной короб *1*, который подвешен к раме 2 на смещенной к задней стенке оси *3*. Выпускное донное отверстие закрывается откидным днищем – клапаном *4*, шарнирно закрепленным на скосе задней стенки и лежащим на роликах *5* опорной оси. Когда сосуд подходит к приемному бункеру, разгрузочные ролики *6* входят в отклоняющие кривые *7*, в результате чего кузов поворачивается вокруг оси и отклоняется от транспортного положения. При этом откидное днище, прокатываясь по опорным роликам вперед, открывается, образуя в крайнем положении с задней наклонной стенкой кузова наклоненную под углом 45° плоскость выпуска.

Поскольку ось подвески кузова смещена относительно его центра тяжести, то при этом постоянно действует восстанавливающий момент от веса кузова, направленный на возвращение кузова в транспортное положение и закрывание затвора. Это надежно предохраняет скип от самопроизвольной разгрузки.

Ограниченное применение скипов такой конструкции объясняется, прежде всего, их недостаточной конструктивной жесткостью и относительно большими динамическими нагрузками, возникающими при входе в разгрузочные кривые.

Наличие периода дотяжки скипа при входе в разгрузочные кривые на малой скорости усложняет тахограмму подъема, увеличивает время разгрузки и требует увеличения высоты копра.

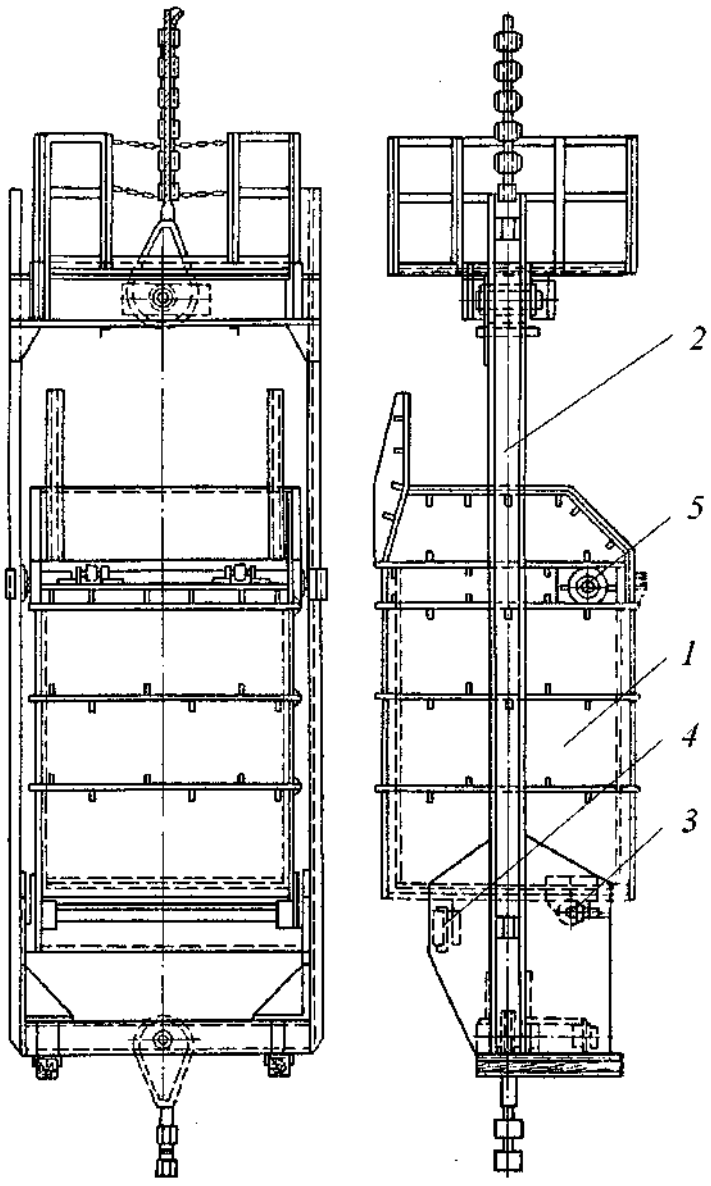


Рис. 3.8. Общий вид опрокидного скипа

Опрокидные скипы (рис. 3.8) применяются только на одноканатных подъемных установках небольшой производительности.

Основными узлами являются кузов и несущая рама.

Кузов *1* выполнен в виде призматического короба с горизонтальным глухим днищем. Он размещен на раме *2* и опирается на ее нижний пояс в двух местах: со стороны передней стенки на донную ось *3*, вокруг которой производится опрокидывание; со стороны задней стенки в вертикальном транспортном положении – днищем на поперечную балку *4* нижнего пояса рамы.

В верхней части кузова на боковых стенках укреплены разгрузочные ролики *5*, посредством которых в разгрузочных кривых осуществляется опрокидывание скипа. На задней стенке кузова имеются специальные полки, которыми скип при опрокидывании опирается на копровые поддерживающие ролики для перехода на вертикальную часть разгрузочных кривых.

При разгрузке скипа ролики входят в разгрузочные кривые, укрепленные на копре, и выводят кузов из рамы, заставляя его поворачиваться вокруг своей опорной оси. В конечном положении кузов, опрокинувшись на 135°, разгружается через верхний срез передней стенки. После разгрузки рама скипа опускается по проводникам вниз и кузов занимает транспортное положение.

Опрокидные скипы отличаются простотой конструкции. Их применяют для подъема полезного ископаемого с большим содержанием мелких классов при высокой влажности, разгрузка которых через нижний затвор затруднительна, а также на шахтах и рудниках, расположенных в условиях севера, где возможно смерзание полезного ископаемого или породы.

Этим скипам присущи все отмеченные выше недостатки скипов с отклоняющимся кузовом. Особенно неблагоприятно на параметры подъемной установки и копер влияет большой путь разгрузки, который определяется высотой кузова и несоразмерно увеличивается с ростом грузоподъемности. Отмеченные конструктивные недостатки, а также большой собственный вес скипа, сложные и мощные разгрузочные кривые, большой дополнительный объем надшахтного сооружения в зоне разгрузки ограничивает емкость сосудов этого типа. Поэтому на новых и реконструируемых шахтах опрокидные скипы практически не применяются.

Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах запрещается спуск и подъем людей в скипах, за исключением случаев осмотра и ремонта ствола и аварийных случаев. Ремонт и осмотр ствола разрешается производить с крыши незагруженного скипа, при этом люди должны прикрепляться к канату предохранительными поясами и должны быть защищены от случайно падающих предметов постоянно закрепленными защитными зонтами.

Преимущества скипов по сравнению с клетями: удобство загрузки и разгрузки, позволяющее полностью автоматизировать эти процессы, большая производительность оборудованных скипами подъемных установок; небольшая масса по отношению к поднимаемому грузу; проще и дешевле поверхностный комплекс, так как отсутствует обмен вагонеток; сравнительно небольшая чувствительность скиповых установок к неравномерности работы подземного транспорта.

Недостатки скипов – невозможность подъема и спуска в них людей и оборудования; необходимость оборудования загрузочного устройства; большое дробление руды при загрузке и разгрузке; затруднения в выдаче руды различных марок или породы.

Загрузка скипов производится в специальных загрузочных устройствах, расположенных в непосредственной близости от ствола шахты (рис. 3. 9).

В скиповых подъемных установках вагонетки *1* разгружаются в опрокидывателе *2* околоствольного двора в приемный бункер *4*, заполнение которого контролируется датчиками *3* и *5*. Далее руда самотеком поступает через впускной секторный затвор *6* в дозатор *7*, откуда через выпускной секторный затвор *8* и выдвижной лоток *9* в скип *10*. При необходимости дробления полезного ископаемого перед загрузкой в скипы вагонетка разгружается в приемный бункер дробильного устройства.

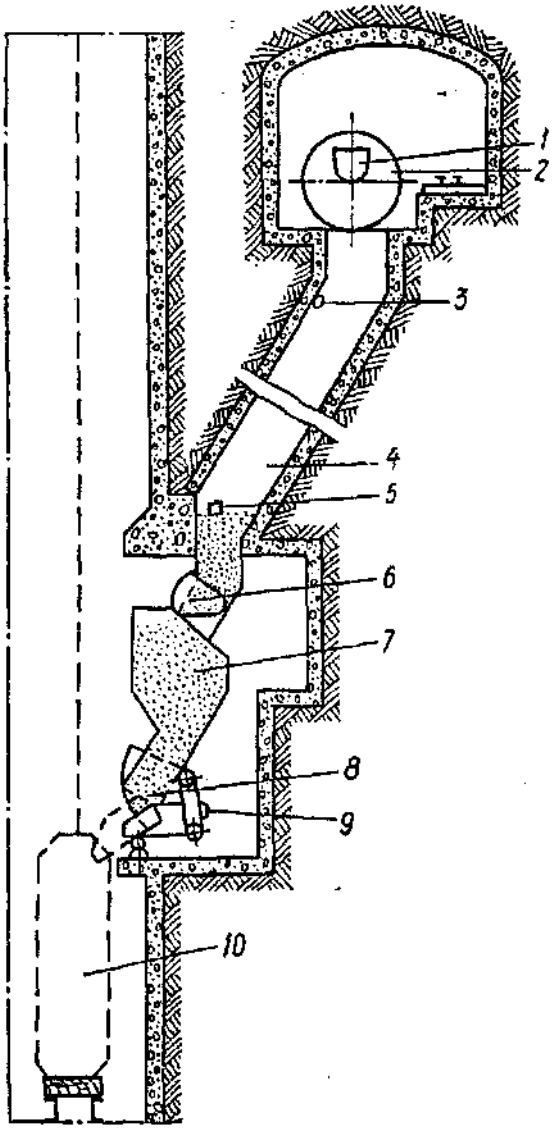


Рис. 3.9. Загрузочные устройств для скипов большой емкости с дозатором

При подходе к месту загрузки скипа *10* затвор *6* закрывается, открывается затвор *8* и выдвигается лоток *9*, по которому горная масса поступает в скип. К загрузочным устройствам предъявляют два наиболее важных требования: точная дозировка порций, подаваемых в скип, и обеспечение необходимой герметизации при загрузке скипа и при закрытом загрузочном устройстве. В данном случае герметизация ствола достигается образованием подушки груза в бункере.

Загрузочные устройства могут обеспечивать массовую и объемную дозировку скипа, причем загрузочные устройства с объемным дозированием способны обеспечить большую точность загрузки скипа.

Для разгрузки скипов (и опрокидных клетей) на поверхности шахты оборудуют разгрузочные устройства, состоящие из двух разгрузочных рукавов с герметизирующими затворами, приемного бункера и разгрузочных

кривых, смонтированных на копре. При подходе скипа (или опрокидной клети) к разгрузочным кривым отклоняющий ролик входит в них, и происходит открывание секторного затвора скипа (или опрокидывание платформы клети). К этому времени герметизирующий затвор разгрузочного рукава автоматически открывается и руда из скипа (клети) по свободному рукаву поступает в бункер. По окончании разгрузки скип (клеть) начинает опускаться, и отклоняющий ролик, двигаясь по разгрузочным кривым, возвращает секторный затвор скипа (опрокидную платформу) в исходное положение. Одновременно закрывается герметизирующий затвор разгрузочного рукава. Сжатый воздух из пневматического цилиндра расходуется только для открывания затворов, закрывание их происходит под действием собственного веса при выпуске воздуха из цилиндра.

Проходческие подъемные сосуды

Бадьи применяют при проходке и углубке стволов шахт для спуска–подъема людей и транспортирования породы, материалов и оборудования.

По конструкции бадьи подразделяют на неопрокидные, опрокидные и самоопрокидывающиеся.

Бадья (рис. 3.10, *а*) состоит из сварного кузова *1* и дуги *2*. Кузов и днище бадьи изготавливают из листовой стали толщиной соответственно 6-8 и 10-12 мм.

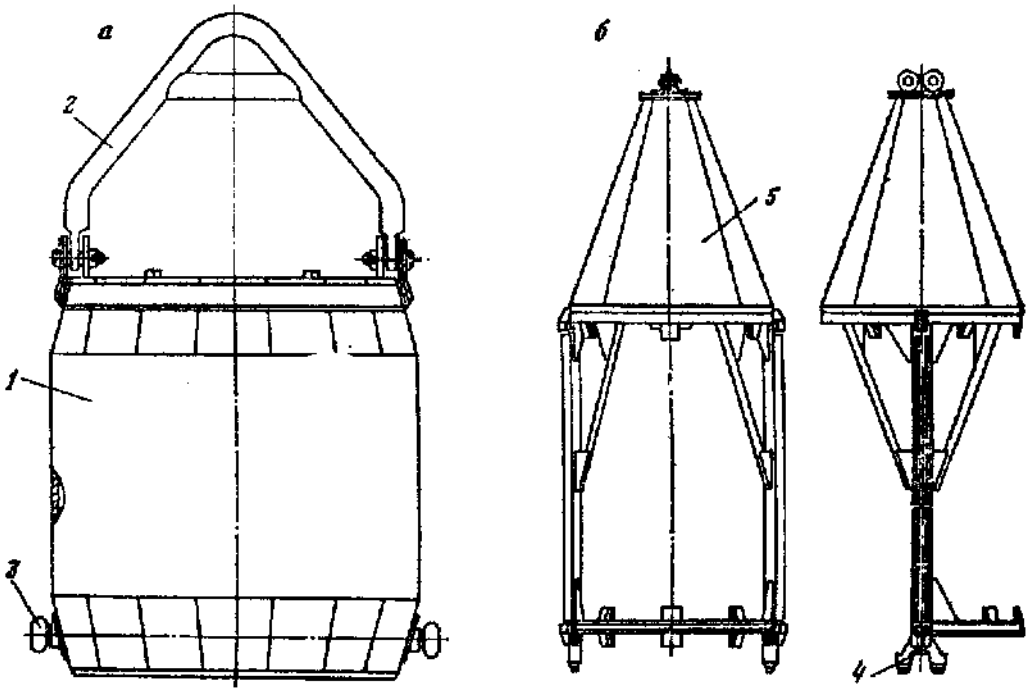


Рис. 3.10. Опрокидная бадья

Опрокидная бадья в нижней части кузова имеет две цапфы *3*, вокруг которых она поворачивается при разгрузке. Цапфы входят в гнезда *4* направляющей рамки, которая перемещается в проводниках, обеспечивающих устойчивое положение бадьи при движении ее по стволу. Для предохранения людей, находящихся в бадье, от случайно падающих предметов направляющая рамка имеет зонт *5*.

Неопрокидная бадья по конструкции аналогична самоопрокидывающейся. Однако у нее отсутствуют цапфы, а для разгрузки ее на днище закреплены два кольца.

При подъеме и спуске людей в бадьях по ПБ требуется, чтобы бадьи двигались по направляющим или в отделениях, обшитых досками на всем протяжении (допускается движение без направляющих или в необшитом отделении на расстоянии не более 20 м от забоя); над бадьями устанавливают предохранительные зонты; применяют некрутящиеся канаты. Запрещается подниматься или опускаться стоя или сидя на краю бадьи и в груженой бадье. Число одновременно находящихся в бадье людей определяют из расчета четыре человека на 1 $м^2$ днища.

Кроме бадей на проходческих подъемах могут использовать проходческие клети. По конструкции они аналогичны обыкновенным клетям, за исключением того, что они имеют значительно меньшие размеры и в их конструкции отсутствуют парашютные устройства. Проходческие клети имеют двойную независимую подвеску и двигаются по стволу по специальным уравновешивающим канатам.

Требования Правил безопасности к конструкциям подъемных сосудов

Спуск и подъем людей по вертикальным выработкам должны производиться в клетях. При проходческих работах в вертикальных выработках спуск и подъем могут производиться также и в бадьях.

Клети, служащие для спуска и подъема людей, должны иметь сплошные металлические открывающиеся крышки или крышки с открывающимся лазом, а также сплошной прочный пол. Допускается иметь в полу надежно укрепляемые съемные части или откидные ляды в местах, необходимых для осмотра стопорных устройств. Длинные стороны (бока) клетей должны обшиваться на полную высоту металлическими листами с отверстиями. В клети вдоль длинных сторон должны быть установлены поручни.

С коротких (торцевых) сторон клети должны быть устроены двери, предотвращающие возможность выпадения людей из клети. Конструкция дверей не должна допускать соскакивания их при движении клетей. Двери должны открываться внутрь клети и запираться засовом, расположенным снаружи. При обслуживании клети сопровождающим (лифтером) засов двери может устанавливаться внутри клети.

Высота верхней кромки двери над уровнем пола клети должна быть не менее 1200 мм и нижней кромки – не более 150 мм. В клети должны быть устроены стопоры, обеспечивающие надежное задержание вагонеток при движении клети по стволу.

Грузовые и грузолюдские клети должны иметь подвесные устройства для подъема и спуска крупногабаритного оборудования и длинномерных материалов под клетью, а двери и ограждающие устройства должны быть несъемными.

Расстояние в верхнем этаже клети от пола до наиболее выступающих под крышей клети ее деталей должно быть не менее 1,9 м без учета основного стержня с пружиной. Стержень с пружиной должен быть обязательно огражден предохранительным стаканом. Высота остальных этажей клети должна быть не менее 1,8 м.

На всех приемных площадках должны быть вывешены таблицы с указанием допустимой загрузки клетей, а для подъемных установок со шкивами трения - указания об одновременной загрузке обоих клетей для предотвращения опасности скольжения.

Запрещается спуск и подъем людей в скипах, за исключением случаев осмотра и ремонта ствола, а также в аварийных ситуациях.

В стволах, оборудованных двумя и более подъемными установками, предназначенными для спуска и подъема людей и груза, работа грузовых подъемов в часы спуска-подъема смены запрещается.

Практическая работа № 4

КОНСТРУКЦИИ ПОДВЕСНЫХ УСТРОЙСТВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Назначение и классификация подвесных устройств.
2. Конструкции подвесных устройств подъемных сосудов и область их применения.
3. Требования Правил безопасности, предъявляемые к подвесным и прицепным устройствам.

Подвесные устройства предназначены для присоединения канатов к шахтным подъемным сосудам.

Подвесное устройство подъемного сосуда состоит из прицепного устройства (коуша) и элементов конструкции подвески. Коуш – узел, служащий для соединения подъемного каната с подвеской (для запанцировки каната). Подвеска – это соединительные звенья подвесного устройства, при помощи которых прицепное устройство сцепляется с неразборной несущей конструкцией (подъемным сосудом).

Классификация подвесных устройств шахтных подъемных сосудов для вертикальных стволов приведена на рис. 4.1.

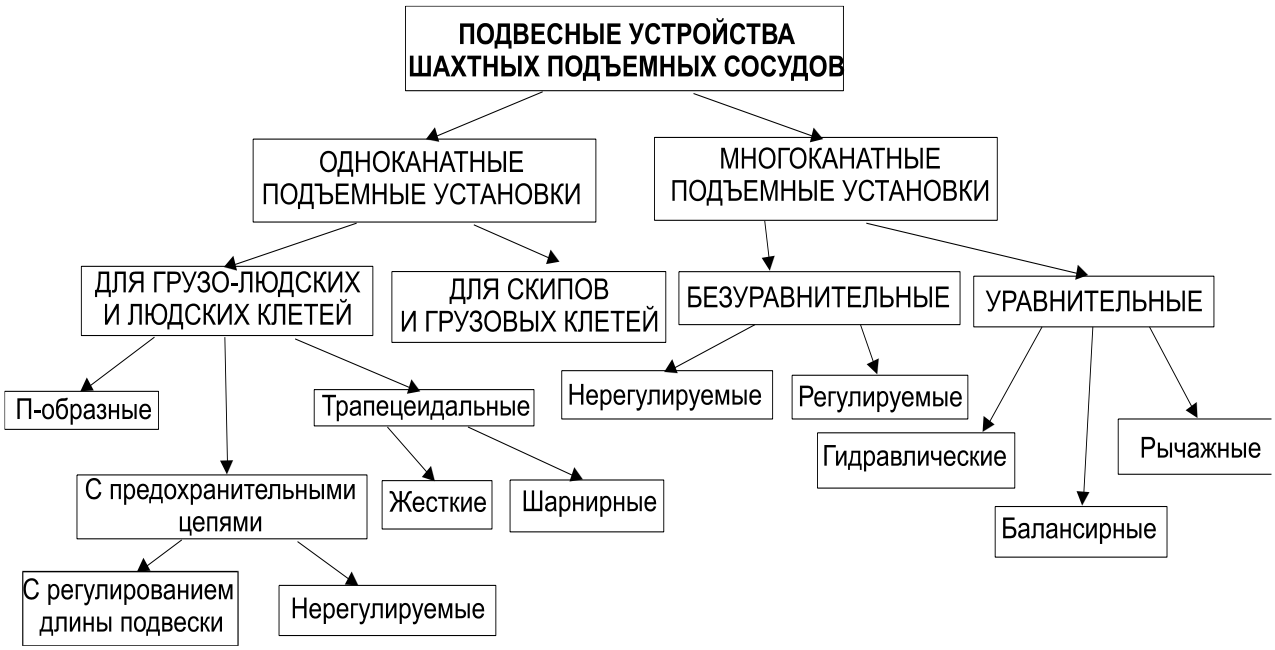


Рис. 4.1. Классификация подвесных устройств

Основными типами прицепных устройств являются грушевидные, рычажно-клиновые и клиновые безжимковые коуши.

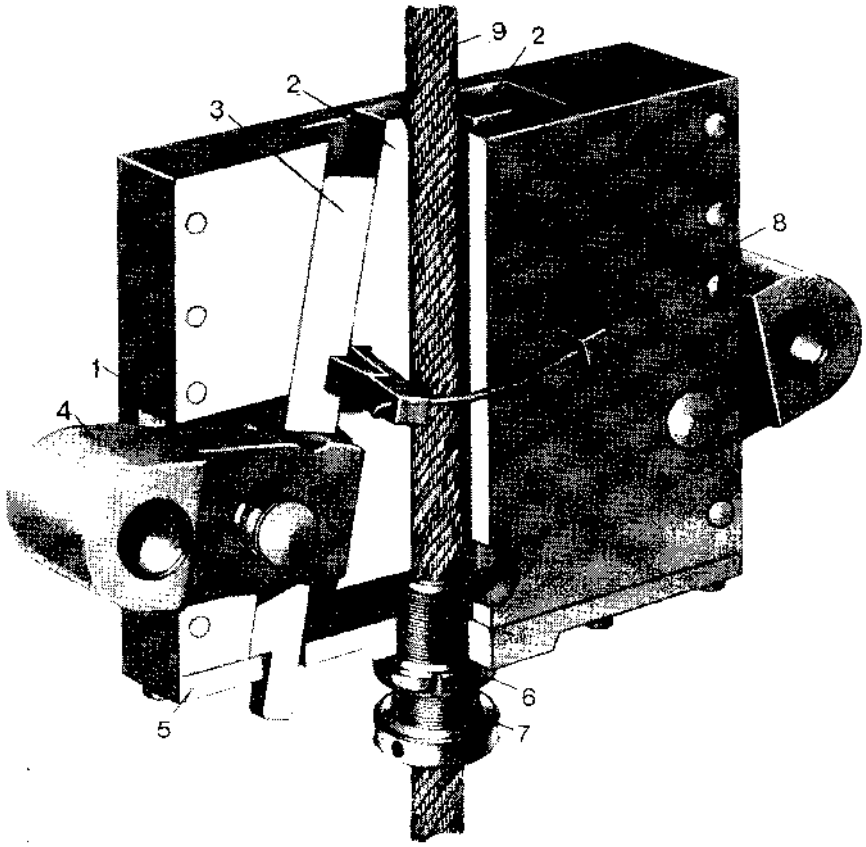


Рис. 4.2. Клиновой коуш типа КРГ

Коуш рычажно-клиновой (КРГ) (рис. 4.2) состоит из корпуса *1*, двух вертикальных клиньев *2*, двух обратных клиньев *3*, двух эксцентриковых рычагов *4*, опоры *5*, гайки *6*, упорной втулки *7* и двух горизонтальных клиньев *8*. Корпус коуша является основным узлом, в котором смонтированы все детали коуша. Вертикальные клинья служат для удержания подъемного каната *9* при работе. Поверхность вертикальных клиньев, охватывающая подъемный канат, термообработке не подвергается, что предохраняет канат от пережима отдельных проволок и прядей и увеличивает коэффициент трения сцепления между клиньями и канатом.

Горизонтальные клинья служат для предварительного зажатия подъемного каната путем подъема вертикальных клиньев, которые, скользя по наклонным плоскостям обратных клиньев, сжимают канат. Эксцентриковые рычаги являются связующим звеном между коушем и подвесным устройством подъемного сосуда. Обратные клинья предназначены для передачи усилий от эксцентриковых рычагов

вертикальным клиньям (через горизонтальные клинья), зажимающим подъемный канат, и быстрого освобождения каната.

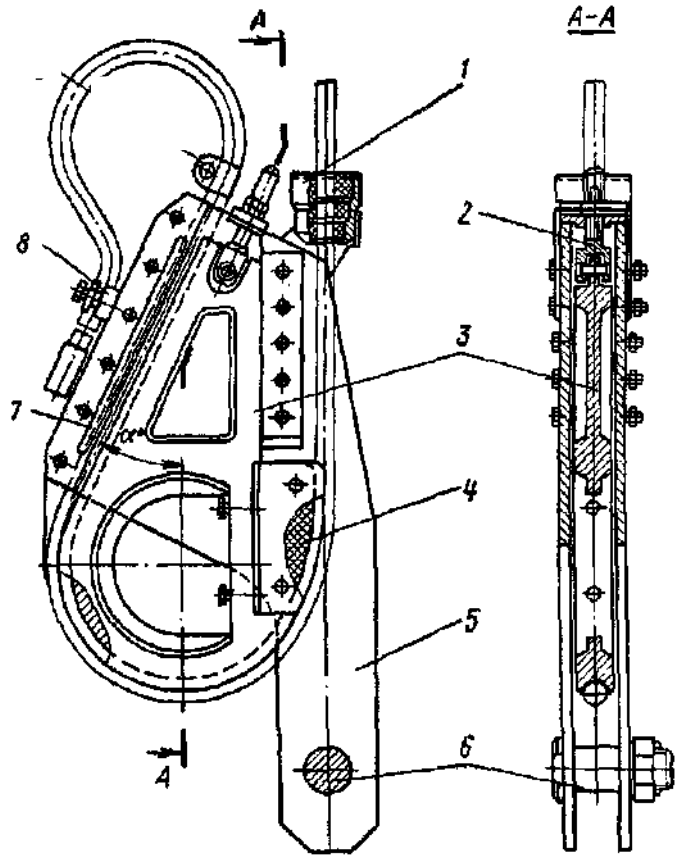


Рис. 4.3. Коуш клиновой безжимковый типа ККБ:
1 – гаситель поперечных колебаний каната; *2* – винтовое натяжное устройство; *3* – подвижный клин; *4* – футеровочная вставка; *5* – щека корпуса; *6* – присоединенный палец; *7* – опорный вкладыш; *8* – скоба крепления свободного конца каната

Упорная втулка служит для подъема и опускания вертикальных клиньев при перепанцировках подъемного каната и предотвращения расклинивания коуша при напуске головного каната. Положение подъемного каната в коуше определяется по контрольному зажиму *7* (см. рис. 4.2), устанавливаемому на 40 мм ниже коуша.

Коуш клиновой безжимковый (ККБ) с односторонним зажатием каната обеспечивает надежную запанцировку и высокую работоспособность канатов, как прядевой, так и закрытой конструкции. В корпус коуша ККБ (рис. 4.3) входит подвижный клин. Щеки корпуса выполнены из листовой стали и соединены болтами через вкладыши. В верхней части корпуса коуша смонтирован гаситель поперечных колебаний. Подвижный клин состоит из корпуса, съемной футеровочной встав-ки и прокладок. На выходе холостой ветви каната из коуша имеется контрольный хомут проскальзывания каната.

Головные подвесные устройства для сосудов одноканатного вертикального подъема

Подвесное устройство с предохранительными цепями и нерегулируемой рабочей подвеской (рис. 4.4) состоит из трех основных частей: коуша *1*, основной центральной подвески и предохранительных

устройств, являющихся запасной подвеской, связывающей коуш с клетью.

Коуш представляет собой грушевидное тело с несимметрично расположенной осью вращения. Подъемный канат огибает коуш с пологой стороны, чтобы вес подъемного сосуда передавался на рабочую ветвь каната, а не на его короткий конец, скрепляемый с рабочей ветвью специальными зажимами (жимками) *2*. Клеть присоединяется к подвесному устройству через массивные проушины, приклепываемые к вертикальным стойкам и верхнему поясу клети в месте их сопряжения.

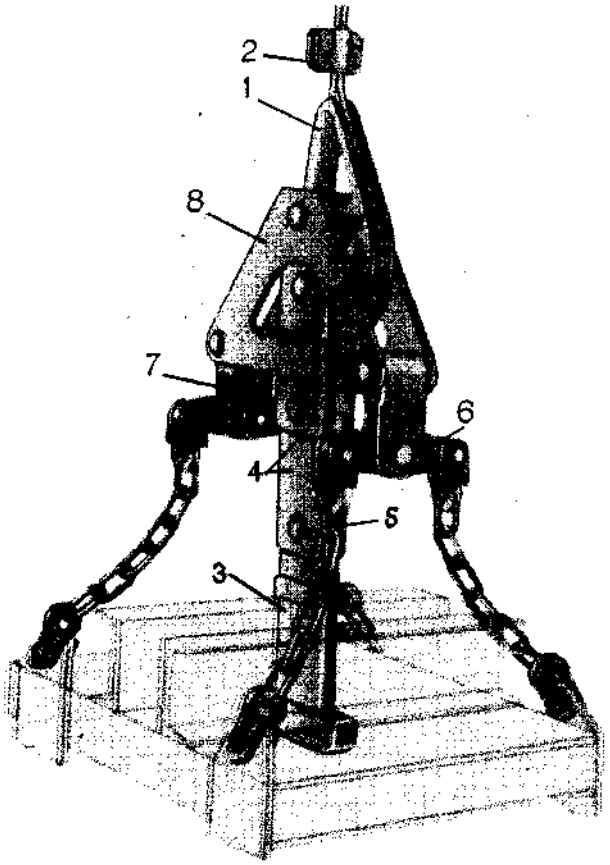


Рис. 4.4. Подвесное устройство нерегулируемое с предохранительными цепями

Основная подвеска представляет собой вертикальную штангу *3*, проходящую через центр клети и присоединенную шарнирными звеньями *4* к нижнему пальцу коуша. Нижний конец штанги проходит через пружину парашютного устройства и сжимает ее при натянутом подъемном канате.

Запасная подвеска представляет собой четыре корабельные цепи *5*, подвешенные попарно к двум траверсам *6*, которые через петли *7* прикреплены шарнирно к коромыслу *8*, присоединенному к верхнему пальцу коуша.

Детали основной подвески служат для удержания приводной пружины парашюта в сжатом состоянии, вследствие чего обрыв подъемного каната или разрушение какой-либо детали основной подвески вызовет обязательное срабатывание парашюта.

Подвесное устройство с предохранительными цепями и регулируемой рабочей подвеской (рис. 4.5) состоит из коуша *1*, траверсы *2*, регулировочных винтов *3*, штанги *4* и предохранительных цепей *5*. Такое подвесное устройство применяется для клетей на подъемах со шкивом трения и предназначается для регулирования длины подъемного

каната. Подъемный канат после навески удлиняется под действием собственного веса, веса клети и инерционных сил, возникающих при движении и остановке подъемного сосуда.

За время эксплуатации в зависимости от глубины шахтного ствола удлинение подъемного каната может достигнуть нескольких метров, в результате чего нарушится нормальная работа подъема. В этом случае при установке клети под разгрузку на верхней приемной площадке нижняя клеть будет находиться ниже уровня приемной площадки околоствольного двора на величину удлинения подъемного каната. При этом одновременную загрузку и разгрузку подъемных сосудов осуществлять нельзя и для раздельного выполнения этих операций необходимо маневрировать подъемной машиной. Наличие регулировочных винтов позволяет регулировать положение клетей относительно приемных площадок, компенсируя длину подъемного каната при его вытяжке до 1 м.

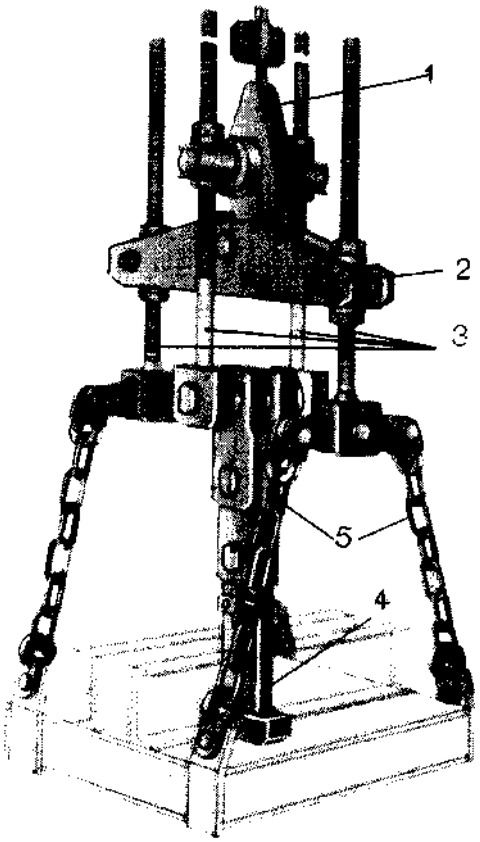


Рис. 4.5. Подвесное устройство регулируемое с предохранительными цепями

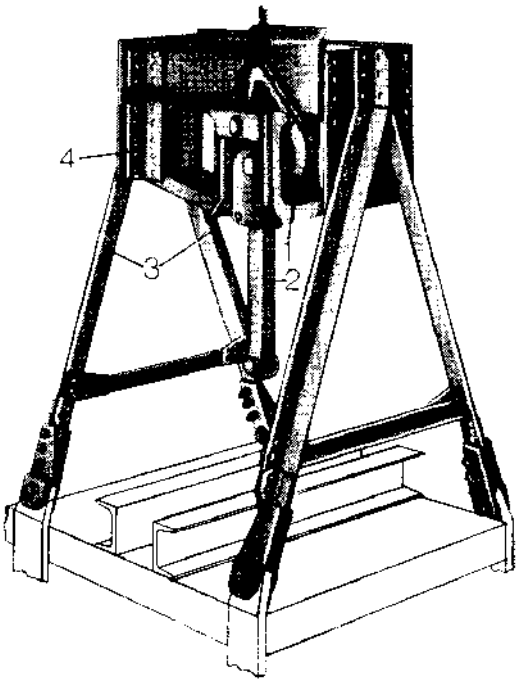


Рис. 4.6. Подвесное устройство шатровое

Подвесные устройства с предохранительными цепями представляют собой эластичную

конструкцию, позволяющую коушу отклоняться от вертикальной оси при движении клети в стволе. Подъемный канат и клеть при подвесном устройстве такого типа находятся в лучших условиях работы, чем при подвесных устройствах жесткого типа.

Трапецеидальное подвесное устройство жесткого типа (рис. 4.6) для парашютов типа ПТК (МПТ) жесткой конструкции состоит из коуша *1*, штанги *2* и двух основных угольников *3*. Основная подвеска состоит из коуша, рамы *4*, подвешенной к верхнему пальцу коуша, и основных угольников, присоединенных к проушинам клети.

Недостатком приведенного подвесного устройства является жесткость трапецеидальной фермы, которая вместе с парашютом во время движения клети совершает поперечные колебания, что приводит к разрушению раскосных угольников и проушин клети.

Трапецеидальное подвесное устройство шарнирного типа (рис. 4.7) состоит из верхней балки, шарнирно соединенной с четырьмя боковыми тягами, которые шарнирно прикреплены к проушинам клети. Данная конструкция имеет недостаток: стремление к закручиванию наклонных тяг при посадке клети на кулаки вследствие упругой закрутки каната, что приводит к изгибу и преждевременному выходу из строя тяг и штока.

П-образное шарнирное подвесное устройство с рычажно-клиновым коушем типа КРГ (рис. 4.8) позволяет устранить недостатки трапецеидальных подвесных устройств шарнирного типа. Данное подвесное устройство состоит из крыши *1*, балки *2*, шарнирно соединенной с двумя стойками *3*, направляющей *4* коуша, клинового регулируемого коуша *5*, двух кронштейнов

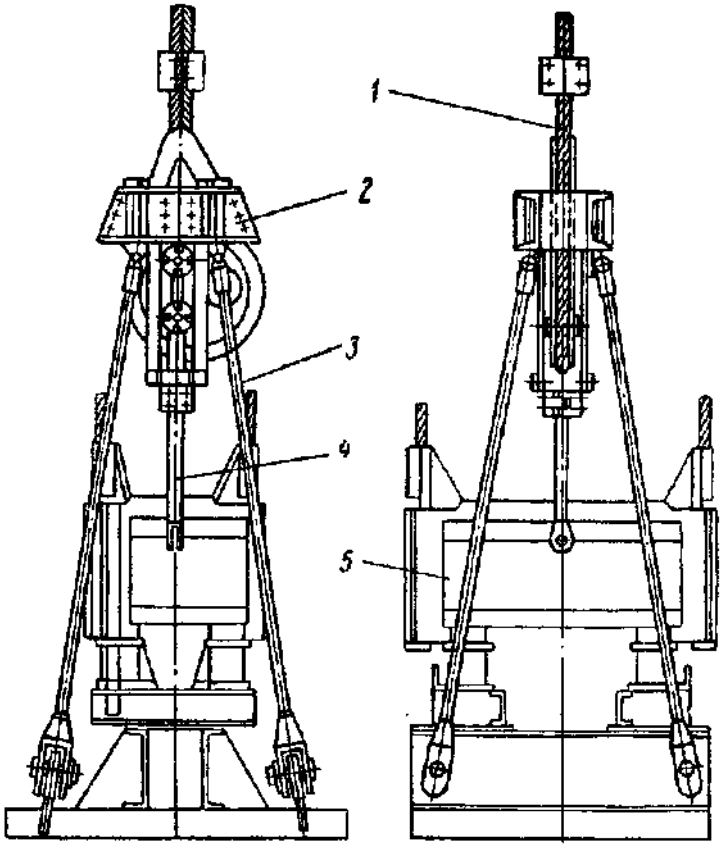


Рис. 4.7. Трапецеидальное подвесное устройство шарнирного типа:
1 – канат с жимками и грушевидным коушем;
2 – верхняя балка; *3* – боковые тяги с шарнирами;
4 – шток рабочей подвески; *5* – парашют

6, контрольного зажима *7* и траверсы *8*.

В соответствии с Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах подвесные устройства имеют две независимые подвески, соединяющие клеть с подъемным канатом *9*. Основная подвеска состоит из клинового коуша, направляющей коуша, балки и двух стоек, соединенных при помощи серег *10* с проушинами клети. Запасная подвеска состоит из клинового коуша, четырех тяг *11*, траверсы *8*, тяги и штока парашюта, соединенных с верхней балкой клети. Кронштейны *6*, устанавливаемые на клети, служат для удержания подвесного устройства в вертикальном положении.

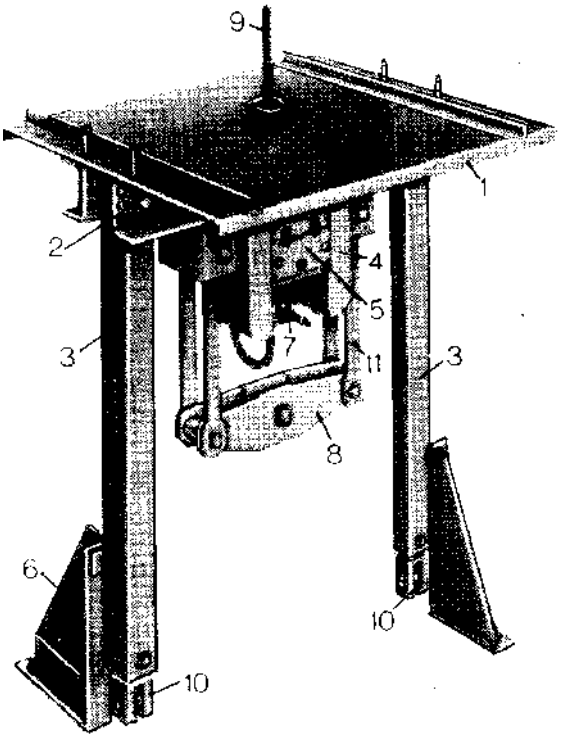


Рис. 4.8. П-образное шарнирное подвесное устройство для клетей

П-образные шарнирные подвесные устройства могут быть установлены на клетях с различными расстояниями между проушинами клети и различным типом применяемого парашюта благодаря изменению размеров между осями шарниров балок и вертикальных стоек.

Применение подвесных устройств с клиновым коушем позволяет увеличить высоту переподъема и срок службы подъемного каната, сократить расход подъемного каната, а также время и количество рабочих, занятых на перепанцировке каната.

Применение подвесных устройств шарнирного типа, имеющих возможность наклоняться в двух направлениях, улучшает условия эксплуатации и увеличивает срок их службы по сравнению с жесткими подвесными устройствами.

Подвесное устройство для скипов (рис. 4.9) в конструктивном решении существенно отличается от клетевых подвесных устройств.

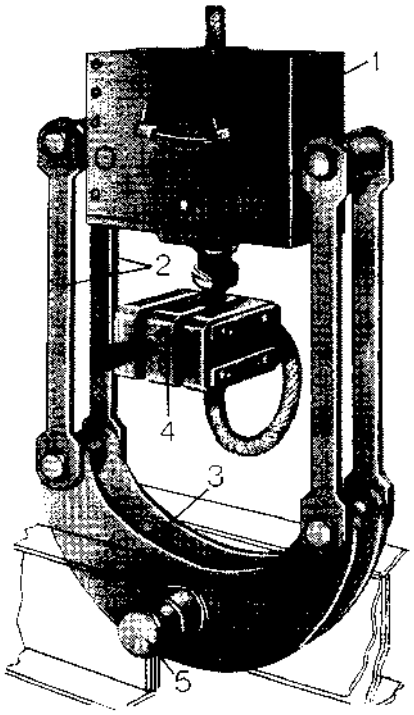


Рис. 4.9. Подвесное устройство для скипов

Подвесное устройство с коушем типа КРГ состоит из регулируемого коуша *1*, четырех тяг *2*, двух траверс *3*, соединенных между собой валиками, и контрольного зажима *4*. Валик *5* соединяет подвесное устройство с рамой скипа.

П-образные подвесные устройства (УПК) с коушами клиновыми безжимковыми с односторонним зажатием каната типа ККБ (рис. 4.10) являются наиболее совершенной конструкцией присоединения подъемных сосудов к головным канатам.

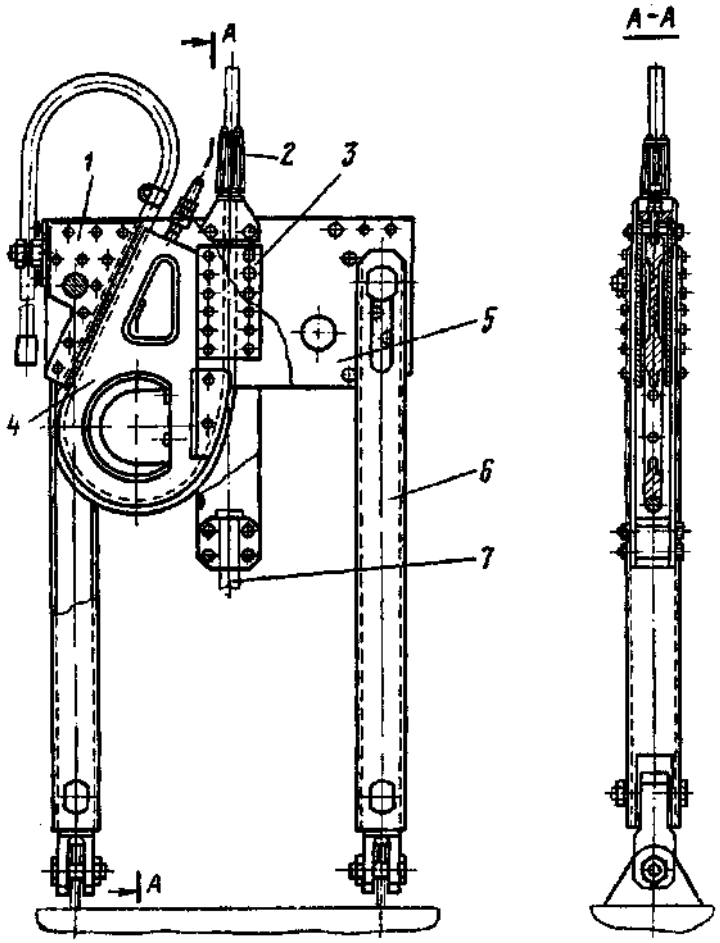
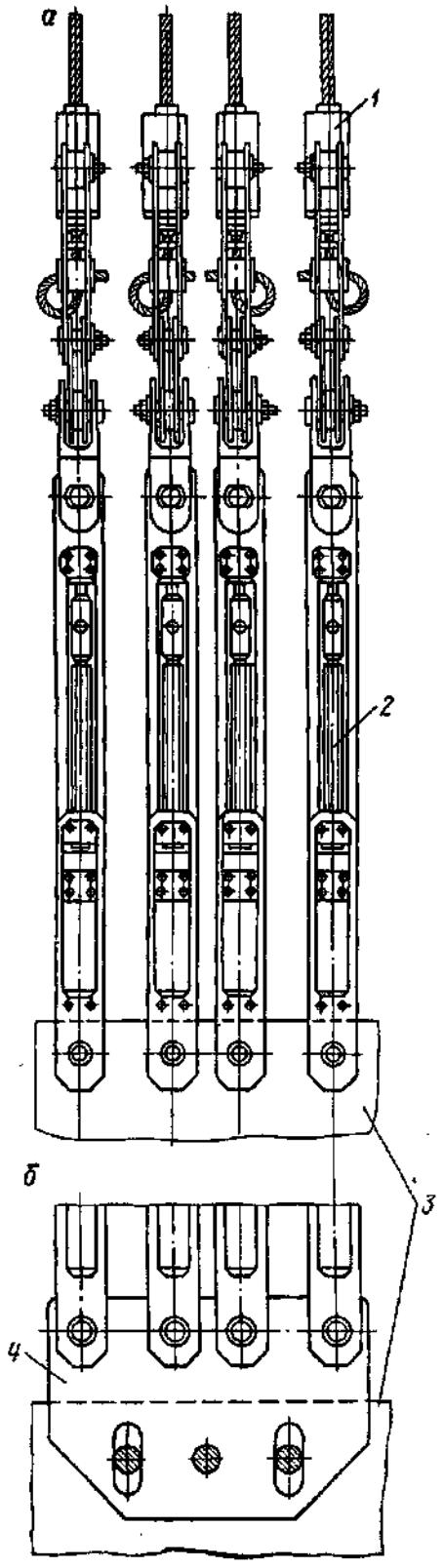


Рис. 4.10. Подвесное устройство типа УПК для клетей с коушем типа ККБ:
1 – наклонные вкладыши; *2* – канат с гасителем колебаний; *3* – вертикальные вкладыши; *4* – подвижный клин; *5* – верхняя балка; *6* – стойки; *7* – центральный шток

Подвесные устройства опрокидных клетей аналогичны подвесным устройствам, применяемым для неопрокидных клетей.

Головные подвесные устройства для сосудов многоканатного подъема

В отличие от подвесных устройств, применяемых на одноканатном подъеме, подвесные устройства многоканатного подъема требуют приспособления для выравнивания нагрузок между канатами. Поэтому подвеска сосуда может осуществляться прямым присоединением каждого каната (безуравнительные) или посредством специальных уравнительных устройств (уравнительные), предназначенных для равномерного распределения концевой нагрузки по канатам.



Выравнивание усилий между канатами производится двумя способами:

- периодической регулировкой натяжений канатов (при жестком креплении канатов к подъемным сосудам – безуравнительные подвесные устройства);
- применением специальных уравнительных устройств, устанавливаемых между сосудом и подъемными канатами.

Безуравнительные подвесные устройства.

Безуравнительные подвесные устройства могут быть с регулируемой или нерегулируемой подвеской.

В подвесных устройствах с регулирующим звеном регулирование длины канатов может осуществляться при помощи винтов, пальцев, вкладышей и гидравлических домкратов. Преимуществом винтовых устройств является возможность регулирования длины подъемных канатов под рабочей нагрузкой и с высокой степенью точности. Конструкция безуравнительного подвесного устройства сосуда четырехканатной подъемной установки со шкивом трения показана на рис. 4.11.

Рис. 4.11. Безуравнительное подвесное устройство с непосредственным присоединением к сосуду (*а*) и присоединением к сосуду через переходную траверсу (*б*)

Уравнительные подвесные устройства. При применении уравнительных подвесных устройств усилия между канатами выравниваются автоматически не только в момент остановки, но и при работе подъема, вследствие чего эксплуатация многоканатных подъемных установок существенно упрощается, а работоспособность канатов и футеровки шкива трения становится более продолжительной. Поэтому практическое применение в многоканатных подъемных установках получили подвесные уравнительные устройства.

Подвесные уравнительные устройства могут быть пружинными, гидравлическими, балансирными, рычажными и др.

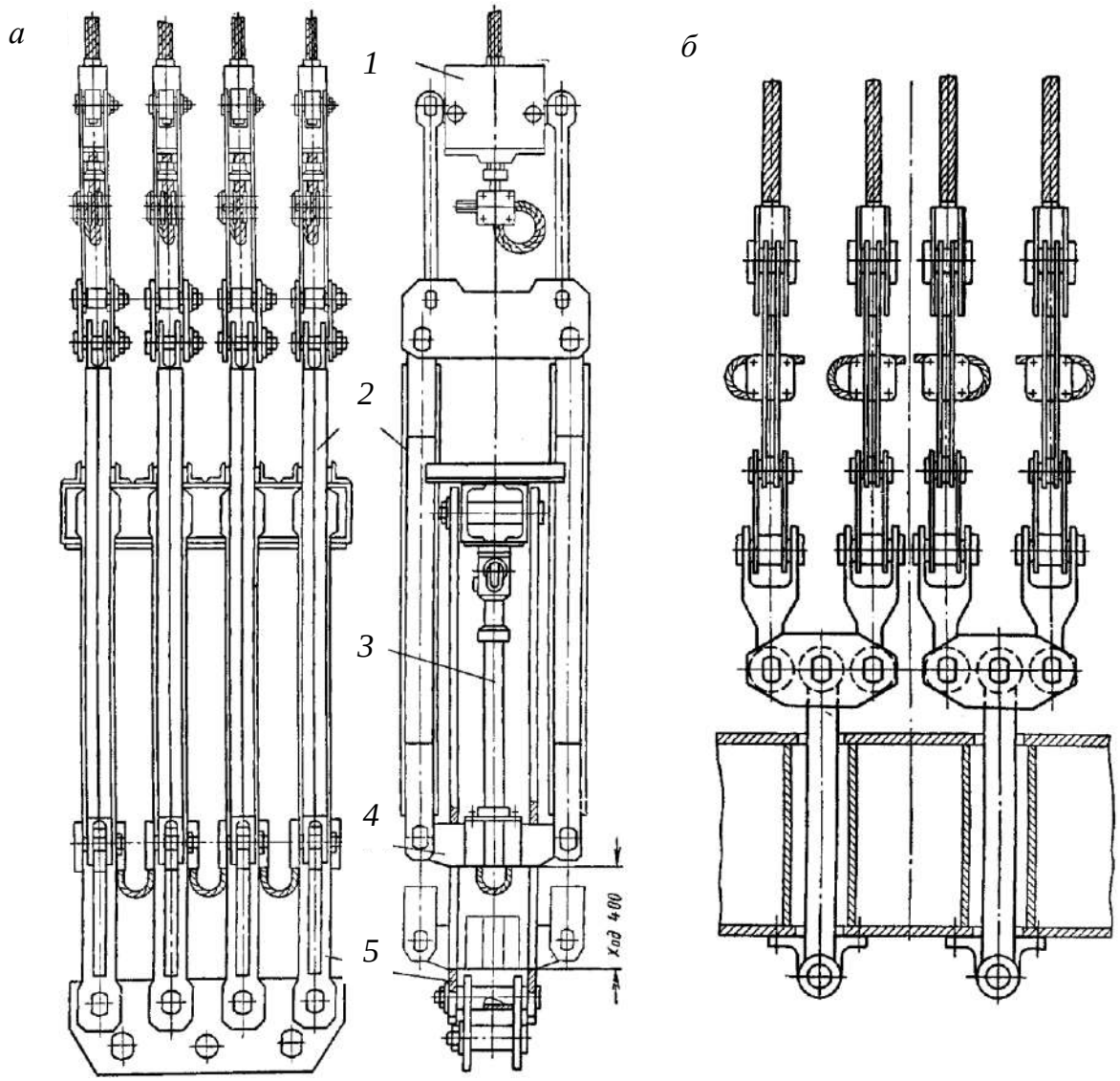


Рис. 4.12. Уравнительные подвесные устройства: гидравлическое (*а*) и балансирное (*б*):
1 – коуш; *2* – направление тяги; *3* – гидроцилиндр; *4* – нижняя траверса; *5* – подвесные серьги

На рис. 4.12, *а* показано гидравлическое подвесное устройство, в котором для выравнивания нагрузки между канатами в качестве подвесок применены гидродомкраты. Данное устройство обеспечивает полное выравнивание усилий между канатами, большие величины хода уравнителей, возможность применения при любом числе канатов и любом расстоянии между ними. Однако сложность конструкции и значительные ее масса и длина ограничивают область применения подвесного устройства данного типа.

Большее применение на шахтных многоканатных подъемных установках находят балансирные подвесные устройства (рис. 4.12, *б*). Преимуществом балансирных устройств является то, что перегрузка отдельных канатов не превышает 10-15 %, а также простота конструкции и незначительный вес.

Для выравнивания натяжений между парами подъемных канатов на подвесных устройствах верхние балансиры могут соединяться нижним балансиром.

Подвесные устройства для уравновешивающих канатов в конструктивном отношении очень просты, так как не требуют регулировки канатов и представляют собой коуш, прикрепляемый к подъемному сосуду шарнирно – непосредственно или через вертлюг.

Требования Правил безопасности, предъявляемые к подвесным и прицепным устройствам

Клеть для людских и грузолюдских подъемов должна иметь двойную независимую подвеску – рабочую и предохранительную.

Допускается отсутствие предохранительной подвески на многоканатных подъемах, независимо от их назначения, при условии крепления сосудов и противовесов к канатам не менее чем в двух точках. Противовесы одноканатных подъемов предохранительной подвеской не оборудуются.

Круглые уравновешивающие канаты должны прикрепляться к сосуду посредством вертлюжных устройств.

При навеске запасы прочности (по отношению к расчетной статической нагрузке) должны быть не менее:

а) 13-кратного для подвесных прицепных устройств людских подъемных установок, а также для прицепных устройств и дужек проходческих бадей;

б) 10-кратного для подвесных и прицепных устройств сосудов вертикальных подъемов и наклонных подъемов с концевыми канатами, независимо от их назначения, монорельсовых и напочвенных дорог, прицепных устройств стволового проходческого оборудования (полков, опалубок и т. д.) и уравновешивающих канатов подъемных установок. Запасы прочности прицепных устройств для уравновешивающих канатов должны определяться по отношению к их весу. Подвесные и прицепные устройства грузолюдских подъемных установок должны обеспечивать 15-кратный запас прочности по отношению к массе максимально спускаемого количества людей;

в) 6-кратного для прицепных устройств проводниковых и отбойных канатов, сцепных устройств вагонеток.

Каждый тип прицепного устройства должен обеспечивать прочность закрепленного в нем каната не менее 85 % агрегатной прочности нового каната.

Прицепные устройства бадей должны иметь приспособления, надежно закрывающие зев крюка во время движения бадьи и исключающие ее самопроизвольную отцепку.

Подвесные и прицепные устройства всех типов должны иметь маркировку с указанием заводского номера и даты изготовления.

Запрещается изготовление цепей, применяемых в качестве предохранительных подвесок, кузнечной сваркой и ручной электросваркой.

Практическая работа № 5
КОНСТРУКЦИИ ПАРАШЮТНЫХ УСТРОЙСТВ

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Назначение, классификация и общее устройство парашютов.
2. Конструктивные особенности типовых парашютных устройств.
3. Основные правила безопасной эксплуатации парашютных устройств.

В соответствии с требованиями ПБ на шахтах и рудниках России, клети людских и грузолюдских одноканатных подъемных установок вертикальных стволов обязательно оборудуют парашютами – специальными устройствами, предназначенными для улавливания, плавной остановки и последующего удержания клети при обрыве подъемного каната или подвесного устройства.

Парашютное устройство любой конструкции состоит из следующих основных элементов: ловителя, располагаемого на клети; привода, включающего ловитель в действие; опор для ловителя - элементов, за которые удерживается клеть; амортизатора устройства, обеспечивающего плавность остановки клети.

В зависимости от конструктивного исполнения все парашютные устройства можно разделить на две группы:

– парашютные устройства, осуществляющие улавливание клети за дополнительно навешиваемые тормозные канаты;

– парашютные устройства, осуществляющие улавливание клети за существующую армировку ствола (рельсовые или деревянные направляющие проводники).

В России на подъемных установках вертикальных стволов шахт применяют парашютные устройства следующих типов: МПТ (ПТК) – парашюты с двумя тормозными канатами на каждую клеть; ПКЛ – парашют для односторонних рельсовых проводников с одним тормозным канатом на каждую клеть; РКЭ – парашют для односторонних рельсовых проводников; ПДП – парашюты для деревянных проводников; ПШТП и ПКЛШ – парашюты для подъемников со шкивом трения.

Парашютное устройство типа МПТ (ПТК)

В России создана надежная в работе система парашютов типа МПТ (ПТК) с клиновыми зажимами и тормозными (опорными) канатами, получившая большое распространение на угольных шахтах.

Парашютное устройство типа МПТ (рис. 5.1) для одной клети состоит из ловителя *1*, устанавливаемого на крыше клети *2*, двух тормозных канатов *3*, навешиваемых на всю глубину ствола для каждой клети, амортизаторов *4*, устанавливаемых на копре *5*, натяжных устройств *6* создающих натяжение тормозных канатов, направляющих муфт *7*, предохраняющих детали ловителя от истирания тормозными канатами.

Подвесное устройство парашюта, выполненное в виде жесткой металлоконструкции из уголков и швеллеров, исключает возможность ударов по ловителю падающими в ствол предметами в период улавливания клети, предупреждая нарушения в работе ловителя.

При обрыве подъемного каната *8* (см. рис. 5.1) тормозные канаты захватываются ловителем парашюта и связывают клеть с тормозными устройствами парашюта – амортизаторами.

Верхними концами тормозные канаты присоединяются к амортизационным канатам *9* при помощи соединительных муфт *10*, нижними – закрепляются в зумпфе и натягиваются с усилием около 1 тс для уменьшения износа муфт и тормозного каната.

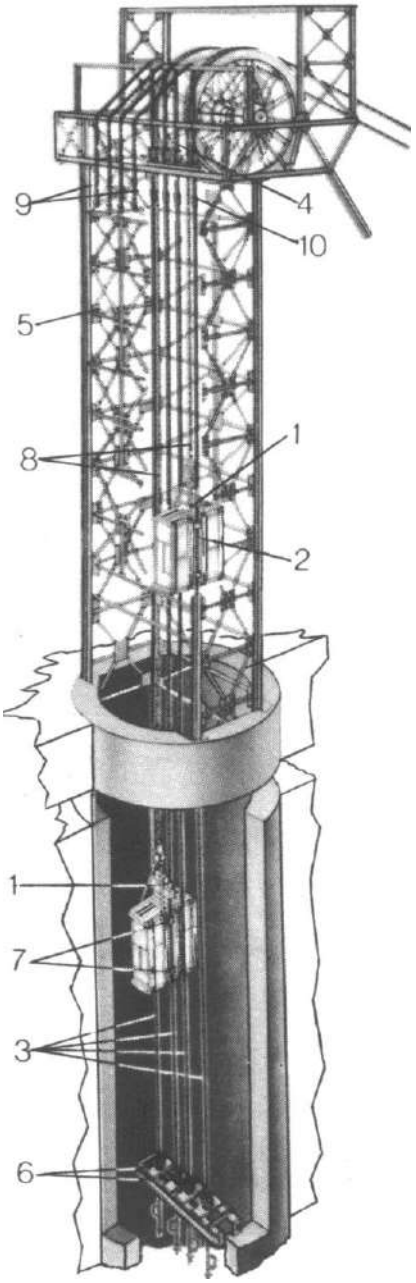


Рис. 5.1. Парашютное устройство типа МПТ (ПТК)

При креплении в натяжном устройстве оставляют в запас по 5 м каждого тормозного каната для периодических испытаний его.

Тормозные канаты выбираются по расчетной динамической нагрузке с трехкратным запасом прочности.

В парашютах типа МПТ (ПТК) механизмы ловителя и включающего устройства объединены.

Механизм ловителя (рис. 5.2) состоит из двух разъемных муфт *1*, двух подвижных клиньев *2*, двух рычагов *3*, двух серег *4*, траверсы *5* и соединительных балок.

Механизм включающего устройства состоит из опорной плиты *6*, опорного диска *7*, гайки с шаровой опорой *8*, приводной пружины *9* и нижнего диска *10*.

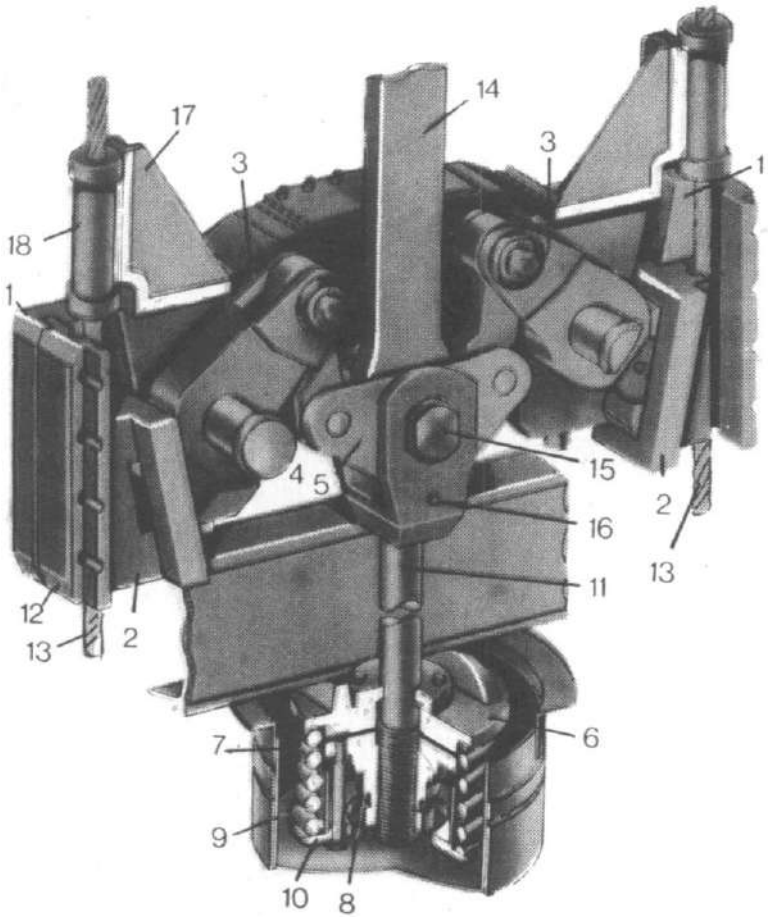


Рис. 5.2. Ловитель парашютного устройства типа МПТ (ПТК)

Механизмы ловителя и включающего устройства соединяются между собой центральным штоком *11*. Механизм ловителя лежит на специальной опорной постели, имеющей конусные или цилиндрические гнезда со скосами.

Конические части муфты ловителя входят в конусные гнезда постели, что обеспечивает ловителю возможность свободно отделяться от клети, а при посадке на постель – самоцентрироваться и занимать первоначальное положение.

Разъемная муфта *1* ловителя состоит из двух полумуфт и спинки *12*, соединенных стяжными болтами. Две муфты, соединенные между собой швеллерными балками, образуют рамку, которая охватывает два

тормозных каната. В полумуфтах ловителя под углом 12° к оси выполнены пазы для движения клиньев *2*, которые также имеют угол наклона 12°. Сторона клина, соприкасающаяся с тормозным канатом *13*, обработана по радиусу каната. Клиновые зажимы соединены между собой двумя траверсами *5*, изготовленными из листовой стали в виде треугольника.

Два крайних отверстия в траверсах служат для присоединения серег, а центральное – для соединения их со штоком *11*.

Траверса обеспечивает независимое срабатывание правой и левой частей ловителя благодаря возможности поворота рычагов на различные углы.

Верхний конец штока имеет развилку, в которую вставляются две траверсы и тяга *14* подвесного устройства, закрепляемые пальцем *15* штока.

Срезная шпилька *16* является одной из ответственных деталей ловителя и служит для стопорения траверсы с центральным штоком. Стопорение траверсы осуществляется не наглухо. Соединение рычагов ловителя через траверсу позволяет при работе ловителя выбирать различные по величине зазоры между клином, тормозным канатом и спинкой у обоих клиновых зажимов. При срабатывании ловителя обычно вначале клином зажимается тормозной канат, при этом траверса немедленно разворачивается, срезая под действием усилия приводной пружины срезную шпильку, выбирается зазор во втором клиновом зажиме и заклинивается второй тормозной канат.

Траверсу нельзя оставлять незастопоренной, так как при ее перекосе один из клиньев ловителя поднимается вверх и может произойти самопроизвольное срабатывание ловителя.

На кронштейнах *17* установлены направляющие муфты *18*, предохраняющие детали ловителя от износа.

Приводная пружина служит для включения парашюта. Усилие ее должно быть достаточным для быстрого приведения в движение подвижных деталей ловителя и подвесного устройства и заклинивания ловителя на тормозном канате.

Усилие для приводимой пружины парашютов типа МПТ (ПТК) обычно принимается равным 0,5-0,6 веса клети без груза.

Когда клеть висит на подъемном канате, приводная пружина сжата и шток с траверсой находится в крайнем верхнем положении, а клинья - в крайнем нижнем положении, при котором между ними и тормозными канатами имеется зазор 5-8 мм. При обрыве подъемного каната приводная пружина разжимается и опускает шток на 150-200 мм.

Поворотом рычагов клинья вводятся в соприкосновение с тормозными канатами, на которых под действием силы трения заклинивается ловитель.

Усилия приводной пружины достаточно для возникновения сил трения, останавливающих ловитель на тормозных канатах. При этом клеть продолжает двигаться вниз и, сжимая пружину, садится на шток. Вес клети и ее инерция действуют через шток на плечи рычагов, при этом еще больше заклинивается ловитель на тормозных канатах.

При улавливании оборвавшейся клети необходимо, чтобы ее замедление происходило в пределах, безопасных для жизни находящихся в ней людей.

Специальными исследованиями установлен следующий режим торможения, безопасный для организма человека: замедление клети при улавливании не более 50 м/сек^2 при минимальной концевой нагрузке и не менее 10 м/сек^2 при максимальной концевой нагрузке; продолжительность замедления не более 0,2-0,25 сек.

Техническая характеристика парашютов типа МПТ(ПТК)

Максимальная концевая нагрузка, кгс	4700-30000
Расчетная сила торможения, кгс	До 69000
Принятое замедление при торможении, м/сек^2:	
груженой клети	До 21
порожней клети	До 50
Скорость подъема, м/сек	12
Расстояние между тормозными канатами, мм	1082-1874
Диаметр тормозных канатов, мм	31-46,5
Масса, кг	2000-5000

Для обеспечения безопасного режима торможения клети на парашютных устройствах типа МПТ (ПТК) применяют канатно-винтовые амортизаторы (рис. 5.3), состоящие из валиков *1* и сухарей *2*, между которыми пропущен стальной амортизационный канат *3*. Валики, сухари и фасонные гайки *4* укреплены между двумя стенками корпуса *5*. При протягивании каната через амортизатор затрачивается большая работа на деформацию каната.

Усилие протяжки каната регулируется винтом *6*. Чем больше изогнут канат в амортизаторе, тем больше усилие протягивания. Однако после того как центр сухаря пройдет центры валиков, усилия протяжки начинают уменьшаться.

Амортизаторы разделяются по числу одновременно протягиваемых в них канатов на одноручьевые, двухручьевые и трехручьевые.

По количеству винтов амортизаторы делятся на одновинтовые и двухвинтовые. Наличие второго винта увеличивает усилие протяжки каната. Кроме того, усилия протяжки возрастают пропорционально количеству одновременно протягиваемых канатов. Амортизаторы устанавливают на подшкивных площадках копра или на специально предусмотренной для них площадке на копре.

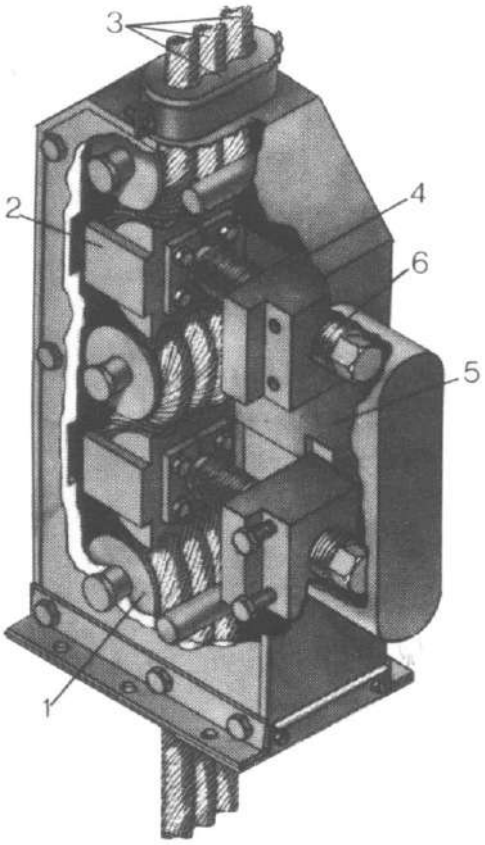


Рис. 5.3. Амортизатор трехручьевой

Было бы удобно использовать тормозной канат в качестве амортизационного, но этого делать нельзя, так как канат в амортизаторе значительно деформируется и теряет свою первоначальную прочность. Поэтому для амортизаторов применяют другой (амортизационный) канат, первоначальная прочность которого значительно больше прочности тормозного каната.

Длина амортизационных канатов принимается равной двойному расчетному пути торможения. Концы амортизационных канатов, выходящие из амортизаторов, залиты баббитом в конусные воронки и свободно висят за металлоконструкцией копра.

Тормозные канаты соединяются с амортизационными при помощи соединительных муфт, которые бывают одинарные, тройные и блочные.

Принципиальное отличие парашютов типа МПТ (ПТК) от парашютов других конструкций заключается в следующем:

в качестве опоры при улавливании и дальнейшем удерживании клети используются специальные тормозные канаты, навешенные по всей длине ствола по два на каждую клеть;

ловитель, установленный на клети, осуществляет жесткий захват за тормозные канаты;

плавность торможения обеспечивается в основном благодаря работе установленных на копре амортизаторов.

Парашютное устройство типа ПКЛ

Для клетевых подъемов с односторонним расположением рельсовых проводников применяют новое парашютное устройство типа ПКЛ (парашют клетевой легкий). В качестве опоры при улавливании клети в парашюте типа ПКЛ на каждую клеть используется один тормозной канат, навешенный между рельсовыми проводниками с одной стороны клети по всей длине ствола и закрепленный на копре в канатно-винтовом амортизатор

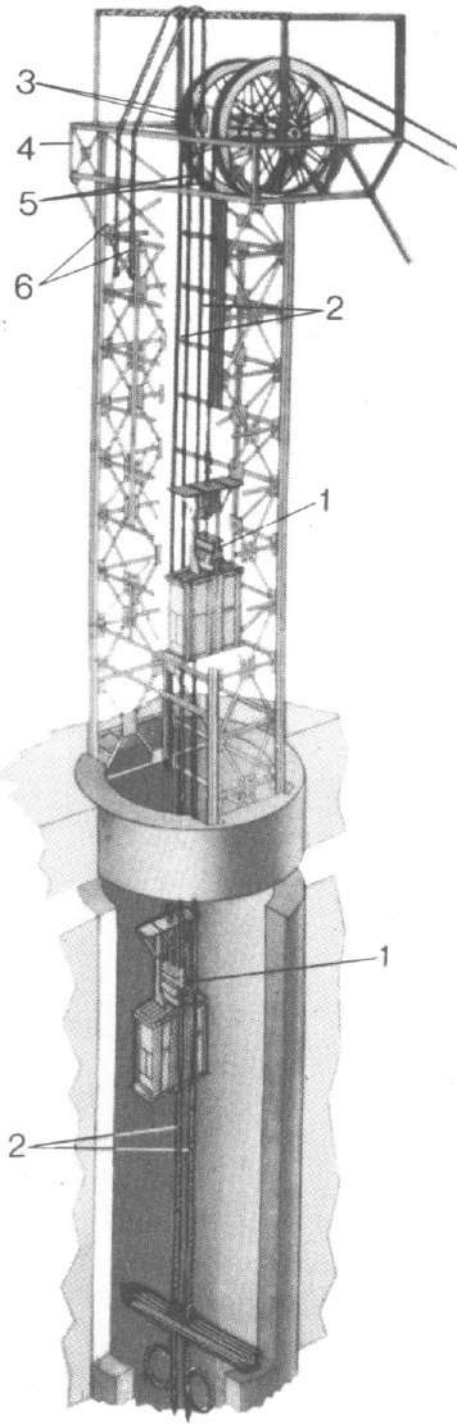


Рис. 5.4. Парашютное устройство типа ПКЛ

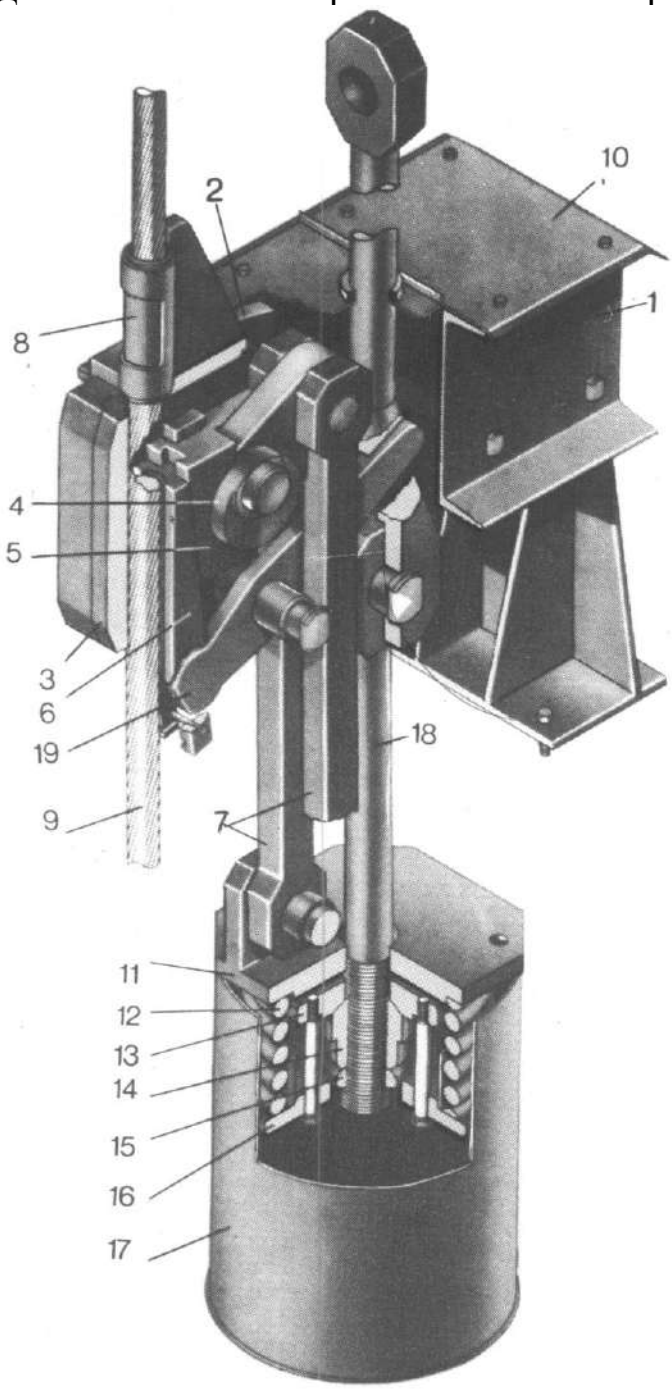


Рис. 5.5. Ловитель парашютного устройства типа ПКЛ

Парашютное устройство типа ПКЛ (рис. 5.4) для каждой клети состоит из ловителя *1* с приводом, тормозного (опорного) каната *2*, амортизатора *3*, установленного на копре *4*, соединительной муфты *5* и амортизационного каната *6*, закрепленного в соединительной муфте. Длина амортизационного каната 15-20 м. Ловитель парашюта типа ПКЛ осуществляет мертвый захват за тормозной канат и обеспечивает удержание клети в процессе всего периода ее торможения (до полной остановки).

Основными частями ловителя (рис. 5.5) являются: корпус, состоящий из двух швеллеров *1*, две щетки *2*, между которыми укреплена спинка *3*, и эксцентриковый рычаг *4* с надетой на него колодкой *5*. По наклонному пазу колодки перемещается клин *6*. Эксцентриковый рычаг *4* соединен с клетью тягами *7* и валиком. На ловителе установлен кронштейн с направляющей муфтой *8*, предохраняющей спинку и клин ловителя от износа тормозным канатом *9*. Ловитель свободно лежит на клети, опираясь на две опоры. Для защиты от загрязнения и попадания посторонних предметов ловитель сверху закрыт листами *10*. Пружинный привод парашюта состоит из опорной плиты *11*, приводной пружины *12*, диска *13* с шаровой опорой, гайки *14* с шаровой опорой, гайки *15*, нижнего диска *16* и кожуха *17*.

При обрыве подъемного каната или подвески клети пружина привода парашюта разжимается, толкает шток *18* вниз и поворачивает приводной рычаг *19*. При этом клин *6* перемещается вверх, зажимает тормозной канат и ловитель включается в работу. Клеть перемещаясь вниз, повисает через тяги *7* на эксцентриковом рычаге, который под действием веса и динамических усилий клети еще больше зажимает тормозной канат между клином и спинкой. При этом происходит плавная остановка клети, так как клеть надежно соединена с тормозным канатом и амортизатором.

При посадке клети на кулаки приемных площадок осуществляется только предварительное включение ловителя, а при снятии клети с кулаков ловитель выключается под действием натяжения подъемного каната.

Техническая характеристика парашютов типа ПКЛ

Максимальная концевая нагрузка, кгс 7000-27000
Расстояние от оси клети до оси тормозного каната, мм..... 495-780

Диаметр тормозных канатов, мм 34-56,5
Масса, кг 1500-3160

Парашютное устройство типа РКЭ

В России разработаны и получили применение на клетевых подъемах с двусторонним расположением рельсовых проводников парашюты новой конструкции типа РКЭ (рельсовый колодочно-эксцентриковый). В качестве опоры при улавливании и последующем удержании клети у парашютов типа РКЭ используются рельсовые направляющие проводники.

Парашют типа РКЭ легче парашюта типа ПТК почти вдвое; при его применении не требуется навески по стволу дополнительных тормозных канатов, установки амортизаторов на копре и натяжных устройств в зумпфе.

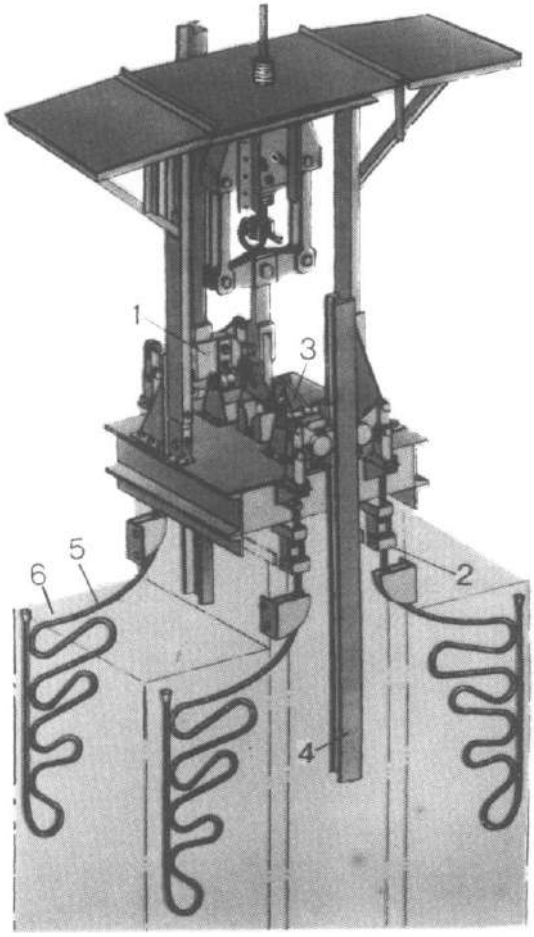


Рис. 5.6. Парашютное устройство типа РКЭ

Парашюты типа РКЭ выпускаются серийно и предназначены для оборудования клетевых подъемных установок с концевыми грузами до 10000 кгс и двусторонним расположением рельсовых проводников, а также для замены парашютов устаревших конструкций.

Парашют типа РКЭ (рис. 5.6) состоит из двух колодочно-эксцентриковых ловителей *1*, четырех амортизаторов *2* канатно-винтового типа и одного привода *3* парашюта. На крыше клети в специальных подставках лежат два ловителя (по одному на каждый проводник). Ловители осуществляют мертвый захват за рельсовые проводники *4* и обеспечивают плавную остановку клети *6*, а также последующее удерживание ее на проводниках *5* в процессе всего периода торможения.

Амортизаторы парашюта типа РКЭ в отличие от амортизаторов парашютов типа МПТ (ПТК) установлены на клети, а не на копре. Четыре амортизационных каната *5* (по два на каждый ловитель) длиной 5-11

м каждый располагаются по бокам клети между двойной листовой обшивкой таким образом, чтобы имелся свободный выход их. Концы амортизационных канатов разделывают и на них надевают воронку *6* из жести, после чего их заливают баббитом. Это предохраняет канаты от полной протяжки через амортизаторы при неправильной их настройке.

Ловитель (рис. 5.7) представляет собой две колодки *1*, насаженные на эксцентрики и охватывающие рельсовый проводник *2* с двух сторон. Колодки приводятся в действие двумя эксцентриковыми рычагами *3*, которые связаны между собой общим корпусом *4* и через амортизационные канаты *5* соединены с клетью. В корпусе ловителя по внешним боковым плоскостям колодок имеются выступы, предохраняющие колодки от проворачивания на эксцентрике и фиксирующие их в транспортном положении. Колодки имеют наружный вырез для поворота рычага эксцентрика и кольцевой буртик, предохраняющий их от выпадения из ловителя.

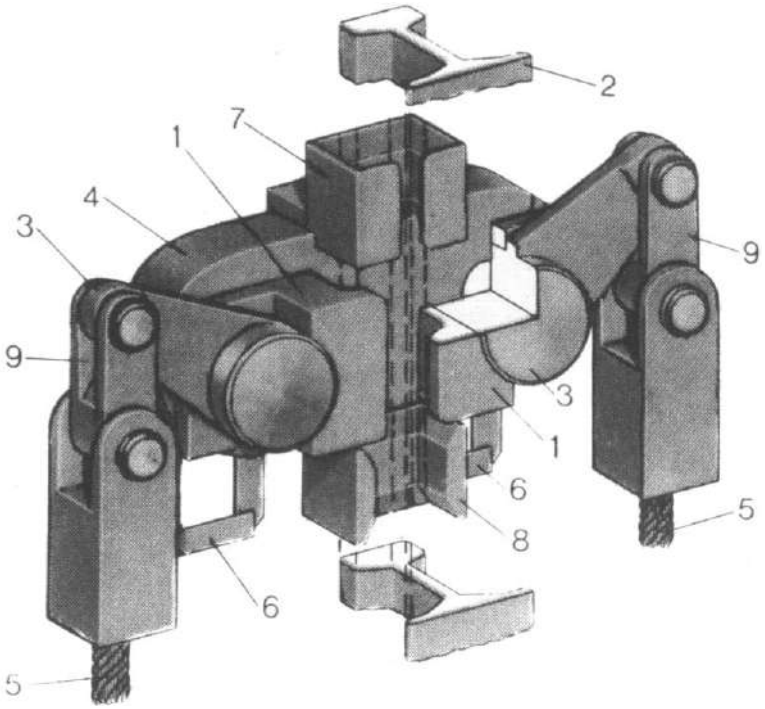


Рис. 5.7. Ловитель парашютного устройства типа РКЭ

В нижней части рабочих поверхностей колодок имеются сталинитовые резцы, высота которых 1-1,5 мм. Во избежание притупления резцов вследствие включения ловителей при посадке клети на кулаки в месте контакта резца с проводником боковые грани рельсов спиливают на глубину 2-3 мм и высоту 40 мм.

На ловителе имеются два ригеля *6*, которые надеты на оси эксцентриковых рычагов для удержания их в корпусе ловителя. Ригели предотвращают преждевременное включение парашютов из-за неправильного стыкования проводников или по другим причинам, а также обеспечивают выключение парашюта при подъеме клети с кулаков.

Принудительное включение парашюта обеспечивается тем, что ригели, укрепленные на ловителях, выходят из зацепления с вилками привода в том случае, когда ловитель значительно отделится от постели, что имеет место при рабочем срабатывании парашюта.

На корпусе ловителя установлены верхняя *7* и нижняя *8* направляющие, которые охватывают головку рельсового проводника и обеспечивают точное положение ловителя по отношению к проводнику, а также предохраняют рабочие плоскости колодок от износа.

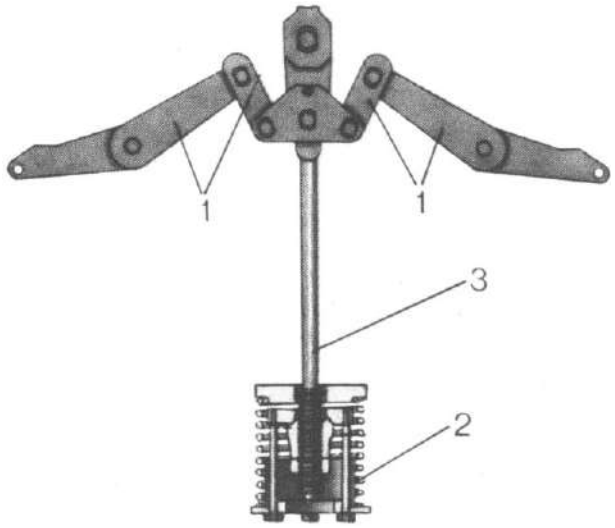


Рис. 5.8. Привод парашютного устройства типа РКЭ

Стаканы, в которых укреплены концы амортизационных канатов *5*, соединены с рычагами ловителя шарнирно посредством серег *9*, что позволяет ловителю прижиматься к проводникам и следовать за проводниками независимо от степени износа направляющих опор на клети.

Привод парашютного устройства (рис. 5.8) представляет собой рычажную систему *1*, передающую усилие от приводной пружины *2* к корпусам ловителей. Рычаги привода входят в окна ригелей ловителя и не дают возможности ловителю подниматься в процессе движения клети, что предотвращает преждевременное включение парашюта.

При обрыве подъемного каната или подвесного устройства клети пружина *2* привода парашюта разжимается и толкает шток *3* вниз. Со штоком шарнирно связаны рычаги *1* привода, которые, поворачиваясь, поднимают корпус ловителя. Так как стаканы ловителя опираются на клеть, то эксцентриковые рычаги поворачиваются, при этом колодки ловителя приближаются к проводнику и зажимают его. Происходит включение ловителей. С этого момента ловители больше не перемещаются по проводнику, а клеть продолжает падать вниз и повисает на амортизационных канатах, соединенных с эксцентриковыми рычагами ловителя.

Амортизационные канаты, протягиваясь через амортизаторы, поглощают кинетическую энергию клети и производят плавную остановку клети. В это же время ловители окончательно зажимают проводники, т.е. осуществляют мертвый захват их.

При посадке клети на кулаки приемных площадок парашют включается, а при снятии клети с кулаков парашют выключается под действием натяжения подъемного каната и веса ловителей.

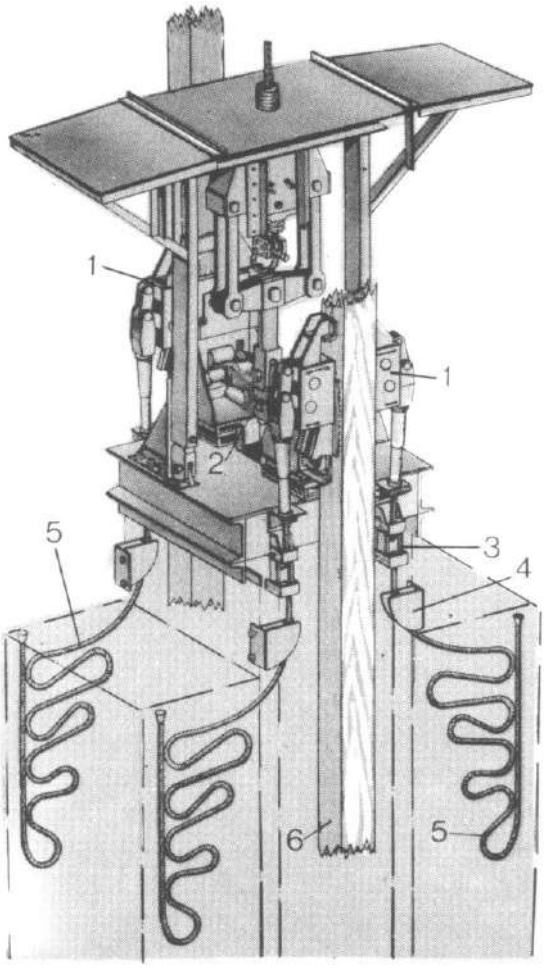
Техническая характеристика парашютов типа РКЭ

Максимальная концевая нагрузка, кгс 7000-15000
Расстояние между проводниками, мм 1104-1840
Проводники Р-38,Р-43,Р-50
Масса, кг 1450-2500

Парашютное устройство типа ПДП

Разработаны и серийно изготовляются для клетевых подъемов, оборудованных деревянными проводниками, парашюты типа ПДП (рис. 5.9). В качестве опоры при улавливании и последующем удержании клети у парашютов ПДП используются деревянные направляющие проводники.

Парашютное устройство типа ПДП (см. рис. 5.9) состоит из двух ловителей *1*, привода *2*, парашюта, четырех канатно-винтовых амортизаторов *3* и направляющих *4* для амортизационных канатов *5*. Ловитель парашютного устройства располагается на крыше клети. Во время работы подъема пружина привода парашюта находится в сжатом состоянии и ловители, охватывая деревянные проводники *6* с трех сторон, свободно движутся по ним.



В случае обрыва подъемного каната или подвесного устройства клети ловители парашюта осуществляют мертвый захват за деревянные проводники, а клеть, продолжая замедленное движение вниз, плавно останавливается и повисает на четырех амортизационных канатах, соединенных с ловителями.

Ловитель парашютного устройства типа ПДП (рис. 5.10) состоит из корпуса *1*, в котором укреплены четыре рычага *2* с эксцентриками и колодками *3*. Длинные плечи рычагов при помощи серег *5* и валиков *6* связаны со стаканами *7*, в которых укреплены концы амортизационных канатов *8*.

Рис. 5.9. Парашютное устройство типа ПДП

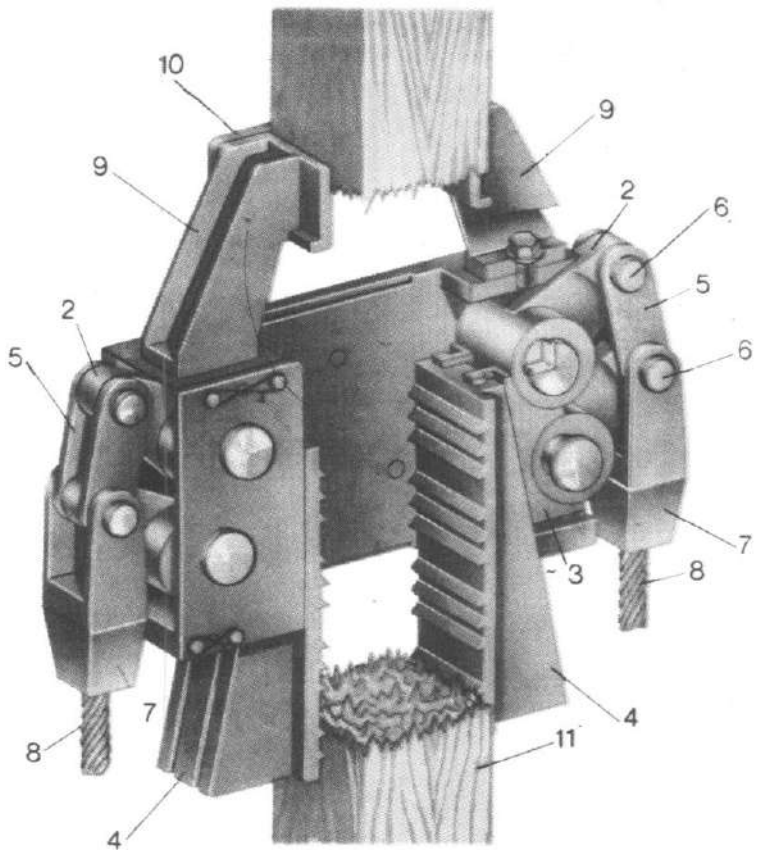


Рис. 5.10. Ловитель парашютного устройства типа ПДП

На корпусе ловителя укреплены две направляющие опоры *9*, соединенные планкой *10* и предохраняющие клинья *4* от контакта с проводником *11*. На каждом клине делается 20-30 зубьев высотой по 10 мм для создания большего трения между проводником и клином.

При работе ловителя клинья при помощи привода парашюта поднимаются вверх и заклинивают ловитель на деревянном проводнике. Вес клети передается через амортизационные канаты на рычаги, которые поворачиваются и эксцентриками через колодки и клинья еще сильнее зажимают проводник. Ловитель останавливается на проводнике, а клеть плавно останавливается и повисает на амортизационных канатах.

Конструкция и работа привода парашюта типа ПДП аналогичны работе привода парашюта РКЭ.

Техническая характеристика парашютов типа ПДП

Максимальная концевая нагрузка, кгс 7000-9000
Расстояние между проводниками, мм 1100-1500
Сечение деревянных проводников, м ..... 160×180; 200×220
Масса, кг 2050-2300

Рассмотренные конструкции парашютных устройств могут комплектовать различные типы подъемных установок.

Парашютные устройства типа ПШТП и ПКЛШ

В России впервые в мировой практике созданы и надежно работают парашютные устройства типа ПШТП и ПКЛШ для подъемных установок со шкивом трения. Конструкция этих парашютных устройств проста, компактна и не требует больших капитальных и эксплуатационных затрат.

Парашюты обычной конструкции для установки на подъемах со шкивом трения непригодны, так как улавливают клеть только на той ветви каната, которая оборвалась, а другая, неразрушенная ветвь подъемного каната, проходя через ведущий шкив трения и копровые шкивы, сохраняет натяжение подъемного каната выше усилия приводной пружины парашюта и не дает возможности пружине разжаться и включить парашют этой клети.

Принцип устройства парашютов типа ПШТП и ПКЛШ основан на принудительном включении ловителя парашюта второй клети, находящейся на оборванной ветви подъемного каната.

Парашютное устройство типа ПШТП представляет собой обычные парашюты типа МПТ (ПТК), ловители которых соединены между собой специальным включающим устройством. Включающее устройство состоит из приводного троса, дополнительного шкива - компенсатора вытяжки, хомута со срезными шпильками, направляющей рамы для шкива и груза для натяжения приводного троса.

Два ловителя *1* (рис. 5.11, *а*) парашюта типа МПТ, установленные на клети, соединены между собой приводным тросом *2* через плавающий дополнительный шкив *3*. Оба ловителя парашютов заключены в специальные хомуты *4*. Хомут охватывает ловитель с боковых сторон и валиком соединяется с его корпусом. Нижние концы хомута присоединяются к клети при помощи срезных шпилек. В

верхней части к хомуту через дополнительный коуш и срезной валик присоединяется трос *2*. Трос проходит через шкив *3* компенсатора вытяжки, размещенный в направляющей раме *5*, ось которого соединена с грузом *6*. Компенсатор вытяжки устанавливается для обеспечения нормальной работы подъемной установки и парашюта при неравномерной вытяжке подъемного каната и создает постоянное по величине натяжение дополнительного троса при помощи груза *6*. Чтобы груз своим весом не мог приподнять ловители вверх и включить их в работу до обрыва подъемного каната, срезные шпильки должны удерживать трос с достаточной прочностью. При обрыве подъемного каната клеть на оборванной ветви улавливается обычным клетевым ловителем, осуществляющим захват за тормозные канаты. При этом дополнительный трос натягивается, разрушает срезные шпильки и включает ловитель второй клети. Плавная остановка обеих клетей достигается благодаря канатно-винтовым амортизаторам, установленным на копре.

а *б*

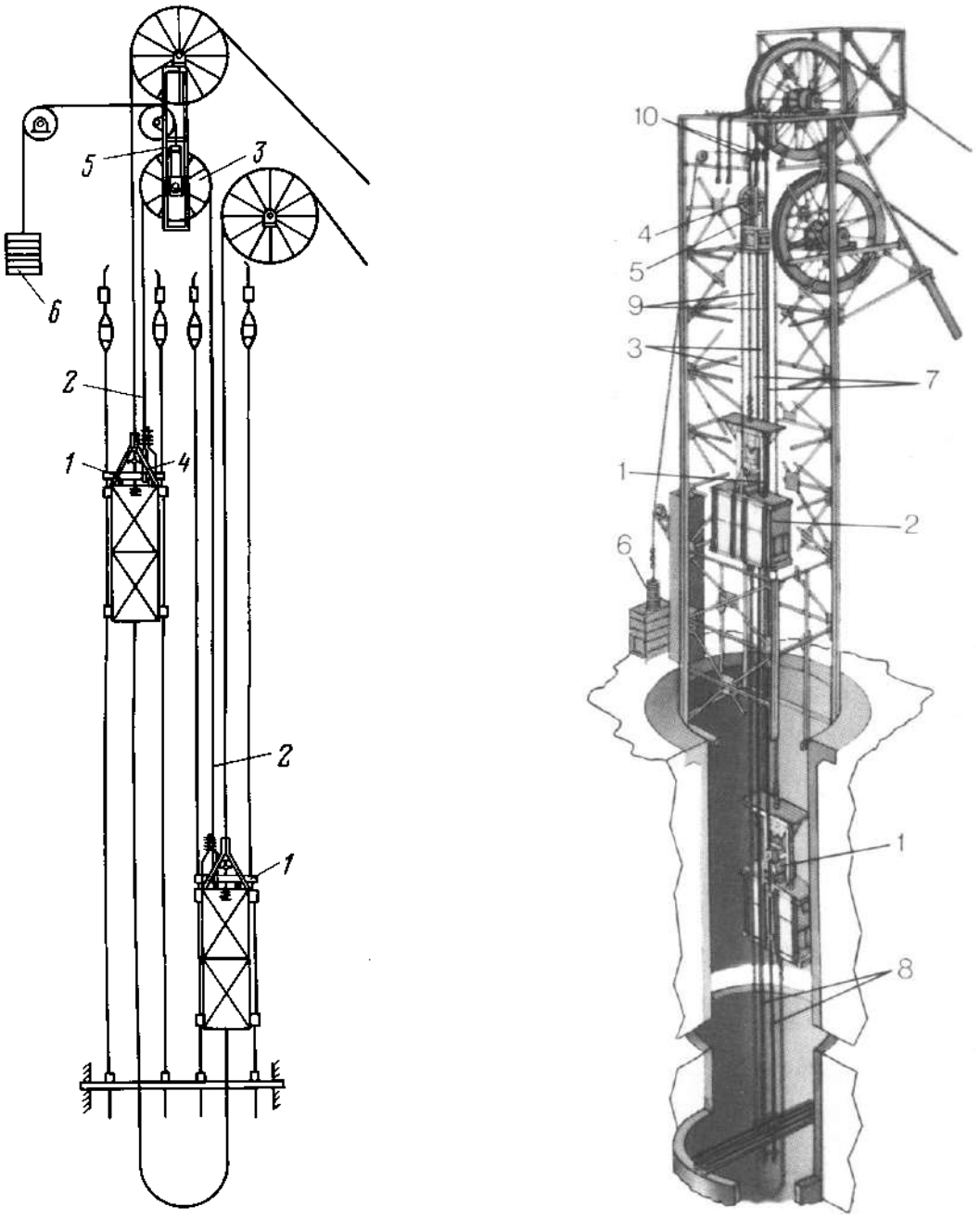


Рис. 5.11. Парашютные устройства типа ПШТП (*а*) и ПКЛШ (*б*)

Парашютное устройство типа ПКЛШ (рис. 5.11, *б*) представляет собой обычные парашюты типа ПКЛ, ловители которых соединены между собой дополнительным включающим устройством, аналогичным парашютам типа ПШТП. Ловители *1* парашюта типа ПКЛ, установленные на клетях *2*, соединены между собой приводным тросом *3* через плавающий дополнительный шкив *4*. Дополнительный шкив размещен в направляющей раме *5*; ось соединена с грузом *6*.

При обрыве подъемного каната *7* (или подвесного устройства) клеть на оборванной ветви каната улавливается обычным ловителем парашюта типа ПКЛ. При этом аналогично парашютному устройству типа ПШТП

трос *3* натягивается, разрушает срезные шпильки и включает ловитель второй клети. Оба ловителя осуществляют захват за тормозные канаты *8*. Плавная остановка обеих клетей достигается протяжкой амортизационных канатов *9* через амортизаторы *10*, установленные на копре.

Правила эксплуатации парашютных устройств

1. Согласно ПБ клети, служащие для спуска и подъема людей, за исключением клетей многоканатных установок, снабжают парашютами, которые должны обеспечивать автоматическую остановку клети при обрыве каната и безопасный для людей режим торможения. Замедление порожних клетей при их улавливании должно быть не более 50 м/с^2, а при остановке клетей с максимальным числом людей – не менее 6 м/с^2.

2. Допускается отсутствие парашютов на противовесах действующих подъемных установок вертикальных стволов со стесненными условиями, если клеть и противовес отделены друг от друга перегородкой из рельсов или канатов. Разрешается отсутствие перегородки, если высота рамы противовеса превышает два шага армировки при одностороннем расположении проводников. Противовес в этом случае должен быть также оборудован предохранительными башмаками длиной не менее 400 мм.

Примечание. Стесненными следует считать условия, при которых невозможно разместить на противовесе площадку длиной 1,5 м и шириной 0,4 м.

3. При каждом аварийном включении парашютов, тормозные и амортизационные канаты подлежат замене.

4. Запас прочности для тормозных и амортизационных канатов парашютов 3-кратный от динамических нагрузок.

5. Парашютные устройства должны осматриваться и проверяться ежесуточно механиком подъема или лицом, назначенным приказом по шахте для этих целей.

Практическая работа № 6
КОНСТРУКЦИИ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Назначение и общее устройство подъемных машин.
2. Классификация подъемных машин.
3. Конструкции коренных частей подъемных машин.
4. Механизмы перестановки барабанов.
5. Редукторы и привод подъемных машин.
6. Аппаратура управления, контроля и защиты подъемных установок.
7. Требования Правил безопасности к конструкциям подъемных машин.

Подъемная машина – это электромеханическое устройство, передающее тяговое усилие от электропривода через канат к подъемному сосуду, состоит из таких основных частей как:

– коренная часть, в которую входят коренной вал, насаженные на него органы навивки и подшипниковые узлы;

– редуктор, осуществляющий связь коренного вала с валом двигателя;

– тормозная система, состоящая из исполнительного органа и привода тормоза;

– предохранительные устройства, связанные с тормозной системой;

– система управления подъемной машиной и аппараты контроля ее работы;

– привод подъемной машины.

Общий вид шахтной подъемной машины показан на рис. 6.1.

Классификация подъемных машин

По принципу действия (по способу передачи тягового усилия) все подъемные машины подразделяют на барабанные и машины со шкивами трения.

В зависимости от конструктивного исполнения коренной части барабанные подъемные машины подразделяют на однобарабанные с неразрезным барабаном; однобарабанные с разрезным барабаном; двухбарабанные и бицилиндроконические.

В зависимости от размеров органов навивки шахтные подъемные машины, находящиеся в производстве, подразделяют на малые с диаметром барабана до 3,5 м и крупные с диаметром барабана 4 м и более.

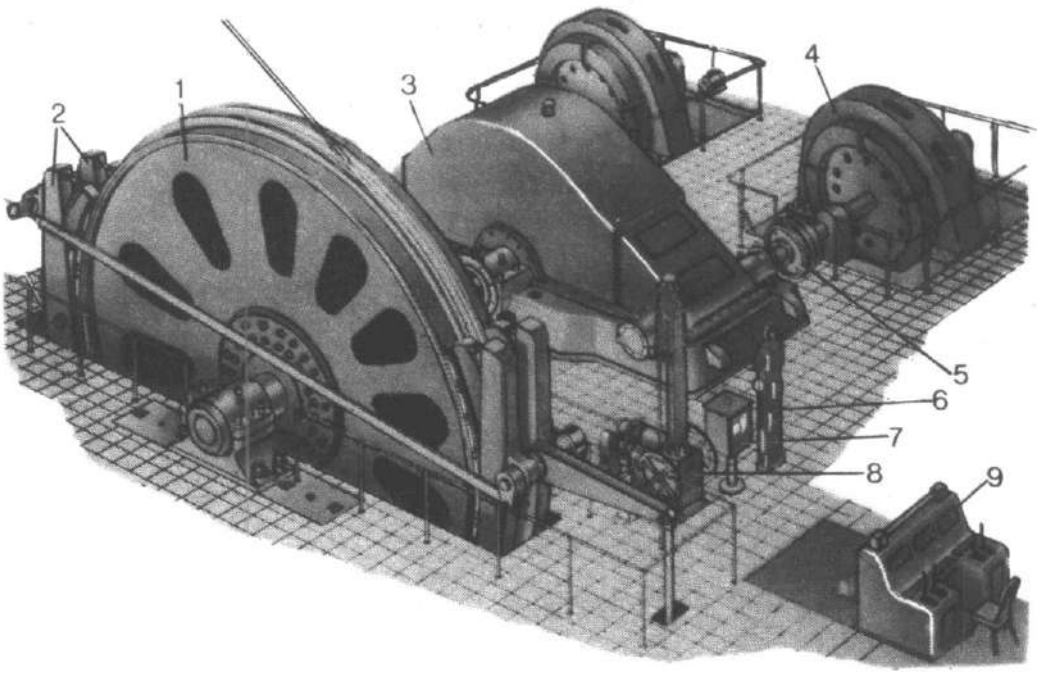


Рис. 6.1. Общий вид шахтной подъемной машины

Малые одно- и двухбарабанные подъемные машины выпускает Донецкий машиностроительный завод (с барабаном диаметром до 3,5 м). Они предназначены для установки в подземных условиях и на поверхности в качестве проходческих подъемных установок. Каждый типоразмер малой подъемной машины имеет свое обозначение, например БМ–2500/2030–4 или 2БМ–2500/1220–4А. Обозначения расшифровываются следующим образом: БМ–однобарабанная и 2БМ–двухбарабанная, числитель указывает диаметр барабана в мм, две первые цифры знаменателя–ширину барабана в мм, уменьшенную в 100 раз, а последние две цифры знаменателя–передаточное число редуктора; индекс 4 является порядковым номером проводимой заводом модификации подъемных машин; буква А означает, что данная машина предназначена для работы под землей и не требует подвального помещения.

Крупные подъемные машины изготовляет Ново-Краматорский машиностроительный завод. Они имеют следующие обозначения: Ц – цилиндрические с неразрезным барабаном; 2Ц – цилиндрические двухбарабанные; ЦР – цилиндрические с разрезным барабаном; БЦК – бицилиндроконические с разрезным барабаном.

Подъемные машины со шкивами трения делятся на одноканатные ШТ–7,2 и многоканатные с цилиндрическими шкивами ЦШ 2,25×4, ЦШ 4×4, ЦШ 5×4, ЦШ 5×8 и т. д. (в устаревшей классификации

многоканатные – МК 5×4, МК 5×2 и т. д.). Схемные решения и компоновка подъемных машин различных типоразмеров серии ЦШ идентичны машинам серии МК, а конструкция их узлов более совершенна. Первая цифра в обозначении всех машин соответствует диаметру шкива трения в м, вторая – количеству канатов. Подъемные машины типа ШТ и МК в настоящее время сняты с производства. Подъемные машины типа ЦШ выпускает Донецкий машиностроительный завод.

Рис. 6.2. Классификация органов навивки

Общая классификация органов навивки представлена на рис. 6.2.

Барабанные подъемные машины

Органы навивки служат для одновременного перемещения груженой и порожней ветвей подъемных канатов, осуществляя тем самым подъем и спуск подвешенных к ним подъемных сосудов. Коренные части подъемных машин с органами навивки различных диаметров не имеют принципиальных отличий. Наиболее простым типом коренной части подъемной машины является один неразрезной барабан (рис. 6.3).

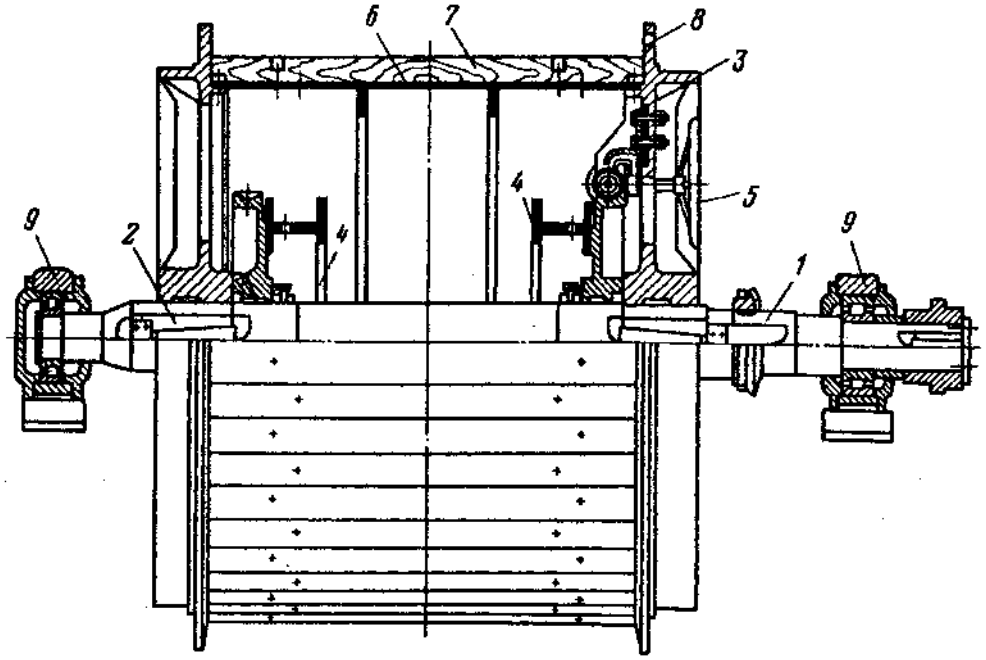


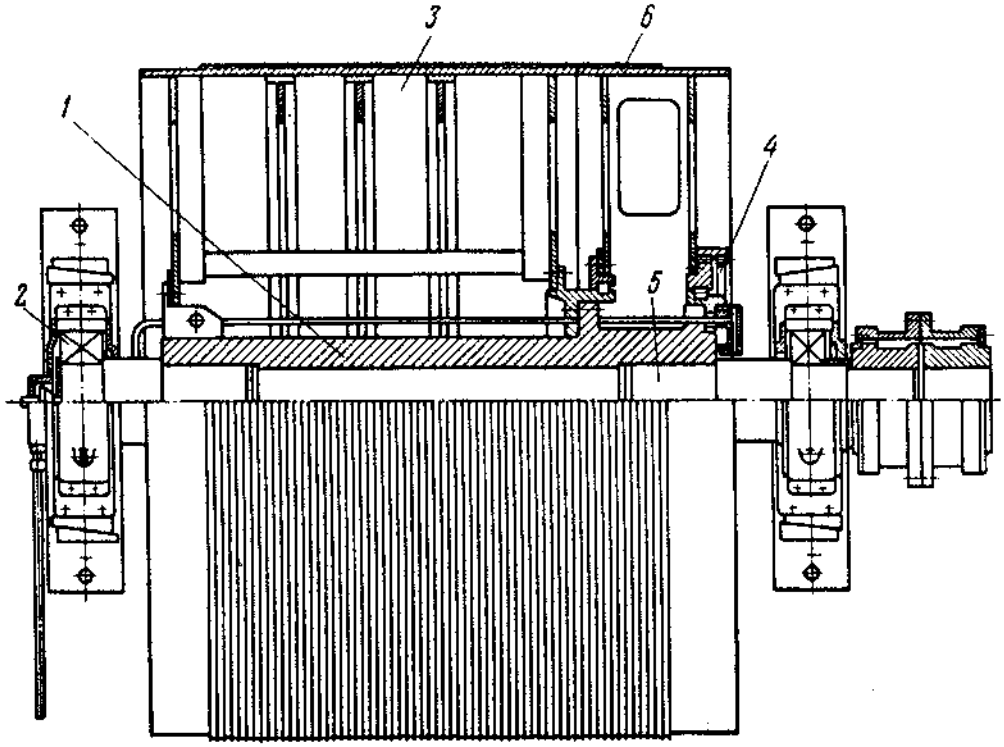
Рис. 6.3. Коренная часть однобарабанной подъемной машины

Барабаны однобарабанных подъемных машин наглухо закреплены на коренном валу *1* тангенционными шпонками *2*, имеют два тормозных диска *3* и две бобины *4* для навивки запасной части каната, необходимой для регулирования длины подъемного каната и обрубки его для испытания. Привод бобины *5* состоит из червячного колеса, насаженного свободно на коренной вал, червяка, установленного в кронштейне, и двух конических шестерен. Вращение бобины в любую сторону осуществляется вручную с помощью маховика. Металлическая обшивка (обечайка) *6*, покрытая деревянной футеровкой *7*, укреплена на двух чугунных дисках. На одной из реборд диска имеется отверстие *8* для стопорения барабана при ремонтах и осмотрах коренной части и тормозных устройств. Коренной вал вращается в подшипниковых узлах *9*.

Коренная часть подъемных машин типа Ц больших диаметров имеет те же основные элементы. Завод изготовляет подъемную машину типоразмера Ц–3,5×2 (первая цифра обозначает диаметр барабана в м, вторая – ширину барабана в м).

Однобарабанная подъемная машина с разрезным барабаном (рис. 6.4) состоит из двух частей: длинной – заклиненной *3* на валу барабана, и короткой – поворотной или переставной *6*, вала *1*, подшипников качения *2*, цапфы вала *5* и механизма перестановки *4*. Переставная часть

барабана при необходимости может быть отсоединена от вала и не вращаться вместе с заклиненной. Разрез барабана делается так, чтобы один из канатов навивался только на заклиненную часть барабана, а другой – на обе части. При этом, если подъемный сосуд второго каната находится на нижней приемной площадке, оставшаяся на барабане часть



каната не должна переходить через разрез на заклиненную часть барабана.

Рис. 6.4. Коренная часть однобарабанной подъемной машины с разрезным барабаном типа ЦР

Однобарабанные подъемные машины с неразрезным барабаном могут применяться как на одноклетевых и односкиповых подъемных установках с противовесом, так и на двухсосудных подъемных установках. Наличие механизма перестановки в конструкции однобарабанной подъемной машины с разрезным барабаном, хотя и удорожает и усложняет машину, но позволяет оперативно производить регулировку взаимного положения подъемных сосудов, относительно приемных площадок, при вытяжке канатов в процессе эксплуатации, путем увеличения или уменьшения длины отвеса каната, а также позволяет обеспечить одновременную работу двумя подъемными сосудами при поочередном подъеме полезного ископаемого с двух рабочих горизонтов.

Заводом-изготовителем выпускаются следующие типоразмеры машин: ЦР–3,5×3/0,9; ЦР–4×3,2/0,9; ЦР–5×3,2/0,85; ЦР–6×3,2/0,75 (первая цифра обозначает диаметр барабана в м, вторая (числитель) – полную ширину разрезного барабана в м, знаменатель – ширину переставной части барабана в м).

Коренная часть двухбарабанной машины (рис. 6.5) состоит из вала *1* с двумя цилиндрическими барабанами сварной конструкции: заклиненного *7* и переставного *3*. Последний, как и в подъемной машине с разрезным барабаном, может быть отсоединен от вала и не вращаться вместе с заклиненным. Отсоединение от вала переставного барабана производится механизмом перестановки *4*. Барабаны состоят из обечайки *5* с нарезкой для укладки каната, тормозных ободьев *6*, лобовин барабанов *8*, ступиц заклиненной части барабана *9* и *10*, ступиц переставной части барабана *11* и *12*, колец жесткости *13*. Вал располагается на двух подшипниковых опорах *2*.

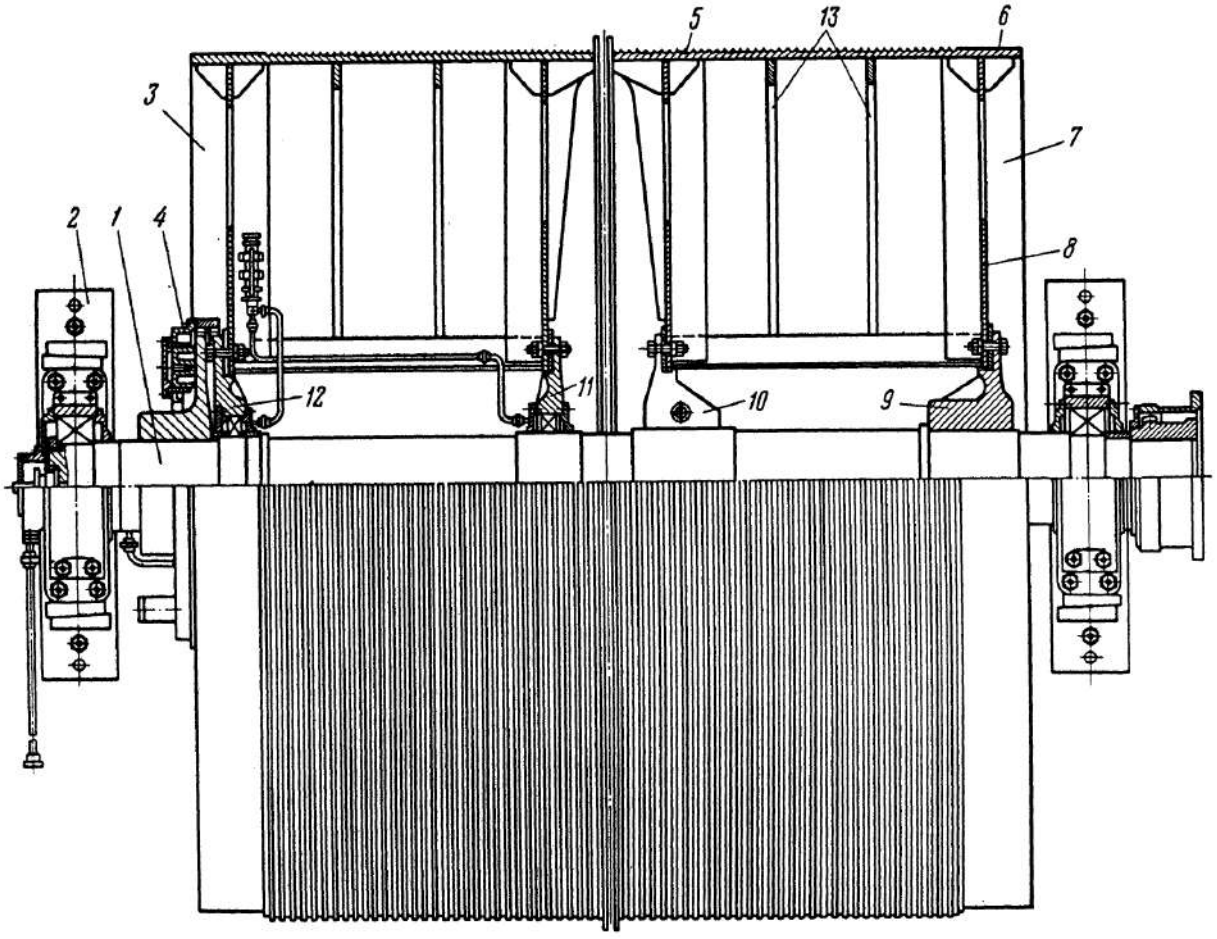


Рис. 6.5. Коренная часть двухбарабанной подъемной машины типа 2Ц

Подъемные машины с двумя цилиндрическими барабанами удовлетворяют всем основным требованиям эксплуатации, обладая достоинствами подъемных машин типа ЦР, машины данного типа позволяют производить многослойную навивку каната на барабан подъемной машины, таким образом позволяя увеличить канатоемкость барабанов. Естественно, что машины данного типа обладают большими моментами инерции органов навивки, размерами и массами, по сравнению с прочими подъемными машинами с постоянным радиусом навивки.

Завод изготовляет данные подъемные машины следующих размеров: 2Ц–3,5×1,7; 2Ц–4×1,8; 2Ц–5×2,3; 2Ц–6×2,4 (первая цифра обозначает число барабанов, вторая - диаметр барабана в м, третья – ширину барабана в м).

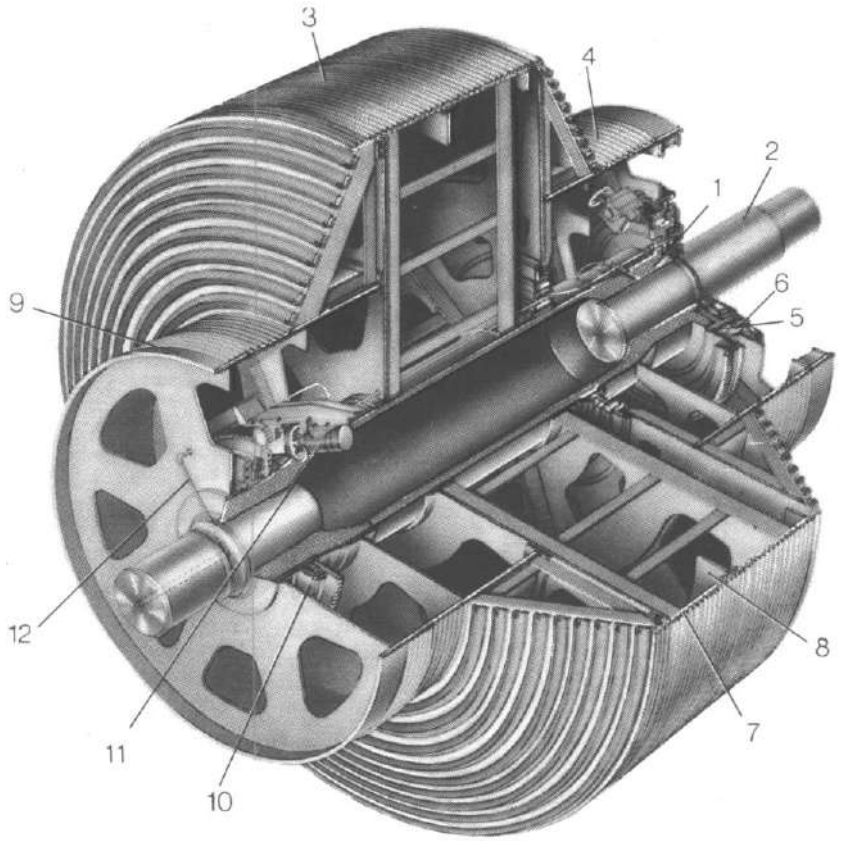
К органам навивки с переменным радиусом относятся конические и бицилиндроконические барабаны, а также бобины. В 40–60-х годах XX в. для подъема с больших глубин (более 600 м) успешно применялись подъемные машины с бицилиндроконическими барабанами (БЦК), представляющими собой сочетание цилиндрических и конических участков. Подъемные машины с бицилиндроконическими барабанами состоят из таких же основных узлов, что и машины с цилиндрическим разрезным барабаном или двумя цилиндрическими барабанами. Основной конструктивной особенностью подъемной машины типа БЦК является разрезной бицилиндроконический барабан.

Бицилиндроконическую форму барабана применяют для уменьшения влияния неуравновешенных нагрузок на величину статических моментов. Барабан подъемной машины типа БЦК состоит из большой заклиненной на валу части и малой переставной. Разрез барабана производится у основания большого конуса. В начале подъема канат поднимающегося сосуда навивается на малый цилиндр, далее на конус и на большой цилиндр. Канат опускающегося сосуда свивается в обратном порядке. Большой цилиндр обслуживает обе ветви каната. Витки трения располагают на малых цилиндрах, а канат для испытания – обычно внутри малых цилиндров на бобинах.

Сборка главного вала подъемных машин типа БЦК (рис. 6.6) состоит из разрезного бицилиндроконического барабана, опирающегося на пустотелый коренной вал *1*, насаженный на цапфы *2*, вращающиеся в подшипниках. Барабан представляет собой сварную металлоконструкцию, состоящую из двух частей: заклиненной части *3*, жестко насаженной на пустотелый вал, и переставной части *4*, опирающейся на заклиненную часть барабана через роликовые опоры *5*.

Переставная часть барабана соединяется с пустотелым коренным валом механизмом перестановки *6*.

Разрез между переставной и заклиненной частями барабана проходит по большому цилиндру в месте перехода его на коническую часть. В подъемных машинах типа БЦК цилиндрические части барабана не имеют футеровки и желобки для навивки каната нарезаются на металлической обечайке *7*. Конические части барабана имеют приваренные металлические желобки для навивки каната. Внутри



большого цилиндра приварены кольца жесткости *8*, на концах малых цилиндров – тормозные ободья *9*.

Рис. 6.6. Коренная часть подъемной машины БЦК

Для навивки каната резервной длины, необходимой для обрубки концов каната на испытание, а также для возможности регулирования длины каната после его вытяжки, внутри барабана имеются две бобины *10*, свободно насаженные на пустотелый вал. Каждая бобина имеет привод *11* в виде червячного редуктора с электродвигателем, который подключается к сети с помощью штапсельной муфты после полной остановки и стопорения подъемной машины. Сжатый воздух к зубчатому механизму перестановки подводится по трубопроводу *12*.

Нижний канат закреплен на заклиненной части барабана, а верхний – на переставной. Для нормального перехода верхнего каната через разрез барабана необходимо, чтобы плоскость направляющего шкива верхнего каната была смещена влево от разреза не менее чем на 100...150 мм.

Заводом-изготовителем выпускаются машины следующих типоразмеров: БЦК–8/4,5×2, БЦК–8/5×2,7, БЦК–9/5×2,25 и БЦК–9/5×2 (числитель обозначает диаметр большого цилиндра в м, знаменатель – диаметр малых цилиндров в м, последнее число – ширину большого цилиндра).

Машина БЦК–9/5×2,5 может быть оснащена как одноступенчатым двухприводным редуктором, так и без редуктора, БЦК–8/5×2,7 – только без редуктора с тихоходным двигателем постоянного тока.

К достоинствам машин типа БЦК относится то, что конструкция этой машины обеспечивает равномерную нагрузку на подъемный двигатель в процессе подъема, что упрощает процесс управления двигателем. Диаметр малого цилиндра определяется из условия $Db/dr = 80$, а диаметр большого цилиндра – из условий равновесия статических моментов на валу барабана в начале и конце подъема (*dr* – диаметр каната).

Основной недостаток подъемных машин типа БЦК – это большие моменты инерции органов навивки, что неизбежно приводит к увеличению мощности подъемного двигателя для обеспечения заданной тахограммы подъема. Кроме того, машины данного типа обладают значительной массой.

Механизмы перестановки барабанов

Механизмы перестановки барабанов подъемных машин бывают червячные, зубчатые и фрикционные. Фрикционные механизмы перестановки в настоящее время не применяются. Червячный механизм перестановки (рис. 6.7), установленный на малых подъемных машинах, состоит из червячного колеса *1*, соединенного с коренным валом шпонками. С колесом входят в зацепление два червяка *2*, расположенные по обе его стороны. Червяки свободно сидят на рычагах *3*, способных поворачиваться на осях *4*,

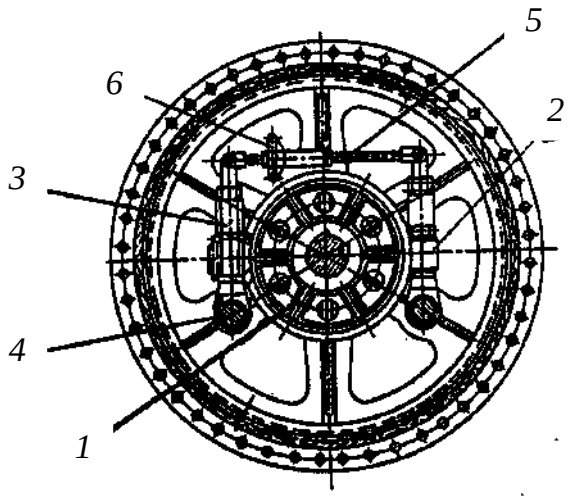


Рис. 6.7. Червячный механизм перестановки

закрепленных в лобовинах переставного барабана. Верхние концы рычагов *3* соединяются между собой тягой *5*, имеющей стяжную гайку с маховиком *6*. Вращением маховика рычаги раздвигаются и выходят из зацепления червяка, отсоединяя барабан от коренного вала. Вращением маховика в другую сторону червяки вводят в зацепление с червячным колесом. Если при этом зубья попадают друг на друга, то в зацепление их вводят, поворачивая червяк. Червячный механизм перестановки не имеет дистанционного управления, и перестановка барабанов производится вручную, на что затрачивается время 5–10 минут.

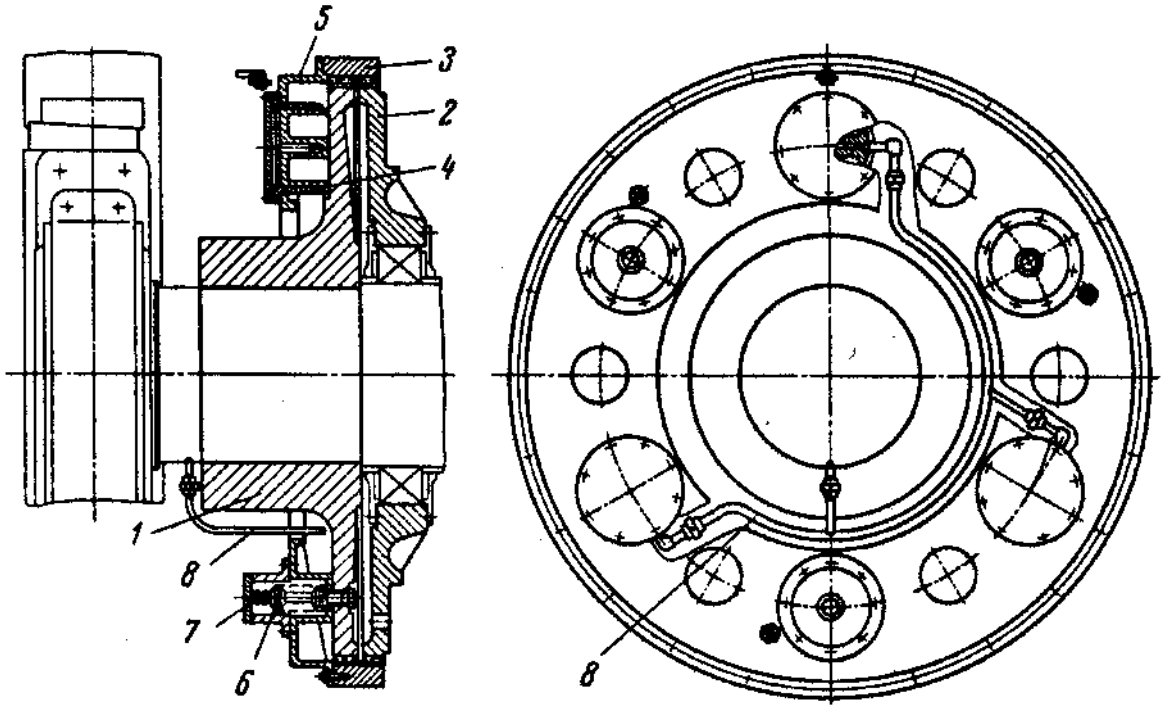


Рис. 6.8. Зубчатый механизм перестановки

На крупных подъемных машинах устанавливается зубчатый механизм перестановки барабанов с дистанционным управлением (рис. 6.8). Он состоит из зубчатой муфты *1*, зубчатого венца *2* ступицы, зубчатого венца *3* с внутренней нарезкой зубьев, трех пневматических цилиндров *4*, корпуса которых закреплены на крышке *5*, соединенной болтами с зубчатым венцом *3*, и трех зажимных пакетов тарельчатых пружин *6*, расположенных на шпильках *7*. Зубчатая муфта насажена на коренной вал по прессовой посадке. Зубчатый венец *3* под действием сжатых тарельчатых пружин постоянно соединяет своими зубьями зубчатую муфту *1* и зубчатый венец *2* и этим соединяет переставной барабан с коренным валом подъемной машины.

Выключение зубчатого венца *3* производится силой сжатого воздуха, поступающего через специальный патрубок в приводе регулятора подъема по кольцевому трубопроводу *8* в пневматические цилиндры *4*. При этом корпуса цилиндров вместе с крышкой *5* и зубчатым венцом *3* отходят от зубчатого венца *2* ступицы, сжимая пакеты пружин. Зубчатый венец *3* смещается влево, освобождая зубья венца *2* от зацепления, и переставной барабан отсоединяется от коренного вала машины.

При включении механизма перестановки воздух выпускается из пневматических цилиндров, при этом крышка и венец *3* под действием сжатых пружин возвращается в первоначальное положение, соединяя зубчатый венец *2* и зубчатую муфту. При несовпадении зубьев венца *3* с зубьями венца *2* на ступице необходимо легкими толчками вперед или назад провернуть коренной вал до совпадения зубьев.

Перестановка барабанов производится следующим образом. Подъемная машина затормаживается рабочим тормозом, затем при помощи механизма перестановки отсоединяют переставную часть барабана или переставной барабан от вала подъемной машины, далее включают двигатель подъемной машины и растормаживают заклиненную часть (переставная остается заторможенной), при помощи двигателя подъемной машины наматывают необходимую длину каната на заклиненную часть барабана, затормаживают заклиненную часть барабана и выключают подъемный двигатель, механизмом перестановки соединяют переставную часть барабана с валом подъемной машины.

Подъемные машины с движущими шкивами трения

Движущие шкивы трения изготовляются двух типов: одноканатные (шкивы Кепе) и многоканатные.

Подъемные машины ШТ-7,2 с одноканатным шкивом трения (рис. 6.9) в настоящее время сняты с производства и изготовляются только по индивидуальным заказам шахт для замены находящихся в эксплуатации.

В машинах ШТ-7,2 вместо барабанов для навивки подъемных канатов применен одножелобчатый приводной шкив трения, насаженный на коренной вал *1*, опорами коренного вала являются два подшипника, установленные на отдельных постаментах. Приводной шкив трения состоит из двух лобовин *2* и обечайки. Лобовины крепятся болтами к литой ступице *3*, закрепленной на коренном валу к наружной поверхности обечайки приварены два тормозных обода *4* и две реборды *5*, между которыми укладывается деревянная футеровка *6*. Подъемный канат на приводном шкиве не имеет витков и только охватывает его

примерно на половине окружности. Перемещение подъемных сосудов по стволу осуществляется за счет силы трения, возникающей между подъемным канатом и приводным шкивом трения, вращающимся от электродвигателя. Для надежного сцепления каната с желобом шкива последний футеруется деревом, фиброй, пластмассовыми материалами, обладающими высоким коэффициентом трения. Конструктивно шкивы трения делятся на шкивы трения с узким ободом и с широким ободом.

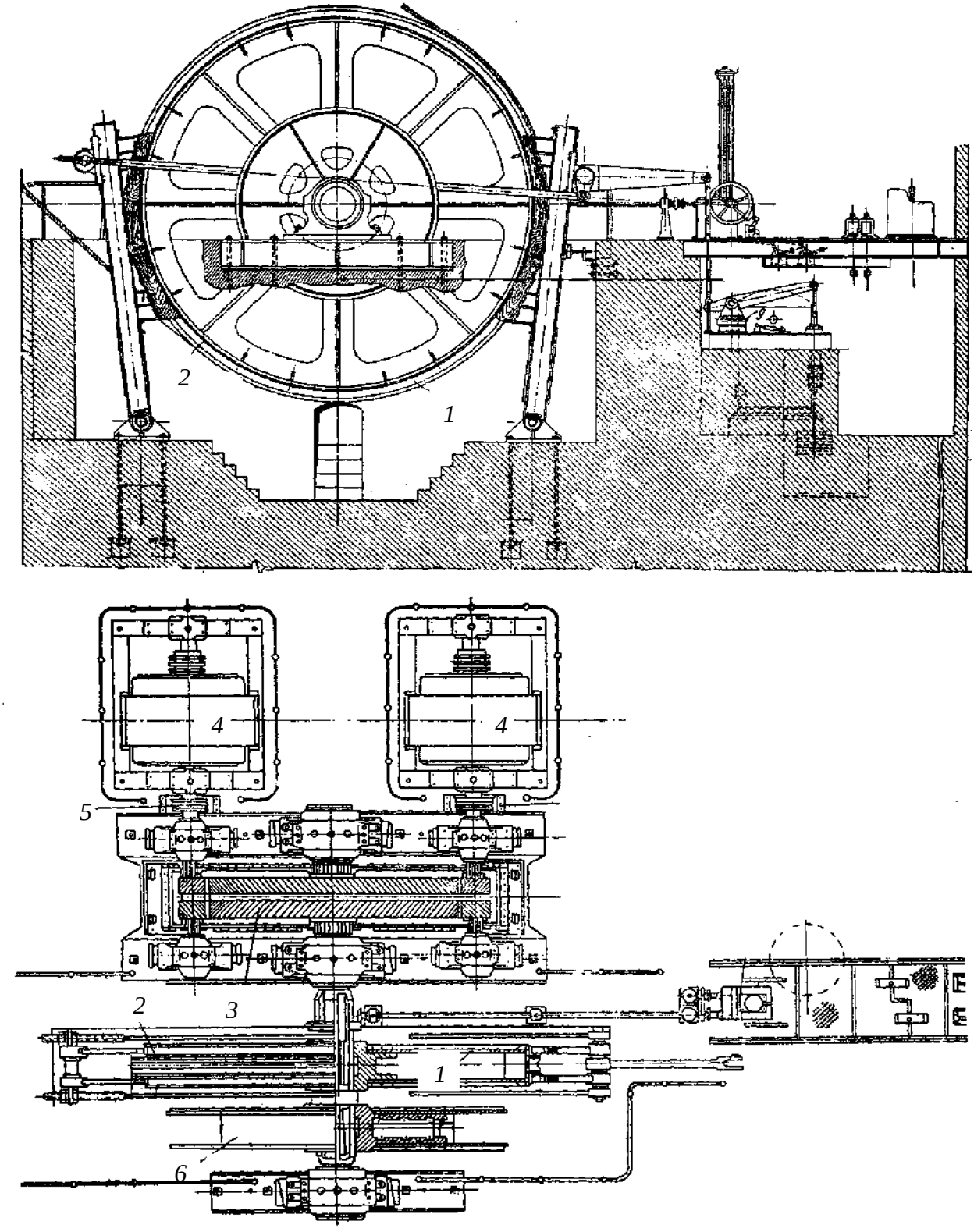


Рис. 6.9. Конструкция одноканатных шкивов трения

Установки с ведущим шкивом трения имеют преимущества: компактность, благодаря небольшой ширине шкива; отсутствие девиации каната в связи с расположением направляющих шкивов в одной вертикальной плоскости.

Недостатки установок с одноканатным ведущим шкивом трения: обрыв подъемного каната влечет за собой аварию с обоими подъемными сосудами; при обрыве уравновешивающего каната имеет место скольжение подъемного каната по ведущему шкиву, что также приводит к аварии; уменьшение надежности действия парашютов со стороны неповрежденной ветви каната; невозможность периодического испытания каната; более тяжелые условия работы каната по сравнению с другими системами; трудная навеска и смена канатов; при наличии на шахте двух и более горизонтов одновременная загрузка одного подъемного сосуда и разгрузка другого возможна только при работе с нижнего горизонта.

Во время ускоренного и замедленного движения подъемных сосудов при определенных условиях возможно проскальзывание, соответственно, ведущего шкива по канату и каната по шкиву, в связи с чем нарушается работа предохранительных устройств, действующих в функции частоты вращения коренного вала подъемной машины.

Многоканатные подъемные установки в настоящее время получили широкое распространение на глубоких и сверхглубоких шахтах.

Принцип действия многоканатной установки (рис. 6.10) такой же, как и установки с одноканатным ведущим шкивом трения, но с той разницей, что здесь подъемные сосуды подвешены на нескольких (двух, четырех, шести, восьми) подъемных канатах *2*. Наибольшее число многоканатных подъемных установок имеют четыре подъемных каната, реже два, шесть и более канатов. Следует также указать, что при увеличении числа подъемных канатов усложняется конструкция подвесного и уравнительного устройств. К подъемным сосудам прикреплены уравновешивающие канаты *3*. Машина с ведущим шкивом *4*, имеющим канавки для подъемных канатов, располагается на башенном копре. Для соблюдения необходимого расстояния между подъемными сосудами применяются отклоняющие шкивы, количество которых равняется числу подъемных канатов. В связи с отклоняющими шкивами угол охвата ведущего шкива трения подъемными канатами доходит до 195°.

Наиболее простой является установка без отклоняющих шкивов, применяемая в случае, когда диаметр ведущего шкива равен расстоянию между осями подъемных сосудов в стволе или отличается менее чем на 300 мм; при этом угол охвата шкива канатом равен 180°.

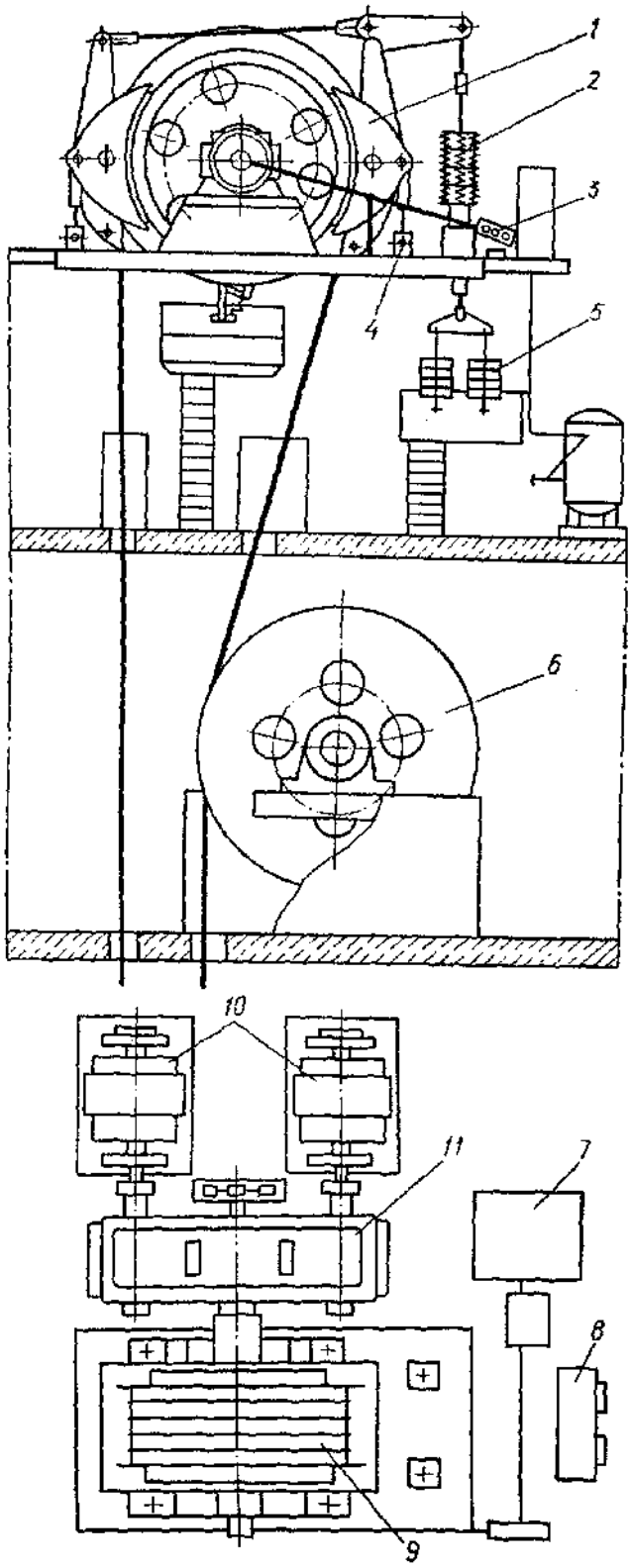


Рис. 6.10. Схема многоканатной подъемной установки:
1 – тормозные балки; *2* – подъемные канаты; *3* – уравновешивающие канаты; *4* – ведущий шкив; *5* – тормозные грузы; *6* – отклоняющийся шкив; *7* – аппарат здания и контроля хода; *8* – пульт управления; *9* – коренная часть; *10* – электродвигатели; *11* – редуктор

Многоканатные подъемные машины с диаметром шкива трения до 4 м изготавливают с двухступенчатыми двухприводными редукторами,

причем машины с диаметром шкива трения 3,25 и 4 м могут быть в безредукторном исполнении. Остальные многоканатные машины поставляются без редукторов с тихоходными двигателями постоянного тока.

Коренная часть многоканатной подъемной машины (рис. 6.11) имеет вал *1*, опирающийся на роликовые подшипники *8*, на который насажен неразъемный сварной канатоведущий шкив *9*. Обечайка *4* прикреплена к двум лобовинам *3* и к кольцевым ребрам *6*. Лобовины приварены к ступице *2*. На лобовины также опираются тормозные ободы *5*. На обечайке уложена футеровка *7*, обычно изготавливаемая из полимерного материала (полихлорвинилового пластиката ПП–45).

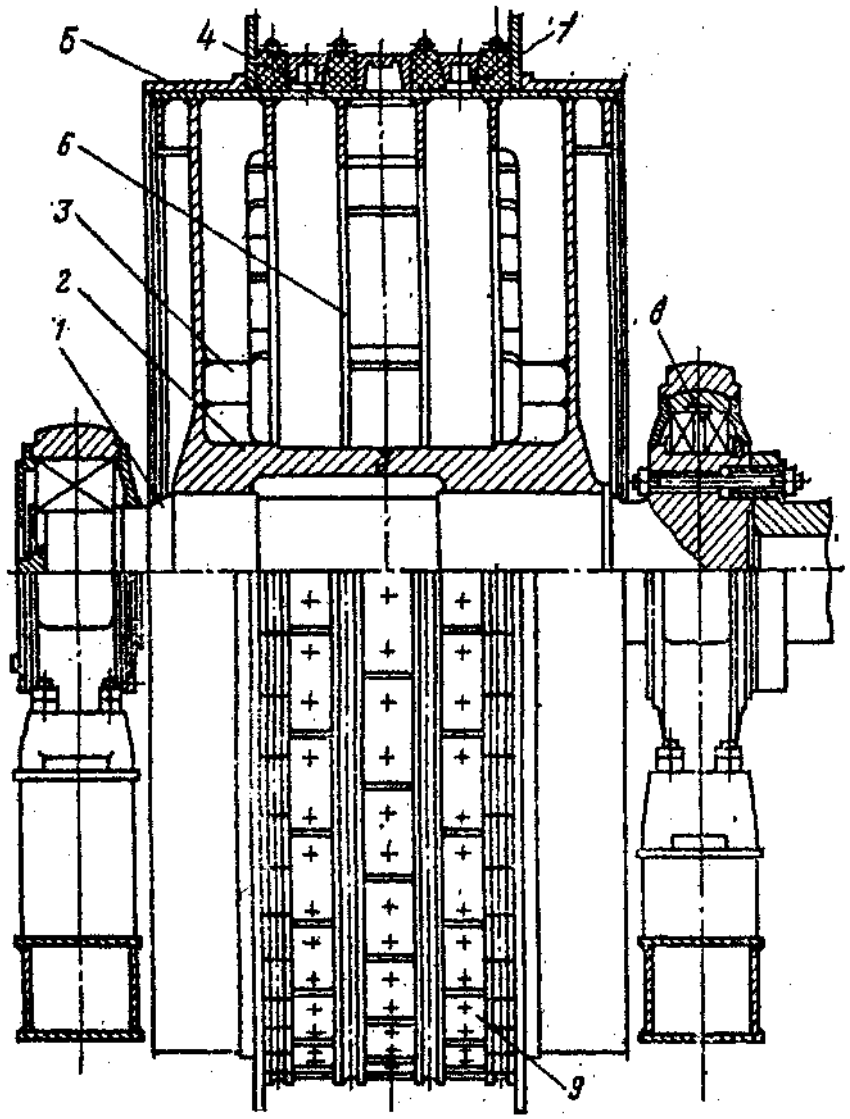


Рис. 6.11. Коренная часть многоканатной подъемной машины

При многоканатной установке к подъемным канатам предъявляют определенные требования: по возможности постоянный диаметр; возможно меньшая вытяжка; стабильный модуль упругости; высокий коэффициент сцепления каната с футеровкой канавок шкива; наибольшая поверхность соприкосновения с футеровкой; «жесткость» конструкции, исключающая многократное трение наружных проволок каната при соприкосновении с футеровкой; наименьший диаметр каната при заданной грузоподъемности. Таким требованиям наиболее соответствуют канаты закрытой конструкции, в несколько меньшей степени трехграннопрядные канаты; допускается также применение круглопрядных канатов линейного касания.

Отклоняющие шкивы устанавливаются под каждый канат на общую ось, вращающуюся в подшипниках качения. Из всех отклоняющих шкивов один закреплен на оси шпонкой, остальные вращаются свободно на оси, что устраняет дополнительное трение канатов о направляющие шкивы.

Пульт управления не имеет механической связи с машиной и может быть смонтирован в машинном зале, у мест разгрузки скипов или обмена вагонеток, чем достигается удобство управления подъемной машиной.

Многоканатные подъемные установки по сравнению с одноканатными имеют следующие преимущества: возможность подъема со значительных глубин больших грузов; большая безопасность работы, связанная с наличием нескольких канатов; диаметр каждого подъемного каната значительно меньше диаметра каната при одноканатном подъеме, в связи с чем меньше диаметр органа навивки, масса машины и мощность двигателя; меньшее число перегибов каната; герметизация копра устраняет влияние атмосферных факторов на канаты; отсутствие крутящего момента, приложенного к сосуду со стороны канатов (благодаря применению четного числа канатов и поочередного расположения канатов правой и левой свивок), что способствует уменьшению износа проводников и смягчению ударов на их стыках; нет необходимости в применении парашютов в связи с малой вероятностью одновременного обрыва всех канатов.

Недостатками многоканатных установок являются: необходимость строительства громоздкого и дорогостоящего башенного копра; сложность надзора за канатами, навески и их смены; неравномерность в распределении нагрузки между подъемными канатами, которая возникает в связи с небольшим различием в диаметрах футеровки канавок, по которым движется канат, различными диаметрами каната (в пределах допусков), разной вытяжкой и неодинаковыми упругими характеристиками канатов. В связи с этим канаты будут работать по-

разному, иметь различные напряжения и износ, а также различный запас прочности. В результате перегрузки одного каната по сравнению с другими может иметь место обрыв этого каната, вследствие чего возникает дополнительная нагрузка на другие канаты. Для устранения этого недостатка применяют специальные уравнительные устройства, имеющие значительную массу.

Редукторы и привод подъемных машин

Для подъемных машин используется только электрический привод. В качестве привода наибольшее распространение получил асинхронный двигатель с фазным ротором и привод постоянного тока по системе Г–Д. Возможно применение в качестве привода двигателей постоянного тока, управляемых тиристорными преобразователями.

При использовании асинхронного двигателя с фазным ротором управление подъемной машиной осуществляется путем введения (выведения) в цепь ротора дополнительных сопротивлений. Роторные сопротивления, как правило, изготавливаются из чугуна и имеют большую поверхность теплопередачи, используемую для их охлаждения. Сопротивления, как правило, устанавливаются в подвальном помещении в станции роторных сопротивлений.

При использовании двигателя постоянного тока управление подъемной машиной осуществляется путем изменения напряжения возбуждения генератора постоянного тока или изменения напряжения подъемного двигателя при использовании силового тиристорного преобразователя.

Подъемные машины в зависимости от типа электропривода могут быть редукторными и безредукторными.

Большинство подъемных установок, имеющих в качестве привода асинхронные двигатели, оборудованы редукторами (рис. 6.12), снижающими частоту вращения до требуемого значения. На подъемных установках применяются как одноступенчатые, так и двухступенчатые редукторы. Последние могут иметь два приводных вала, что дает возможность работать одним или двумя приводными двигателями. Редукторы имеют цилиндрические колеса с косыми или шевронными зубьями. У двухступенчатых редукторов обычно первая ступень выполняется с косыми зубьями, а вторая – с шевронными.

Ведущий вал редуктора соединяется с валом двигателя при помощи пружинных муфт, а выходной вал с валом подъемной машины – при помощи зубчатой муфты.

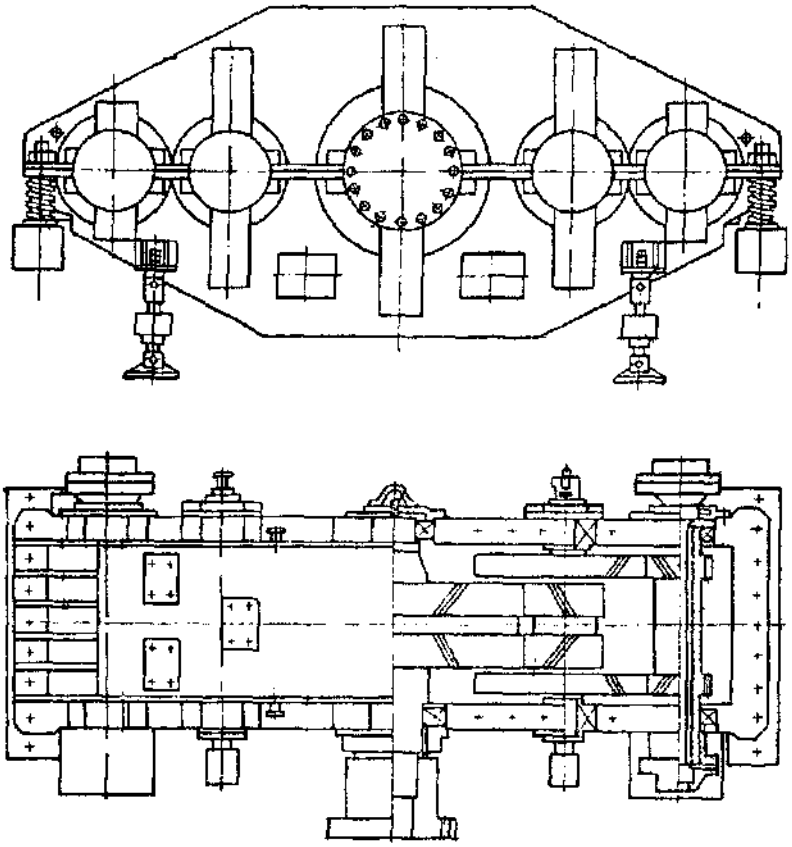


Рис. 6.12. Внешний вид редуктора 2ЦД

Одноступенчатые редукторы с эвольвентным зацеплением имеют обозначение ЦО, а двухступенчатые – ЦД. Двухприводные двухступенчатые редукторы имеют обозначение 2ЦД. Одноприводные соосные редукторы обозначаются РС. Редукторы с зацеплением Новикова в конце буквенного обозначения имеют букву Н (ЦДН, ЦОН). Цифра, стоящая после буквенного обозначения, характеризует межцентровое расстояние в дециметрах или в сантиметрах. Например, ЦДН–130, ЦО–16 и ЦД–22.

Редукторы смазывают путем погружения в масляную ванну зубчатых колес и разбрызгиванием масла при работе редуктора. Все редукторы имеют подшипники качения.

Аппаратура управления, контроля и защиты подъемных установок

Ручное управление подъемной установкой осуществляется при помощи пульта управления. Современные пульты управления связаны с подъемной установкой только электрически, и поэтому их можно располагать в любом месте, например, при дистанционном управлении – на верхней приемной площадке.

На пульте сосредоточиваются все необходимые аппараты для контроля эксплуатационных параметров основных агрегатов подъемной установки, контроля местонахождения и скорости подъемных сосудов и аппараты воздействия на подъемный двигатель и тормозную систему подъемной машины.

Серийно изготавливаются несколько пультов управления. Одним из таких пультов является пульт ПШП, предназначенный для местного и дистанционного управления одно- и двухбарабанными подъемными машинами с электроприводом как переменного, так и постоянного тока. Пульт может быть применен для управления многоканатной подъемной установкой.

В зависимости от типа привода и типа подъемной установки панель пульта комплектуется различными наборами приборов и аппаратов. Предусмотрено 12 комплектаций пультов. Основные варианты компоновок предусмотрены для грузового и клетевого подъемов с асинхронным приводом при дистанционном управлении, для грузового и клетевого (клетевого – дистанционно) – с приводом постоянного тока. Пульт имеет защищенное исполнение.

При помощи пульта можно:

- управлять разгоном и замедлением подъемной установки;
- управлять приводом тормоза подъемной машины;
- контролировать положение сосудов в стволе при помощи сельсинного указателя глубины (*1*);
- контролировать скорость движения подъемных сосудов и производить фиксацию тахограмм на диаграммной бумаге;
- контролировать электрическую нагрузку двигателя;
- производить аварийное выключение подъемной машины.

Кроме того, пульт имеет сигнализацию о давлении масла или воздуха в тормозной системе и о состоянии основных узлов (загрузочное устройство, приемный бункер и др.).

Конструкция пульта (рис. 6.13) одинакова для всех вариантов. Конструктивно пульт выполнен в виде четырех тумб *2 – 5*: двух правых (вертикальная и горизонтальная) *2*, *3* и двух таких же левых *4*, *5*. В правой и левой вертикальных тумбах расположены измерительные приборы, регистрирующий таховольтметр, счетчики кодовых сигналов и циклов подъемов, манометры контроля тормозной системы, часы, универсальные переключатели.

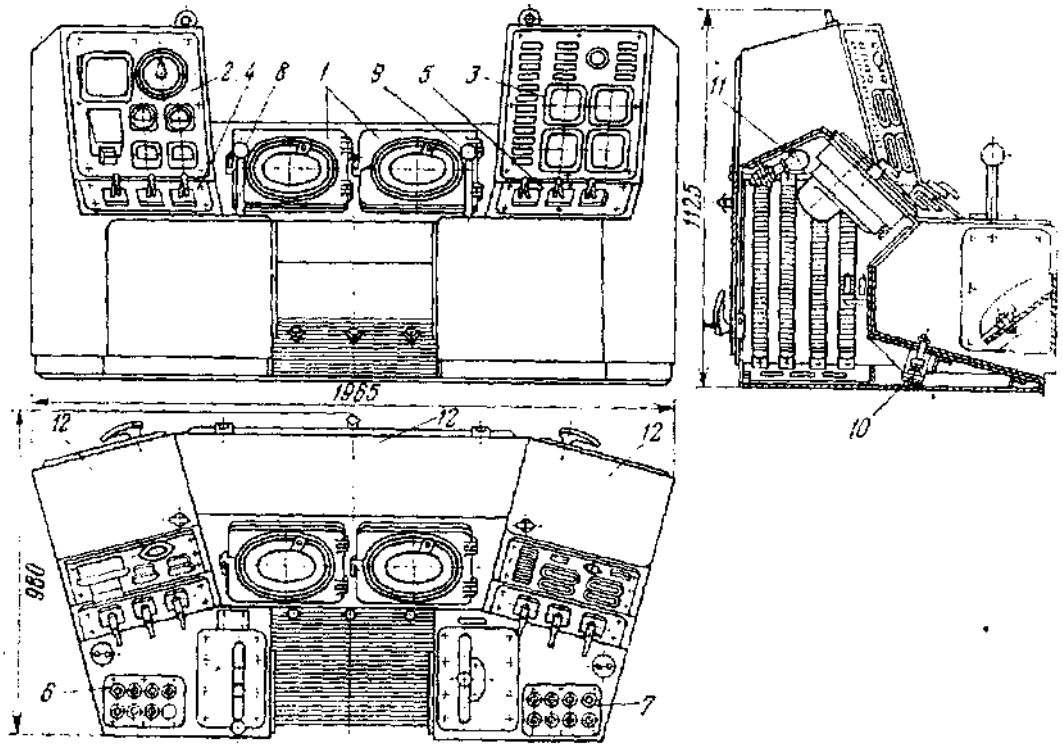


Рис. 6.13. Пульт управления подъемной установкой:
1 – сельсинные указатели глубины; *2–5* – тумба с пультом: *2, 3* – тумбы правые вертикальная и горизонтальная, *4, 5* – тумбы левые вертикальная и горизонтальная; *6, 7* – кнопочные пульты; *8, 9* – рукоятки управления подъемной машиной; *10* – ножная кнопка для предохранительного и динамического торможения; *11* – световая сигнализация; *12* – защитные крышки панелей управления

В правой и левой горизонтальных тумбах расположены кнопочные пульты *6, 7* и рукоятки управления подъемной машиной *8, 9*. Правая рукоятка (РУ) предназначена для пуска и управления подъемным двигателем. При наличии в качестве привода асинхронного двигателя эта рукоятка связана с командоконтроллером КК-8418 или КП-1400. При приводе постоянного тока РУ связана с бесконтактным сельсинным командоаппаратом, имеющим один контакт нейтрального положения и два контакта реверсора (В) и (Н). Левая рукоятка (ТР) предназначена для управления тормозной системой и связана с командоаппаратом, выполненным на базе сельсина, работающего в режиме потенциал–регулятора. Командоаппарат воздействует на электропневматический регулятор тормозной системы. Под ногами машиниста находятся педальные кнопочные посты включения динамического торможения и аварийной остановки подъемной машины.

Указатели глубины *1* служат для определения положения подъемной машины в стволе.

Требования Правил безопасности к конструкциям подъемных машин

Отношение наименьшего диаметра навивки к диаметру каната должно быть:

а) не менее 120 для одноканатных подъемных машин со шкивом трения;

б) 100 для многоканатных подъемных машин с отклоняющим шкивом;

в) 78 для направляющих шкивов и барабанов одноканатных подъемных установок на поверхности, а также многоканатных установок без отклоняющего шкива;

г) 60 для направляющих шкивов и барабанов подъемных машин и лебедок, установленных под землей, а также для машин и лебедок, используемых при проходке выработок.

Для грузолюдских и людских подъемов на вертикальных и наклонных (выше 60°) эксплуатационных шахтах навивка каната на барабане должна быть однослойной. Для подъемных машин грузовых вертикальных подъемов, установленных на поверхности, допускается двухслойная навивка канатов на барабаны.

Прикрепление каната к барабану подъемных машин должно быть выполнено таким образом, чтобы при проходе каната через щель в оболочке барабана он не деформировался острыми краями щели. Запрещается прикрепление конца каната к валу барабана. Крепление концов каната к барабану производится к специально предусмотренным на барабане устройствам, позволяющим закрепить канат не менее чем в трех точках.

Для ослабления натяжения каната в месте его прикрепления к барабану на поверхности барабана должно быть не менее трех витков трения при барабанах, футерованных деревом или пресс-массой, и не менее пяти витков трения на барабанах, не футерованных фрикционными материалами. Кроме витков трения должны быть запасные витки для периодических испытаний. Запасные витки могут располагаться как на поверхности барабана, так и внутри его.

Подъемные машины и лебедки должны быть снабжены аппаратом (индикатором), показывающим машинисту (оператору при дистанционном управлении) положение сосудов в стволе, и автоматическим звонком, сигнализирующим о необходимости начала периода замедления.

Каждая подъемная установка должна быть снабжена следующими предохранительными устройствами:

а) двумя концевыми выключателями, установленными на копре, предназначенными для выключения подъемной машины и включения предохранительного тормоза при подъеме сосуда на 0,5 м выше уровня приемной площадки (нормального положения его при разгрузке), и двумя концевыми выключателями, установленными на указателе глубины (регуляторе подъема) и предназначенными для дублирования работы концевых выключателей, установленных на копре;

б) аппаратом, включающим установку при превышении нормальной скорости на 15 %;

в) ограничителем скорости, не допускающим подхода подъемного сосуда к нормальному верхнему положению со скоростью выше 1,5 м/с, для действующих грузовых подъемных установок указанная скорость не должна превышать 2 м/с (эти требования обязательны для подъемных движущихся установок с максимальной скоростью выше 3 м/с);

г) максимальной и нулевой защитой, действующей при перегрузке машины и отсутствии напряжения.

Каждая подъемная машина должна иметь исправно действующие:

самопишущий скоростемер (для машин, движущихся со скоростью свыше 3 м/с), вольтметр и амперметр, манометры, показывающие давление сжатого воздуха или масла в тормозной системе. Угол отклонения (девиации струны каната) для вертикальных и вновь монтируемых наклонных установок (независимо от угла наклона выработки) на направляющих шкивах и барабанах одноканатных подъемных машин не должен превышать 1°30'; на бицилиндроконических барабанах допускается увеличение угла отклонения до 2° со стороны малого цилиндра барабана в случае выполнения его с желобчатой поверхностью; на проходческих направляющих шкивах и барабанах проходческих грузовых лебедок, а также на шкивах и барабанах действующих наклонных установок с углом наклона выработки менее 30° угол отклонения не должен превышать 2°30'. Во вновь монтируемых установках плоскость вращения направляющего шкива должна находиться внутри полного угла девиации струны каната.

Во вновь устанавливаемых одноканатных подъемных установках со шкивом трения направляющие шкивы на копре должны располагаться в одной вертикальной плоскости со шкивами трения.

Угол наклона струны канатов к горизонту для подъемных установок вертикальных стволов должен быть не менее 30° при ее длине свыше 45 м. В отдельных случаях при обосновании в проекте этот угол может быть снижен.

Длина струны каната без поддерживающих роликов должна быть, как правило, не более 65 м; если угол наклона струны к горизонту более 45°, допускается увеличение ее длины до 75 м.

Практическая работа № 7

ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Назначение и основные элементы тормозных систем подъемных машин.
2. Конструкции исполнительных органов тормозных устройств.
3. Приводы исполнительных органов тормозных устройств.
4. Системы управления тормозом подъемных машин.
5. Правила безопасности при эксплуатации тормозных устройств подъемных машин.

Тормозные устройства подъемных машин выполняют следующие основные функции:

создание необходимого усилия с целью регулирования скорости движения подъемных сосудов в режимах подъема-спуска груза и перегона порожних сосудов;

стопорение подъемной машины в конце подъемного цикла с целью удержания от вращения движущихся элементов подъемной машины и подъема в целом в период паузы;

остановка подъемной машины при требуемом положении подъемных сосудов при осмотре и ремонте ствола;

стопорение переставного барабана или его части при регулировании длин канатов и их смене (навеске);

остановка подъемной машины в аварийных ситуациях, которые возникают при отклонении режима работы от заданного.

Тормозное устройство состоит из *исполнительного органа*, *привода* и *системы управления*. Исполнительный орган непосредственно воздействует на тормозной обод органов навивки, а привод создает внешнее усилие, необходимое для торможения.

По характеру приложения тормозного усилия тормозные устройства подразделяют на *радиальные* и *осевые*.

Тормозные устройства с радиальным приложением усилия классифицируют:

по характеру перемещения колодок по отношению к тормозному ободу: с угловым, поступательным и комбинированным перемещением;

источнику тормозного усилия: веса груза, предварительно сжатых пружин, давления;

виду используемой энергии для регулирования тормозного усилия: гидравлические, пневматические.

Исполнительные органы тормозных устройств

1. *Исполнительный орган тормоза с угловым перемещением колодок* благодаря простоте конструкции и удобству в эксплуатации широко применяют на малых подъемных машинах.

Исполнительный орган тормоза с угловым перемещением колодок (рис. 7.1) состоит из тормозных балок *1* и *2*, шарнирно соединенных с подшипниковыми опорами *3*, которые укреплены на фундаменте. Тормозные балки соединены между собой тягой *4*, один конец которой прикреплен к задней тормозной балке, а другой к рычагу *5*, шарнирно соединенному с передней тормозной балкой. На тормозных балках укреплены тормозные колодки *6*, которые при торможении передают тормозному ободу тормозное усилие. Резьба на конце соединительной тяги *4* позволяет регулировать величину зазора между колодками и тормозным ободом барабана. Рычаг *5* с помощью штанги соединен с приводом тормоза. При движении штанги вниз или вверх рычаг поворачивается, в результате чего тормозные колодки прижимаются к тормозному ободу, производя торможение подъемной машины, или отходят от тормозного обода и растормаживают машину.

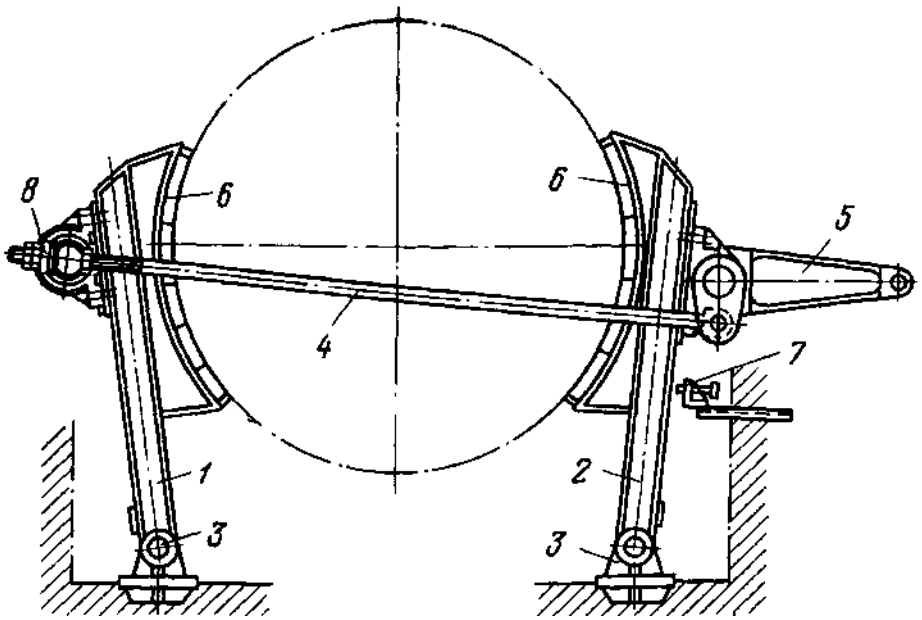


Рис. 7.1. Исполнительный орган с угловым перемещением колодок

Равномерный зазор между тормозным ободом и обеими колодками обеспечивается упором *7*, установленным на фундаменте.

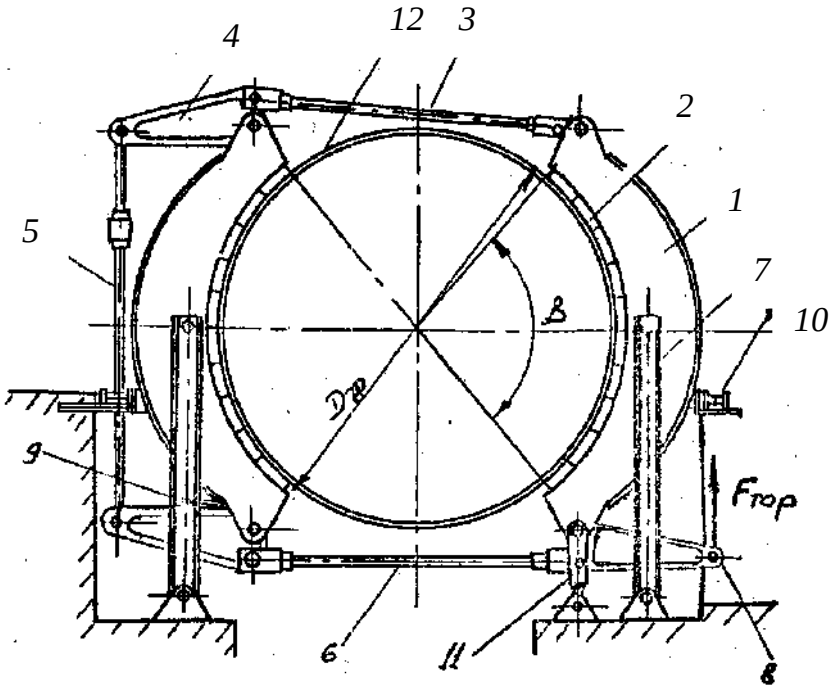
Колодки *6* изготовляются из мягких податливых пород дерева (верба, тополь, осина), в последнее время вместо деревянных колодок устанавливаются пресс-массовые, допустимое давление для которых составляет 1 МПа, а коэффициент трения равен 0,3.

Тормозные балки *1* и *2* при работе тормоза поворачиваются относительно своих осей на некоторый угол, в результате чего данный тормоз и получил название тормоза с угловым перемещением колодок. Угол контакта тормозной колодки с тормозным ободом составляет 80°. Радиальный зазор в горизонтальной диаметральной плоскости регулируется тягой *8*.

Достоинства данного типа тормоза: простота конструкции и легкость обслуживания.

Недостатки: неравномерный износ колодок; малые тормозные моменты, так как на колодке не полностью выбирается зона с максимальным удельным давлением; оба тормоза имеют один общий тормозной привод, что снижает надежность действия всей системы;

2. *Исполнительный орган тормоза с поступательным перемещением колодок* (рис. 7.2) имеет сравнительно большой угол обхвата тормозного обода колодками, и его применяют на многих крупных подъемных машинах типа ЦР, 2Ц и БЦК. Он состоит из двух тормозных балок *1* с пресс-массовыми колодками *2*, двух вертикальных стоек *7*, установленных на шарнирных опорах, трех треугольных рычагов *4*, тяг *3*, *5* и *6*, одна из которых имеет



регулировочную гайку.

Рис. 7.2. Исполнительный орган с поступательным перемещением колодок

Наличие дополнительной регулировочной стойки *10* обеспечивает параллельное, без перекосов, перемещение тормозных балок при торможении и растормаживании. Поступательное перемещение колодок обеспечивается установкой стоек *7* и *11*.

Упоры *9*, *10* и регулировочная гайка служат для установки и регулирования зазора между тормозными колодками и ободом. Усилие тормозного привода передается через систему рычагов *4*, *8*, *9* и тяг *3*, *5*, *6* на тормозные балки 1, которые прижимают тормозные колодки к ободу *12*, производя торможение подъемной машины. Растормаживание машины происходит за счет неуравновешенности веса элементов рычажной системы, в основном элементов тормозного привода-поршня, штанги, рычага.

Радиальный зазор в горизонтальной плоскости диаметра *11* регулируется тягами *3*, *5* и *6*. Угол контакта колодок *8* с тормозным ободом β = 100÷110°.

Для получения тормозного момента тормозное усилие прикладывается к рычагу *8* и направляется вверх.

Достоинства данного типа тормоза:

– большой угол обхвата тормозных колодок и равномерное распределение удельных давлений обеспечивают длительный срок службы тормозных колодок и хороший отвод тепла, выделяющегося при торможении;

– при одном и том же тормозном грузе исполнительный орган тормоза с поступательным перемещением колодок развивает тормозной момент, в 1,5-1,7 раза больший, чем исполнительный орган с угловым перемещением колодок;

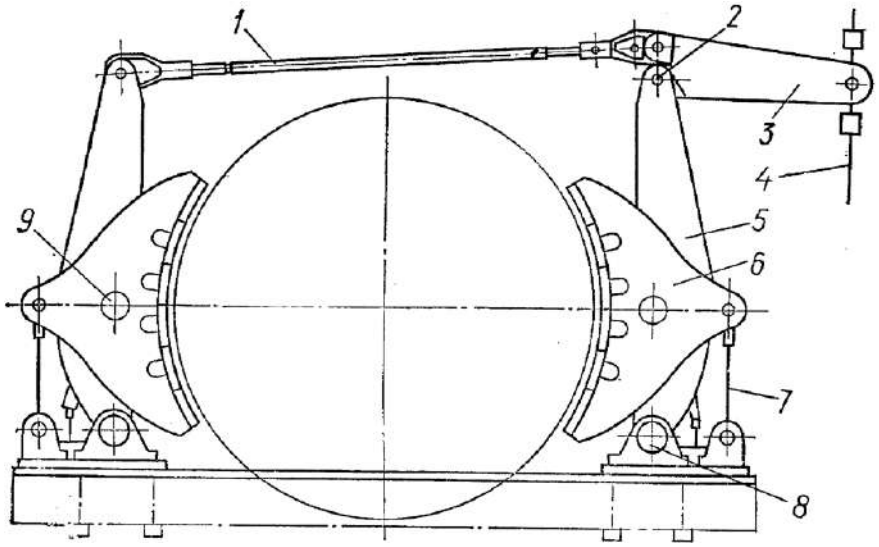
– колодки на вспомогательном органе тормоза с поступательным перемещением изнашиваются более чем в два раза медленнее, по сравнению с исполнительным органом тормоза с угловым перемещением колодок;

– применение индивидуального привода каждой колодки повышает надежность действия системы.

Недостатки: изготовление исполнительного органа тормоза с поступательным перемещением колодок, монтаж и регулировка его более сложны, чем исполнительного органа тормоза с угловым перемещением колодок, большие габариты.

3. *Тормоз с комбинированным перемещением колодок* изображен на рис. 7.3. Он состоит из шарнирных балок *6*, тормозных балок *5*, штанги

1, рычага *3*, натяжного устройства *7*, шарниров *2*, *8* и *9*. Тормозные балки 5 посредством тяги *1* и рычага *3* и шарнира *2* соединяются между



собой и образуют замкнутую рычажную систему.

Рис. 7.3. Исполнительный орган с комбинированным перемещением колодок

Для получения тормозного момента усилие прикладывается к рычагу *3* и направляется вниз.

Так как тормозные балки *5* при работе тормоза поворачиваются относительно своих осей, а натяжные устройства *7* обеспечивают поступательное перемещение шарнирных балок *6*, в результате этого перемещение колодки получается комбинированным.

Достоинства данного типа тормоза: большие тормозные моменты; равномерный износ колодок; индивидуальный привод каждого элемента.

Недостатки: сложность конструкции; затрудненное регулирование радиального зазора посредством тяги *1* и натяжных устройств *7*.

Тормозные приводы

Тормозные приводы являются источником тормозного усилия для рабочего и предохранительного торможения.

Тормозные приводы в зависимости от используемого вида энергии для регулирования тормозного усилия подразделяют на гидравлические и пневматические.

Гидравлические тормозные приводы в зависимости от вида используемого тормозного усилия подразделяют на гидрогрузовые и пружинно-гидравлические.

Пневматические тормозные приводы подразделяют на пневмогрузовые и пружинно-пневматические.

Гидрогрузовой тормозной привод (рис. 7.4) состоит из рамы *1*, рычага *2*, опоры *3*, четырехходового крана *4*, электромагнита *5*, жесткой обратной перестановки *6*, трехходового крана *7*, дифференциального рычага *8*, тяг прямой перестановки *9*, траверсы *10*, тяг *11*, рабочего цилиндра (РЦ) *12*, грузов *13* и дополнительной емкости *14*.

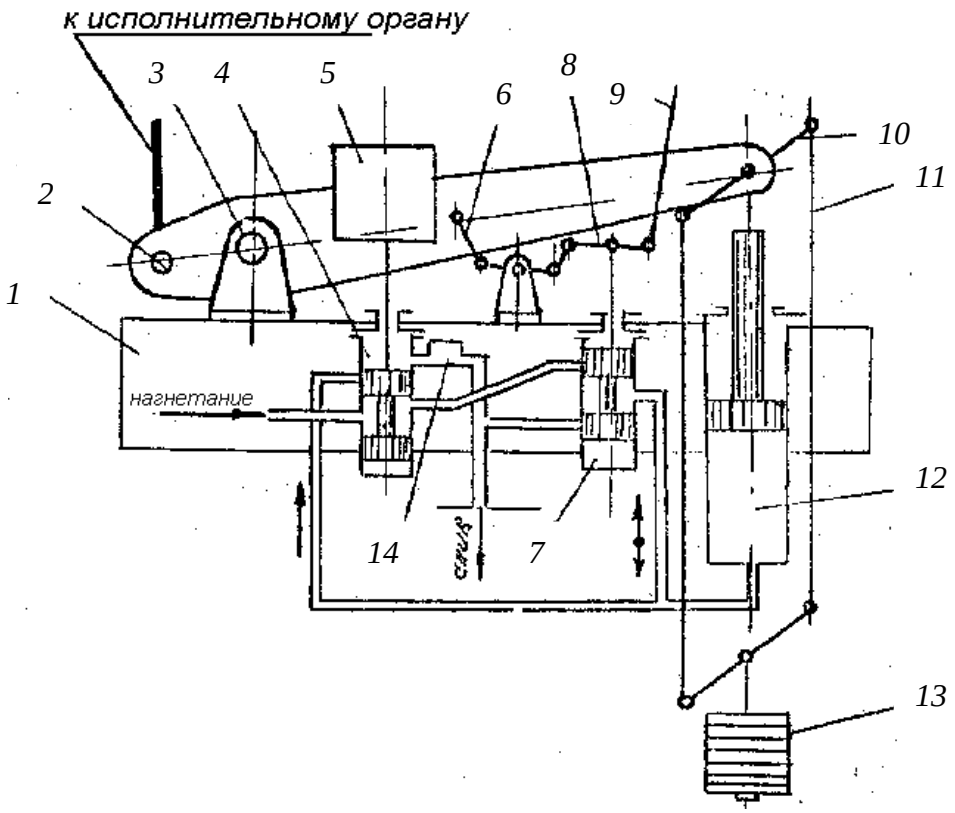


Рис. 7.4. Гидрогрузовой тормозной привод

Гидрогрузовым приводом снабжаются тормозные устройства подъемных машин типа БМ, 2БМ.

Устройство работает следующим образом. При растормаживании масло под давлением от четырехходового крана *4* поступает к трехходовому крану *7*, а затем в РЦ. В зависимости от величины команды трехходовый кран отрабатывает соответствующее давление.

При рабочем торможении масло из РЦ *12* через трехходовый кран *7* поступает на слив. При предохранительном торможении электромагнит *5* обесточивается, золотник четырехходового крана *4* перемещается вниз, отсекая от трехходового крана *7* нагнетание и соединяя РЦ *12* со

сливом, в результате чего масло из РЦ *12* поступает сначала в дополнительную емкость *14*, а затем на слив.

Следует иметь в виду, что максимальное ускорение поршня РЦ *12*, обеспечиваемое тормозными грузами *13* при предохранительном торможении, всегда меньше ускорения сил тяжести, в результате чего этот привод не обеспечивает нормы ПБ по быстродействию тормозного устройства в период холостого хода.

Достоинства привода: простота конструкции – классический пример использования гидропривода в горном машиностроении.

Недостатки: недостаточное количество устойчивых ступеней тормозного усилия; большая инерционность в отработке команды; не обеспечивает постоянного пропорционального соотношения между поворотом рукоятки управления и величиной тормозного усилия по причине износа колодок.

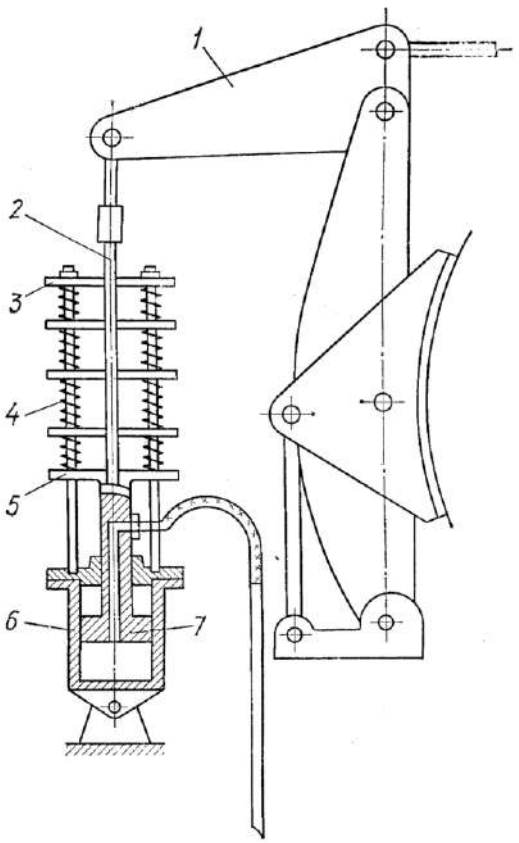


Рис. 7.5. Пружинно-гидравлический тормозной привод

Пружинно-гидравлический тормозной привод ярусного (этажного) исполнения изображен на рис. 7.5. Он состоит из рабочего цилиндра *6*, поршня *7* со штоком *2*, пружинного приводного блока, который включает нижнюю подвижную плиту *5*, пружину *4*, промежуточные опорные диски, верхнюю неподвижную плиту *3*, шпильки, гайки и шток *2*. Шпильки закреплены в корпусе цилиндра *6*.

Для получения расчетного тормозного момента пружинный приводной блок предварительно поджимается при помощи гаек между плитами *3* и *5* на величину, пропорциональную расчетному тормозному моменту.

Для растормаживания или снижения тормозного усилия масло под давлением из гидросистемы подается в рабочий цилиндр *6*, под действием сил давления поршень *7* со штоком *2*, нижней подвижной плитой *5* и штоком *2* перемещаются вверх, дополнительно сжимая пружинный приводной блок. Усилие передается через шток на тормоз, в результате чего происходит полный отвод колодок или их

перемещение в сторону понижения тормозного усилия, зависящего от величины поданной команды.

При затормаживании в зависимости от заданной команды масло из рабочего цилиндра *6* под действием усилия пружинного приводного блока выталкивается на слив, поршень *7* со штоком *2*, нижней подвижной плитой *5* перемещаются вниз (усилие от пружины передается на шток *2*). При перемещении нижней плиты *5* поджатие пружинного блока уменьшается. При нулевом избыточном давлении в рабочем цилиндре *6* на шток *2* передается полное расчетное значение тормозного усилия.

Приводами данного типа оснащаются тормозные устройства малых подъемных машин типа Ц и 2Ц с $D_б$ = 1,2; 1,6 и 2 м. Каждый исполнительный орган тормозного устройства снабжается индивидуальным приводом.

Тормозные устройства, оснащенные пружинно-гидравлическими приводами, обеспечивают нормы ПБ по быстродействию, так как пружинно-гидравлические приводы при предохранительном торможении обеспечивают ускорение, в несколько раз превышающее ускорение сил тяжести.

Достоинства пружинно-гидравлического привода: малогабаритность; обеспечивает высокое быстродействие.

Недостатки: максимальное тормозное усилие переменное и уменьшается в зависимости от износа колодок и поломки пружин в приводных блоках.

Пневмогрузовой тормозной привод (рис. 7.6) состоит из рамы *1*, рабочего цилиндра *2*, дифференциального рычага *3*, штанги *4*, цилиндра предохранительного торможения *5*, демпфера *6*, буферной пружины *7* и грузов *8*. К дифференциальному рычагу 3 подсоединены рабочий цилиндр *2*, посредством штанги *4* – цилиндр предохранительного торможения *5*.

Приводами данной конструкции оснащаются тормозные устройства крупных подъемных машин типа ЦР, 2Ц и БЦК. Каждый исполнительный орган оборудуется индивидуальными приводами.

При нормальной работе подъемной машины цилиндр предохранительного торможения *5* заряжен, в результате чего тормозные грузы находятся в верхнем крайнем положении.

При рабочем торможении машины сжатый воздух дозированного давления поступает в цилиндр *2* рабочего торможения, в результате чего поршень через вертикальную тягу передает определенное усилие

колодкам тормоза. Поворот дифференциального рычага при этом происходит вокруг его правого шарнира.

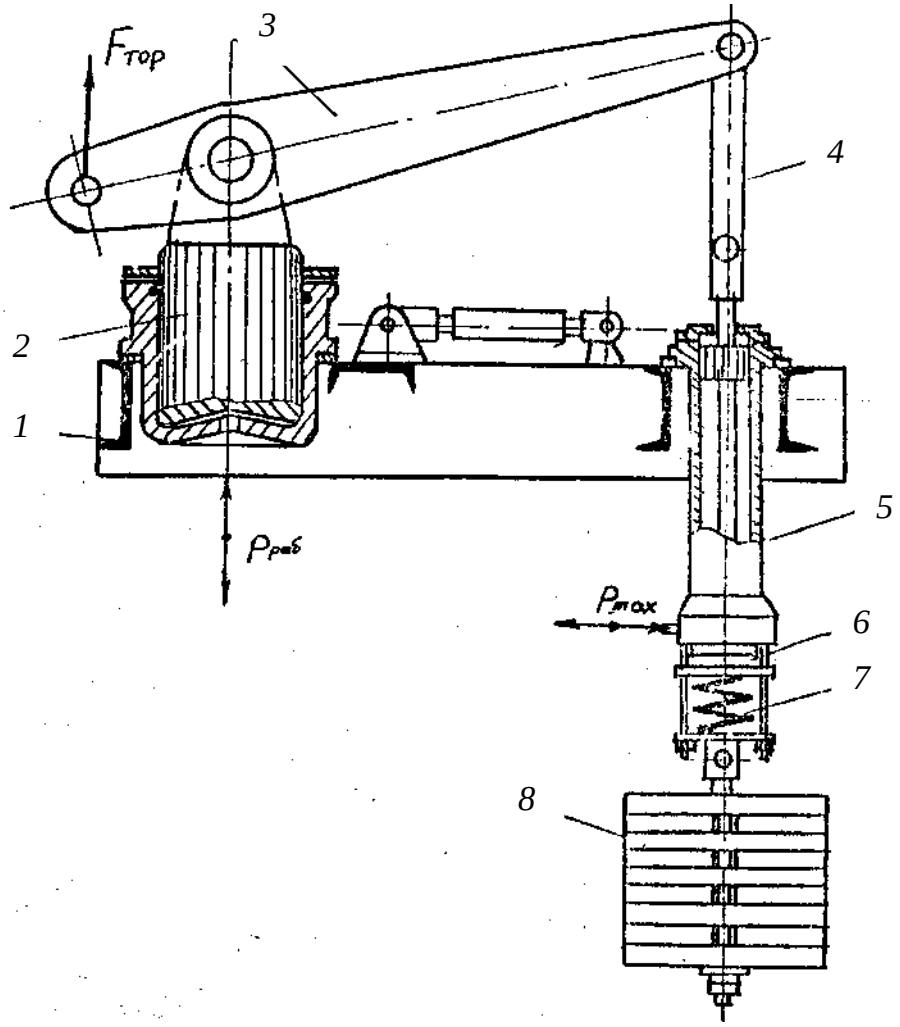


Рис. 7.6. Пневмогрузовой тормозной привод

При включении предохранительного торможения привод работает комбинированно следующим образом. В цилиндр рабочего торможения поступает сжатый воздух, чем создается первая ступень торможения, обеспечивающая мгновенное срабатывание тормоза. Одновременно электропневматическим клапаном осуществляется выпуск сжатого воздуха из цилиндра предохранительного торможения, груз опускается, а дифференциальный рычаг, поворачиваясь вокруг среднего шарнира, передвигает поршень на дно цилиндра рабочего торможения.

Величина давления в рабочем цилиндре ограничивается величиной, пропорциональной первой ступени тормозного усилия. Так как заполнение сжатым воздухом рабочего цилиндра *2* происходит очень быстро, а истечение сжатого воздуха из цилиндра *5* дросселируется, то

этот привод обеспечивает двухступенчатое предохранительное торможение и отвечает нормам ПБ по быстродействию.

Пружинно-пневматические приводы изготовляются в двух модификациях: пружинно-пневматические и пружинно-грузовые пневматические.

Пружинно-пневматический привод по конструкции аналогичен пружинно-гидравличесному.

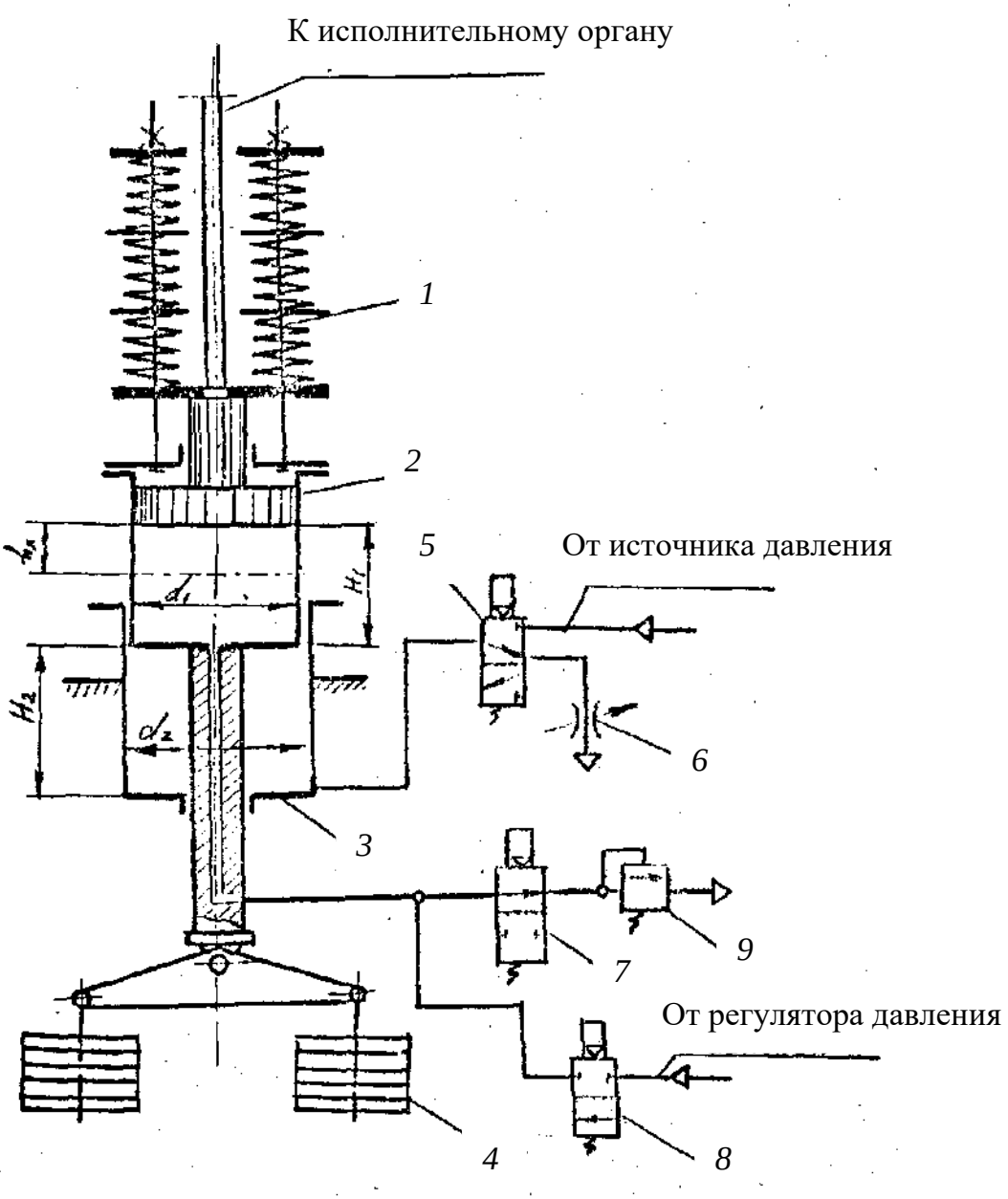


Рис. 7.7. Пружинно-грузовой пневматический тормозной привод

Пружинно-грузовой пневматический привод изображен на рис. 7.7, характерной особенностью его конструкции является наличие

телескопической сборки цилиндров – рабочего *2* и предохранительного *3* торможения.

Подготовка машины к работе заключается в заполнении сжатым воздухом цилиндра предохранительного торможения *3* через клапан *5*. Рабочее торможение осуществляется пружинами *1*, предварительно затянутыми на необходимое тормозное усилие. Растормаживание машины происходит в результате впуска сжатого воздуха в нижнюю полость цилиндра рабочего торможения *2*. При этом поршень поднимается вверх, сжимает пружины и тормозные балки расходятся. Управление процессом рабочего торможения осуществляется пневматическими клапанами *7, 8* и *9*.

Предохранительное торможение произойдет в случае срабатывания клапана *5*, при этом сжатый воздух из цилиндра *3* поступит в стравливающую магистраль *6*, а поршень под действием груза *4* опустится вниз, сжимая при этом тормозные колодки.

Тормозными приводами данных типов оснащаются тормозные устройства подъемных машин с цилиндрическими барабанами типа Ц и 2Ц с $D_б$ = 2,5; 3 и 3,5 м и все типы многоканатных подъемных машин типа ЦШ. Каждый исполнительный орган снабжается индивидуальным приводом. Телескопическое исполнение цилиндров предназначено для получения двухступенчатого предохранительного торможения.

Тормозное устройство с осевым приложением тормозного усилия

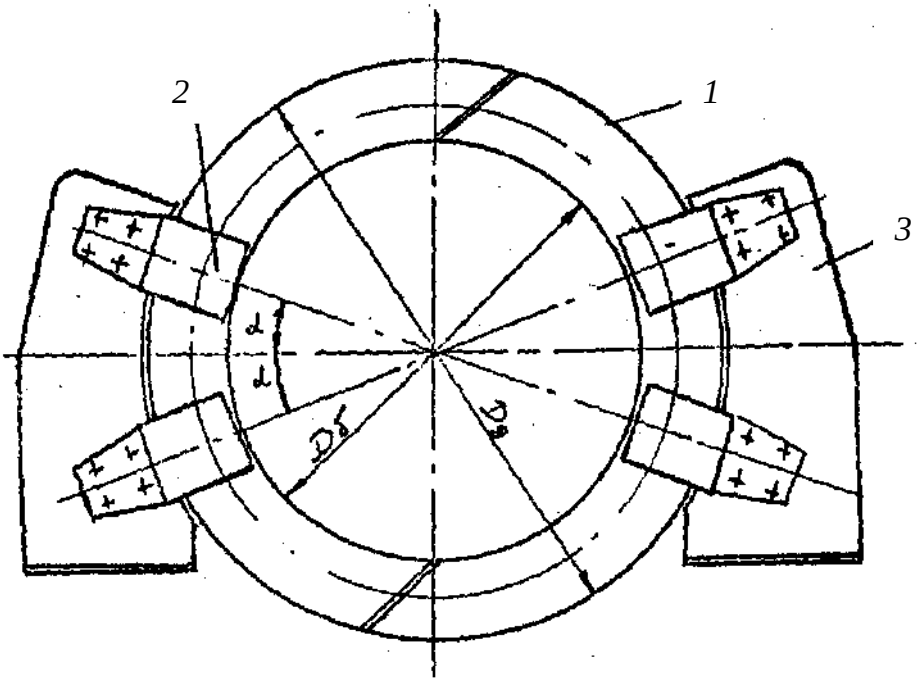
Тормозное устройство с осевым приложением тормозного усилия, или дисковое, изображено на рис. 7.8. Оно состоит из диска *1*, закрепленного на органе навивки и состоящего из двух половин, тормозных элементов *2*, которые крепятся на постаментах *3*. Для исключения дополнительных нагрузок на вал тормозные элементы располагаются симметрично по диаметральным осям. Постаменты крепятся на раме подъемной машины, что обеспечивает высокое качество сборки.

Тормозные элементы относительно диска располагаются попарно, каждая пара которых составляет элементарное тормозное устройство.

Каждый тормозной элемент *1* (рис. 7.9) состоит из рабочего цилиндра *2*, нажимной гайки *3*, пакета тарельчатых пружин *4*, поршня *5* со штоком *6*, тормозной колодки *7*, плиты крепления *8*, диска *9*. По трубопроводу *10* в рабочий цилиндр поступает рабочее тело.

В данных тормозных устройствах используется гидравлическая энергия, давление рабочего тела находится в пределах 6-20 МПа.

Достоинства данных тормозных устройств: высокое быстродействие – время холостого хода составляет 0,1-0,15 с;



многоэлементность тормозного устройства обеспечивает ступенчатое приложение тормозного усилия, что значительно снижает динамику подъема при предохранительном торможении; возможность получения регулируемого предохранительного торможения; исключает дополнительные усилия, действующие на коренной вал; получение больших тормозных моментов.

Рис. 7.8. Тормозное устройство с дисковым исполнительным органом

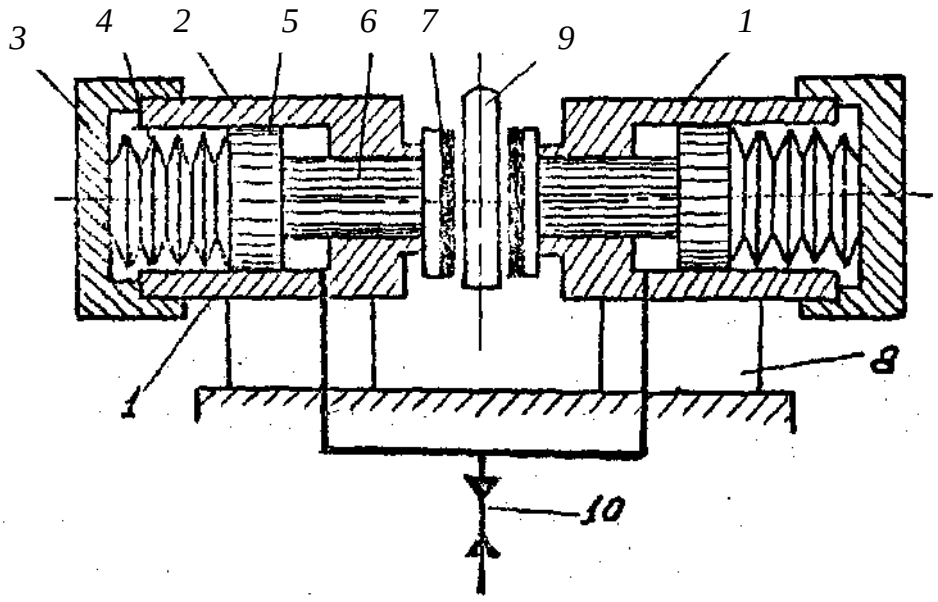


Рис. 7.9. Тормозной элемент

Недостатки: применение высокого давления рабочего тела снижает безопасность работы и требует определенной защиты.

Системы управления тормозными приводами

Системы управления обеспечивают регулирование тормозного усилия при рабочем и предохранительном торможении. *8* настоящее время в зависимости от типа подъемной машины используются следующие системы управления:

гидрогрузовым приводом;

пружинно-гидравлическими приводами; *10*

пневмогрузовыми приводами;

пружинно-пневматическими приводами;

пружинно-грузовыми пневматическими приводами;

дисковыми тормозами.

Система управления пружинно-грузовыми пневматическими приводами. Данной системой управления оборудуются большинство многоканатных подъемных машин типа ЦШ и однобарабанные подъемные машины типа Ц с $D_б$ = 2,5; 3 и 3,5 м.

Система управления (рис. 7.10) содержит источник давления *4*, нагнетательные трубопроводы *2* и *3*, ресивер *10*, фильтр *13*, *14*, маслораспылитель, блок управления рабочим торможением *7* и блок управления предохранительным цилиндром *8*.

Воздух, поступающий из воздухосборника в тормозную систему, очищается фильтром *7*. Для подачи масла в тормозную систему служит масленка *8*.

Цилиндры предохранительного торможения управляются с помощью воздухораспределительных клапанов К-1 и К-2, управление которыми, в свою очередь, осуществляется электропневматическими вентилями *9*.

Воздухораспределительные клапаны К-1 и К-2 работают следующим образом. При обесточенных электромагнитах МТП1 и МТП2 электропневматических вентилей *9* верхние полости клапанов соединены с атмосферой.

Клапан *10* под действием пружин и давления воздуха в нижних полостях, связанных с воздухосборником, находится в верхнем положении, соединяя цилиндры предохранительного торможения с атмосферой, т. е. происходит затормаживание машины предохранительным тормозом. При подаче напряжения на катушки

электромагнитов МТП1 и МТП2 сжатый воздух через вентиль *9* подается в верхние полости воздухораспределительных клапанов. Под действием сжатого воздуха клапаны *10* перемещаются вниз, разобщая цилиндры предохранительного торможения с атмосферой и соединяя их с воздухосборником. При этом происходит растормаживание машины предохранительным тормозом.

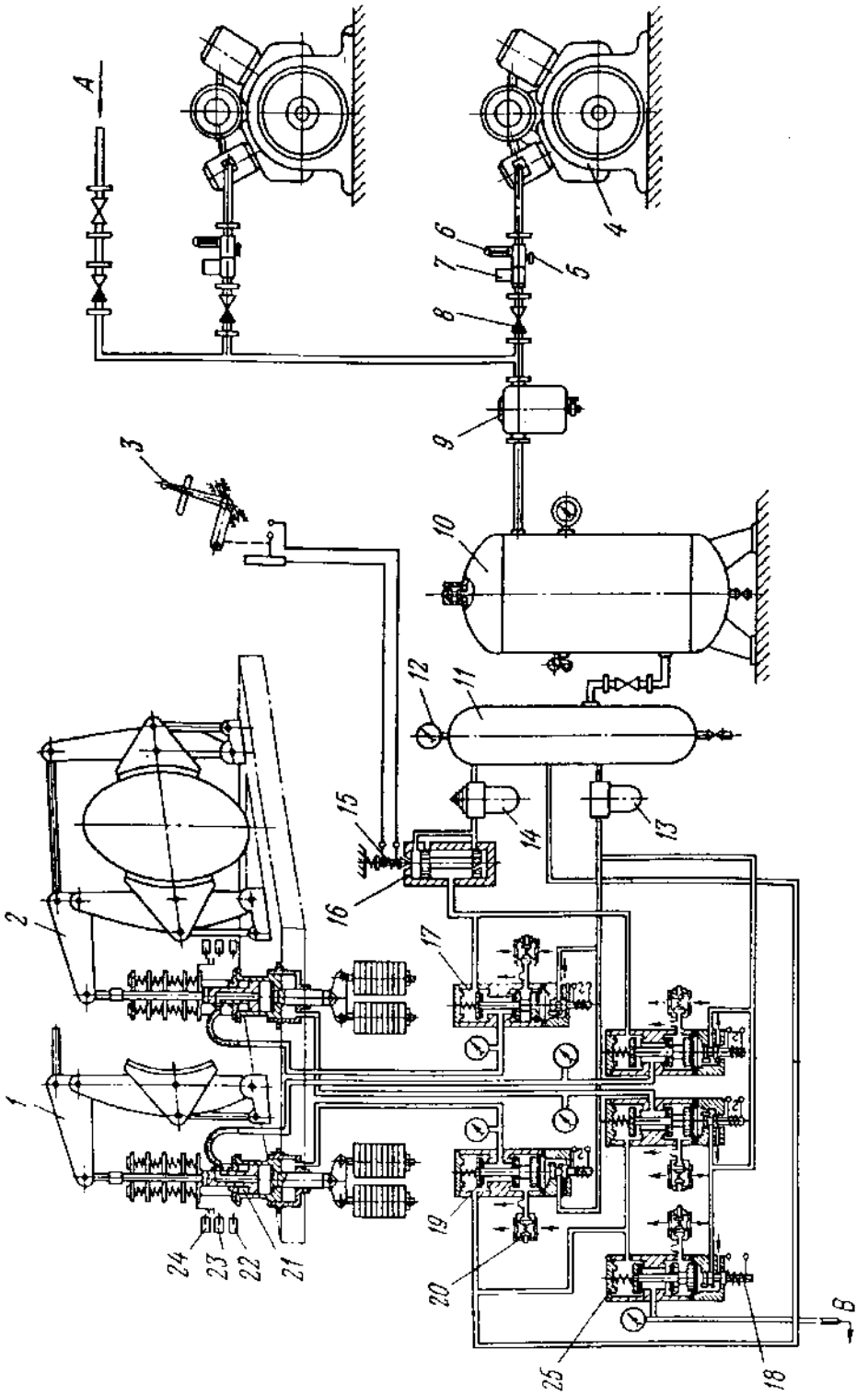


Рис. 7.10. Система управления пружинно-грузовыми пневматическими приводами:
1, 2 – угловые рычаги рычажной системы тормоза; *3* – рычаг управления машины; *4* – компрессор; *5* – температурное реле; *6* – термометр; *7* – электропневматический вентиль; *8* – обратный клапан; *9* – водомаслоотделитель; *10* – воздухосборник пневматической системы; *11* – воздухосборник панели управления тормозом; *12* – монометр; *13* – воздушный фильтр (влагоотделитель); *14* – маслораспылитель; *15* – электромагнитный клапан; *16* – регулятор давления; *17* – клапан управления тормозом; *18* – электромагнитный клапан; *19* – электромагнит; *20* – фильтр; *21* – цилиндры рабочего торможения; *22* – выключатель, контролирующий положение цилиндра рабочего торможения; *23* – выключатель износа тормозных колодок; *24* – выключатель контроля растормаживания машины; *25* – электропневматический клапан

Управление рабочим торможением осуществляется с помощью электропневматического регулятора РДББ. Воздух от регулятора давления подается непосредственно в цилиндр рабочего торможения привода *1* переставного барабана (переставной части барабана) – через воздухораспределительный клапан К-3. При работе машины по спуску или подъему груза электромагнит ММП-2 обесточен, благодаря чему цилиндр рабочего торможения привода *1* соединен с регулятором давления.

Расцепное устройство 11 механизма перестановки управляется воздухораспределительным клапаном К-4. При обесточенном электромагните ММП1, что соответствует нормальной работе машины по спуску и подъему груза, цилиндры механизма перестановки, а также нижняя полость воздухораспределительного клапана К-3 связаны с атмосферой. При расцеплении барабанов подается напряжение на электромагниты ММП1 и ММП2 и обесточивается электромагнит МТП1. При этом в пневматической схеме управления происходят следующие переключения. Сжатый воздух из воздухосборника через клапан К-4 подается в цилиндры механизма перестановки. Одновременно через клапаны К-4 и К-3 воздух подается в цилиндр рабочего торможения привода *1*, который клапаном К-3 отключается от регулятора давления. Из цилиндра предохранительного торможения привода *1* воздух выпускается в атмосферу клапаном К-1. Благодаря этому переставной барабан оказывается надежно заторможенным, а привод *2* тормоза заклиненного барабана управляется, как и при работе машины с соединенными барабанами.

Включатели ВИК1 и ВИК2 являются блокировочными выключателями от износа тормозных колодок. При износе колодок, близком к предельному, подается предупредительный сигнал включателями ВИК3 и ВИК4. Выключатели ВКД1 и ВКД2 служат для контроля давления воздуха в цилиндрах предохранительного торможения, а реле давления РД1 и РД2 – для контроля давления воздуха в цилиндрах рабочего торможения. Включателями КВП1 и КВП2 осуществляется контроль положения расцепного устройства *11*.

Правила безопасности при эксплуатации тормозных устройств подъемных машин

В соответствии с Правилами безопасности в шахтах и Правилами технической эксплуатации шахт, в каждой подъемной машине предусмотрены два способа механического торможения – рабочее и предохранительное, которые должны иметь два независимых друг от

друга механизма включения привода тормоза. Эти способы торможения могут быть осуществлены одним или двумя тормозными устройствами. Поэтому тормозное устройство каждой шахтной подъемной машины должно обеспечивать:

- выполнение заданного режима подъемных сосудов и остановки их в нужном положении (рабочее торможение);
- остановку машины в случае нарушений, которые могут стать причиной аварии (предохранительное торможение).

Для выполнения этих операций каждая подъемная машина должна иметь рабочий и предохранительный тормоза.

Отечественные подъемные машины не имеют раздельных рабочих и предохранительных тормозов, однако тормозное устройство каждой подъемной машины имеет раздельные и независимые друг от друга механизмы включения привода тормоза для осуществления рабочего и предохранительного торможений. Тормозное устройство, у которого детали привода тормоза при предохранительном торможении перемещаются с ускорением, превышающим ускорение свободного падения, называется быстродействующим.

При каждой подъемной машине должна быть детальная схема тормозного устройства с указанием основных размеров.

Наиболее ответственным элементом тормоза, требующим постоянного и внимательного наблюдения, являются тормозные колодки, так как они служат исполнительным звеном, передающим тормозное усилие на обод вращающегося барабана или шкива трения подъемной машины.

К материалам, применяемым для тормозных колодок, предъявляются особые требования: высокое значение коэффициента трения (не менее 0,35); неабразивность; высокая износоустойчивость; способность выдерживать высокие температуры (до 200-250 °С) в течение длительного времени без снижения качества торможения; нечувствительность к воздействию воды и масла; хорошая обрабатываемость и высокая прочность. В настоящее время тормозные колодки для малых, крупных и многоканатных подъемных машин изготовляют из специальных пресс-масс-полипластикатов (ПП–45).

Предохранительное торможение подъемной машины должно производиться грузом или пружинами. Количество пружин, создающих тормозное усилие, должно быть таким, чтобы при поломке одной из них тормозное усилие в целом не уменьшалось более чем на 15 %.

Для грузолюдских подъемных установок с пружинными приводами обязательно наличие двух приводов. Исполнительный орган

предохранительного тормоза должен быть колодочного типа и действовать на тормозные шкивы, находящиеся на валу органа навивки и скрепленные с ободом этого органа.

Предохранительное торможение должно осуществляться как машинистом, так и автоматически. Включение предохранительного торможения должно сопровождаться автоматическим отключением подъемного двигателя от сети.

Продолжительность холостого хода предохранительного тормоза не должна превышать для подъемных машин 0,5 сек. Под холостым ходом тормоза подразумевается время, протекающее с момента включения предохранительного тормоза до прикосновения тормозных колодок к ободу.

На вертикальных и наклонных подъемах с углом наклона свыше 30° тормозной момент при предохранительном торможении должен быть не менее трехкратного статического момента вращения при подъеме или спуске расчетного для машины груза. Рабочий тормоз в случае необходимости должен обеспечивать возможность получения тормозного момента такой же величины.

Время срабатывания предохранительного тормоза (с учетом времени холостого хода) не должно превышать 0,8 сек. Под временем срабатывания тормоза следует понимать время, протекающее с момента включения предохранительного тормоза до нарастания тормозного момента, равного по величине статическому.

Главный механик шахты не реже одного раза в 15 дней должен производить проверку правильности работы предохранительного тормоза и всех выключателей против переподъема путем искусственного переподъема при замедленной скорости.

Помимо тормоза на случай регулирования положения барабанов или ремонта тормозного устройства в каждой подъемной машине должно быть предусмотрено специальное устройство.

По ПБ через 6 месяцев после ревизии и наладки осуществляются проверка и испытания всех элементов ПУ, включая тормозные системы, комиссией с участием главного механика и представителя предприятия.

Объем технического осмотра и испытания регламентируются «Инструкцией по техническому осмотру и испытанию эксплуатационных и проходческих подъемных установок», утвержденной в установленном порядке. О проведенном осмотре и испытании составляется акт, утверждаемый главным механиком предприятия.

Практическая работа № 8
ЭЛЕМЕНТЫ НАКЛОННОГО ПОДЪЕМА

Целью работы является изучение следующих вопросов:

1. Основные схемы наклонных подъемников.
2. Конструктивные элементы наклонного подъема для подземных выработок:
   - 2.1. Конструкции клетей.
   - 2.2. Конструкции скипов.
3. Конструктивные элементы наклонного подъема для карьеров:
   - 3.1. Грузовой подъем
   - 3.2. Скиповой подъем
4. Конструкции вспомогательного оборудования наклонного подъема.
5. Правила безопасности при эксплуатации наклонных подъемников.

Схемы наклонных подъемных установок

Существует большое разнообразие применяемых схем наклонных подъемных установок, но следует выделить основные широко применяемые схемы (рис. 8.1):

одноканатная двухконцевая подъемная установка (см. рис. 8.1, *а*);

многоканатная установка с бобинами (см. рис. 8.1, *б*);

многоканатная установка с барабаном трения (см. рис. 8.1, *в*);

одноканатная установка с блоковыми подъемниками (см. рис. 8.1, *г*).

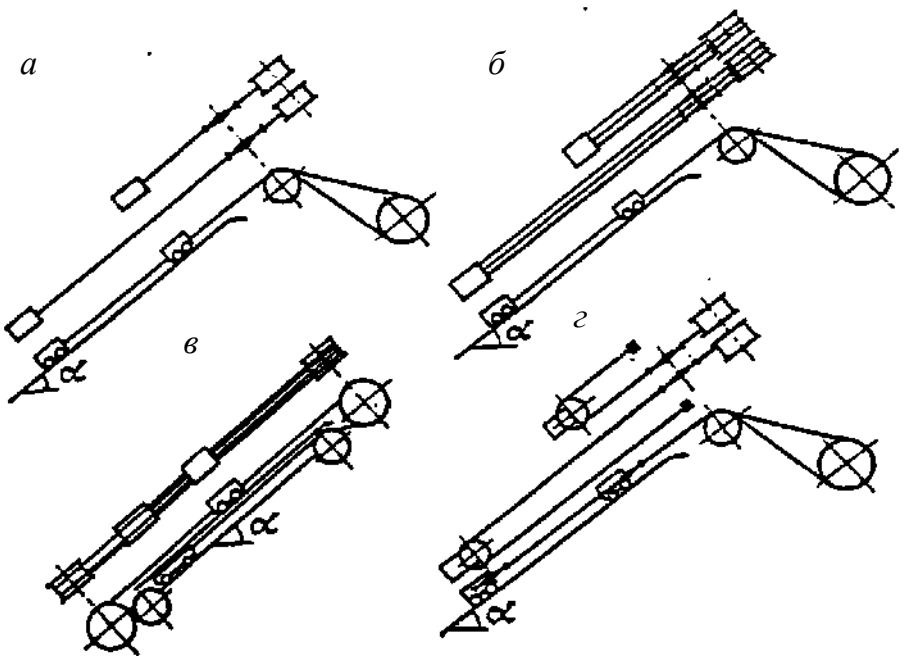


Рис. 8.1. Схемы карьерных канатных установок

Клети

Клети для наклонных стволов, как правило, применяют для выполнения вспомогательных операций, обеспечивающих доставку людей и транспортирование вагонеток и платформ с материалами и оборудованием, а также для доставки вагонеток с углем или породой.

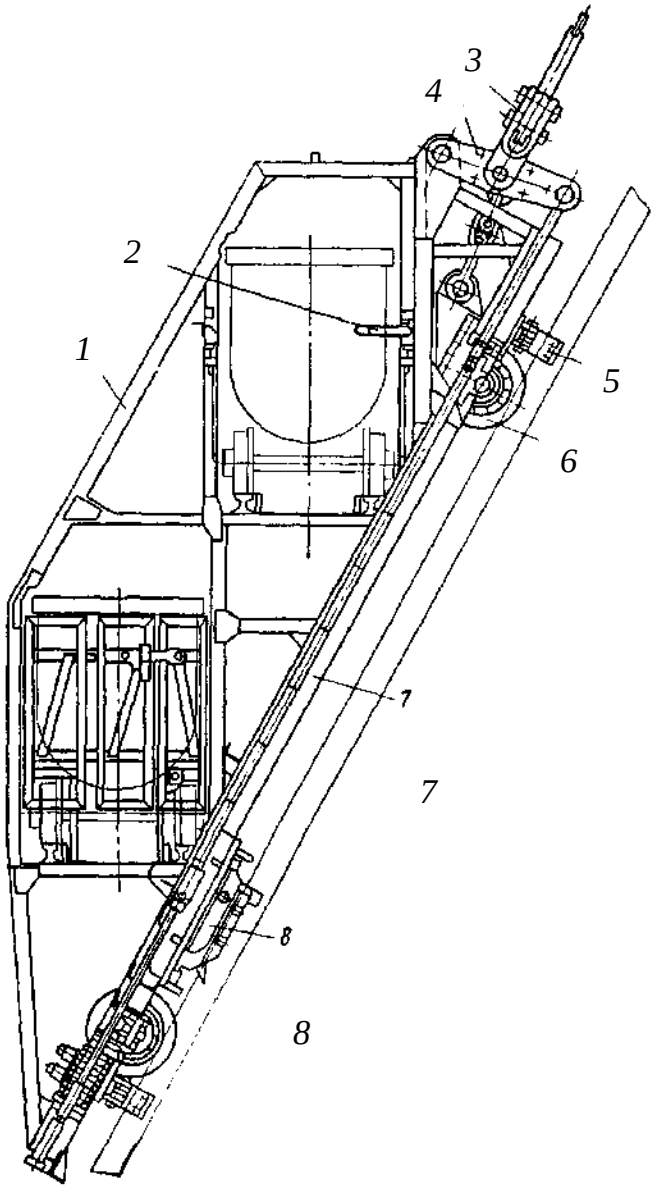


Рис. 8.2. Общий вид двухэтажной клети наклонного подъема с парашютом МакНИИ

По количеству этажей клети бывают одно- и двухэтажными. Несмотря на использование разных парашютов для всех клетей, применяются подвесные устройства одного типа – двухстоечное присоединение с равноплечей траверсой и предохранительными цепями. Для удержания вагонеток в клетях используются две конструктивные разновидности стопоров: автоматические с захватом за колеса или верхние ручные с захватом за кузов вагонетки.

Клеть с парашютом МакНИИ (рис. 8.2) состоит из рамы *7* с металлоконструкцией кузова *1*, ходовой части, стопорного *2* парашютного *8* подвесного *4* и прицепного *3* устройств. Рама и металлоконструкция кузова клети выполнены из швеллеров и угольников, связанных между собой заклепками. С целью размещения вагонеток в клети, сидения для людей выполняют откидными. Пол каждого этажа наклонен к основной раме под углом, для которого предназначена клеть. Клеть имеет крышу из сплошного стального листа.

Верхняя торцовая стенка представляет собой откидную крышку для загрузки в верхний этаж леса труб и других длинномерных материалов.

Для удержания вагонеток в клети предусмотрены ручные верхние стопоры. При спуске и подъеме людей навешиваются двери, открывающиеся внутрь и имеющие наружный запор. На раме установлены четыре скользящих башмака *5*, которые в момент торможения клети предотвращают отрыв колес *6* от рельсов.

Ходовая часть клети состоит из двух полускатов: переднего – жесткого и заднего – балансирного. Подвеска кузова клети в трех точках обеспечивает устойчивое движение клети по рельсовому пути со значительными неровностями.

Клеть с парашютами типа ПКЛ (рис. 8.3) состоит из кузова *1*, стопоров вагонеток *2*, подвесного *3* и прицепного *4* устройств, направляющих роликов *6* для направления движения тормозного каната *5*, рельсовых направляющих башмаков *7*, ловителя парашюта *8*, рамы ходовой части *9* и полускатов *10*. Такая конструкция обеспечивает повышенную надежность улавливания сосуда в аварийной ситуации и улучшение проходимости клети по рельсовому пути со значительными неровностями за счет применения парашютов с захватом за тормозной канат.

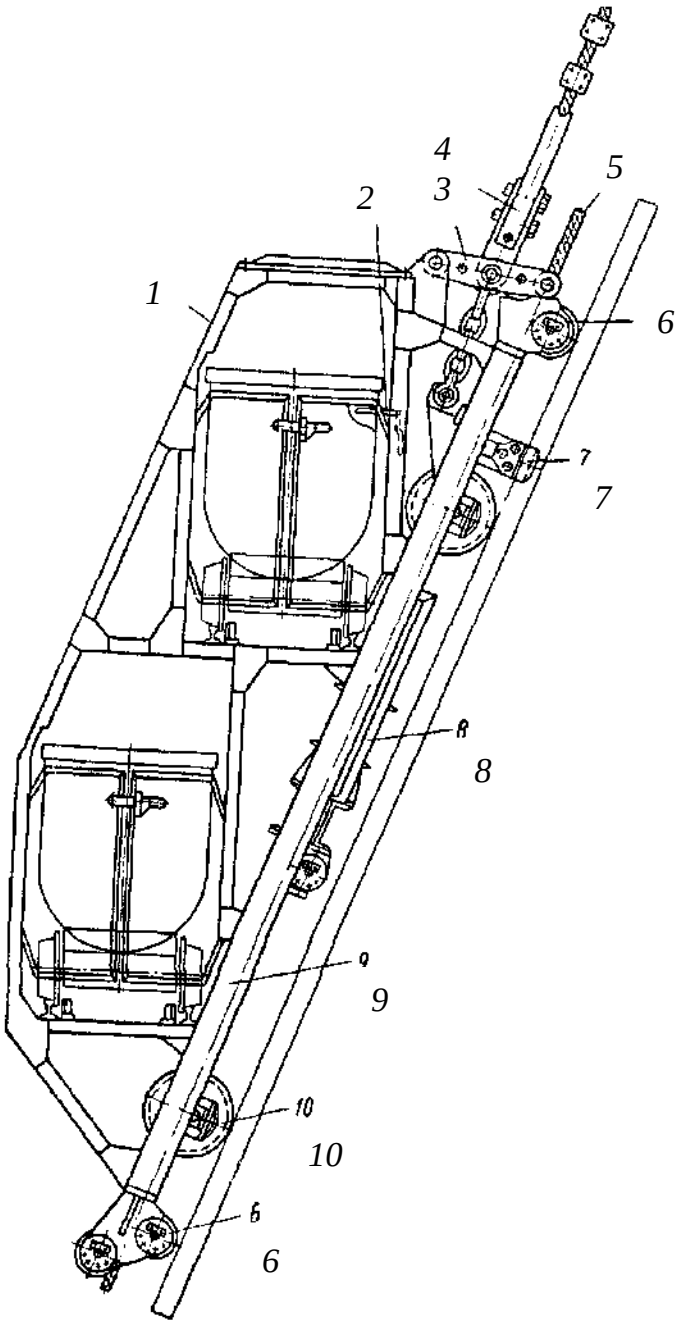


Рис. 8.3. Общий вид двухэтажной клети наклонного подъема с парашютом типа ПКЛ

Установка парашюта ПКЛ обусловила основные отличия отдельных элементов клети от клети вышеописанной конструкции: наличие по

концам рамы клети специальных направляющих роликов для тормозного каната; наличие специального механизма автоматического включения; изменения в конструкции рамы, обусловленные размещением парашюта.

Помимо отмеченных преимуществ применение парашютов ПКЛ обеспечило возможность уменьшения высоты клети, что позволило эксплуатировать данные сосуды в выработках меньшего сечения.

Вагонетки для перевозки людей

При транспортировке людей в большинстве случаев применяются наклонные подъемники, оборудованные специальными вагонетками для перевозки людей. Вагонетки применяют тех же конструкций, что и при перевозке людей по наклонным стволам шахт.

Вагонетки для перевозки людей по наклонным выработкам применяются как для одиночной работы, так и в составах из одной или нескольких прицепных вагонеток. Головные вагонетки имеют устройства для соединения с тяговым канатом и с прицепными вагонетками. Прицепные вагонетки по обоим концам снабжены промежуточными сцепками для присоединения к головной или другим прицепным вагонеткам.

В угольной промышленности эксплуатируются три типа вагонеток: для углов наклона от 6 до 30° – ВЛ-30; для углов наклона от 6 до 50° – ВЛ-50; для углов наклона от 40 до 80° – ВЛ-1 и ВЛ-2.

Каждый тип имеет два типоразмера, различающихся по числу посадочных мест для пассажиров и по допустимой скорости движения.

Все вагонетки имеют принципиально одинаковое устройство (рис. 8.4) и различаются лишь конструктивным оформлением отдельных узлов и механизмов. Вагонетка состоит из кузова *1* с сиденьями для людей, ограничителя скорости *2*, головной сцепки *3*, передней *4* и задней *8* тележек, рельсового захвата *5*, тормозной каретки *7* с тягой привода парашюта *6*, ходовой части, прицепного и парашютного устройств. Парашютные устройства всех вагонеток построены по одному принципу, состоят из тормозной каретки, ее привода и амортизаторов, конструктивное исполнение которых в каждом типе определено в зависимости от предельного угла наклона пути.

Вагонетки ВЛ-1 и ВЛ-2 (рис. 8.5) состоят из кузова *1*, головного прицепного устройства *2*, полускатов *3*, тормозной каретки парашюта. Эти вагонетки имеют парашютное устройство *4*, принципиально аналогичное парашютному устройству вагонеток ВЛ–50, однако дополнительно у верхнего и нижнего полускатов вагонетки имеются

специальные лапы 5, постоянно охватывающие головки рельсов и исключающие потерю связи вагонетки с рельсами.

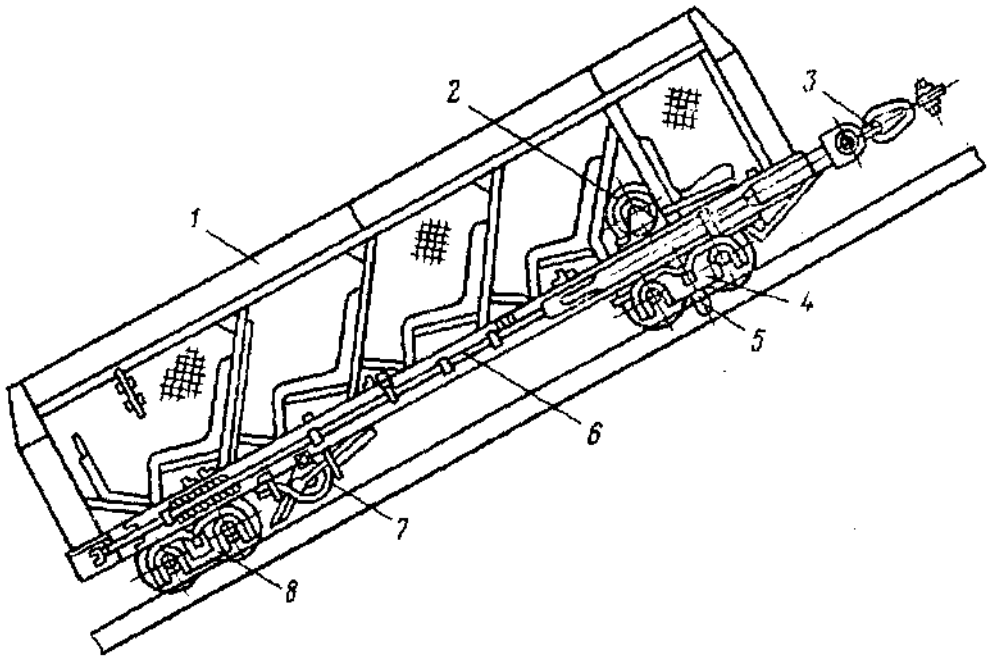


Рис. 8.4. Общий вид вагонетки ВЛ-50

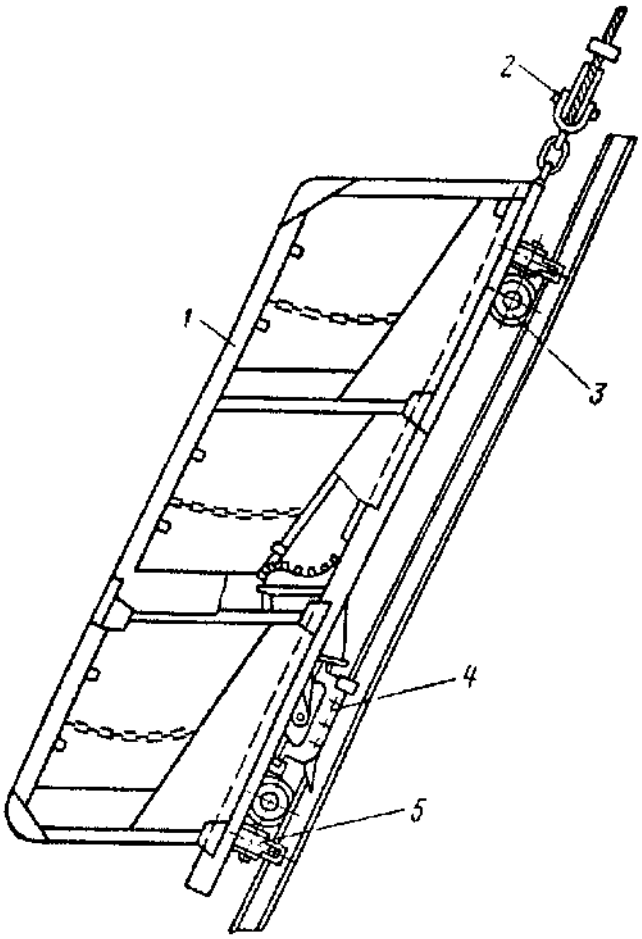


Рис. 8.5. Общий вид вагонеток ВЛ-1 и ВЛ-2

Парашютное устройство включается автоматически при обрыве каната или сцепки. К тому же у вагонеток ВЛ-30 и ВЛ-50 парашютное устройство приводится в действие от ограничителя скорости и от рукоятки ручного привода, размещенной у передней стенки вагонетки перед первым сиденьем.

При превышении скорости на 15-20 % происходит автоматическое срабатывание привода.

Включение парашютов ручным приводом производится поворотом рукоятки «на себя». Рукоятки ручного привода сделаны съемными, чтобы в составе оставалась только одна рукоятка у места кондуктора.

На вагонетках ВЛ-1 и ВЛ-2 (см. рис. 8.5), предназначенных для стволов с большими углами наклона, нет возможности обозревать путь. Поэтому кондуктор не сопровождает вагонетку и нет необходимости в установке ручного привода парашюта.

При срабатывании парашютного устройства тормозная каретка резко затормаживается, а вагонетка продолжает двигаться. При этом резцы неподвижной каретки прорезают деревянные брусья-амортизаторы, закрепленные на раме. Ход вагонетки плавно тормозится. После аварийного торможения деревянные брусья-амортизаторы заменяют новыми.

Вагонетки ВЛ весьма надежны и обеспечивают полную безопасность доставки людей по наклонным стволам.

Парашютные устройства

Парашютные устройства для людских вагонеток подразделяют в зависимости от углов наклона выработок (от 6 до 30°, от 6 до 50° и от 40 до 80°), которые и определяют типы применяемых вагонеток (ВЛ-30, ВЛ-50, ВЛ-1 и ВЛ-2).

Парашюты (рис. 8.6) вагонеток ВЛ-30, опорой для ловителей которых служит верхнее строение рельсового пути, состоят из тормозной каретки *1*, резцов *2*, упоров *3*, деревянных брусьев – амортизаторов и механизмов автоматического и ручного включения.

Тормозная каретка размещена в раме вагонетки и может перемещаться вдоль нее от передней до задней тележки ходовой части. В задней части корпуса каретки установлены оси, на которые свободно надеты упоры и резцы. Положение резцов фиксируется прорезью в листе рамы. В транспортном положении упоры подняты над рельсами и удерживаются защелками.

В средней части корпуса каретки установлен валик выключающего механизма, на котором закреплены выключающая вилка и защелки. Поворот валика ограничен пружиной. Эта же пружина возвращает вилку в рабочее положение.

В передней части каретки размещены ограничители глубины внедрения упоров. Для установки тормозной каретки в транспортное положение на раме смонтирован механизм возврата.

Кулак, закрепленный на тяге, при срабатывании привода парашюта отклоняет включающую вилку. Вместе с вилкой поворачивается валик и закрепленные на нем защелки, которые освобождают кулаки. Тормозные упоры падают под действием массы, внедряясь концами в полотно пути.

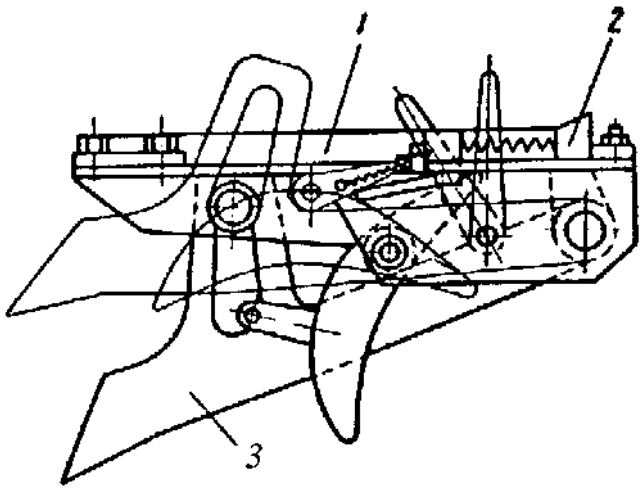


Рис. 8.6. Тормозные каретки парашютов вагонетки ВЛ-30

Тормозная каретка при этом останавливается, а вагонетка продолжает свое движение и набегает на резцы деревянными брусьями-амортизаторами, закрепленными на раме ходовой части.

Резание амортизаторов резцами погашает скорость и плавно останавливает вагонетку. К концу торможения каретка переходит из первоначального положения в конечное у задней тележки ходовой части вагонетки.

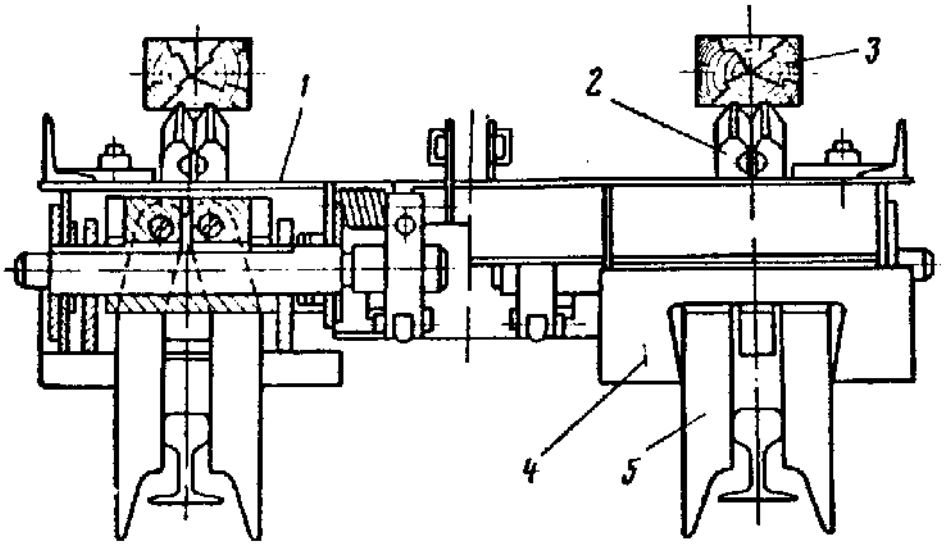


Рис. 8.7. Тормозные каретки парашютов вагонетки ВЛ-50

Парашюты вагонеток ВЛ-50, ВЛ-1 и ВЛ-2 (рис. 8.7) отличаются от вышеописанных применением в них вместо падающих упоров рельсовых захватов *5*, расположенных в клиновых коробках *4*. Рельсовые захваты обеспечивают остановку тормозной каретки *1* путем жесткого захвата головок рельсов. Плавность остановки обеспечивается врезанием резцов *2* в амортизационные брусья *3*. Кроме того, в вагонетках ВЛ-1 и ВЛ-2 не предусмотрено ручное включение парашютов.

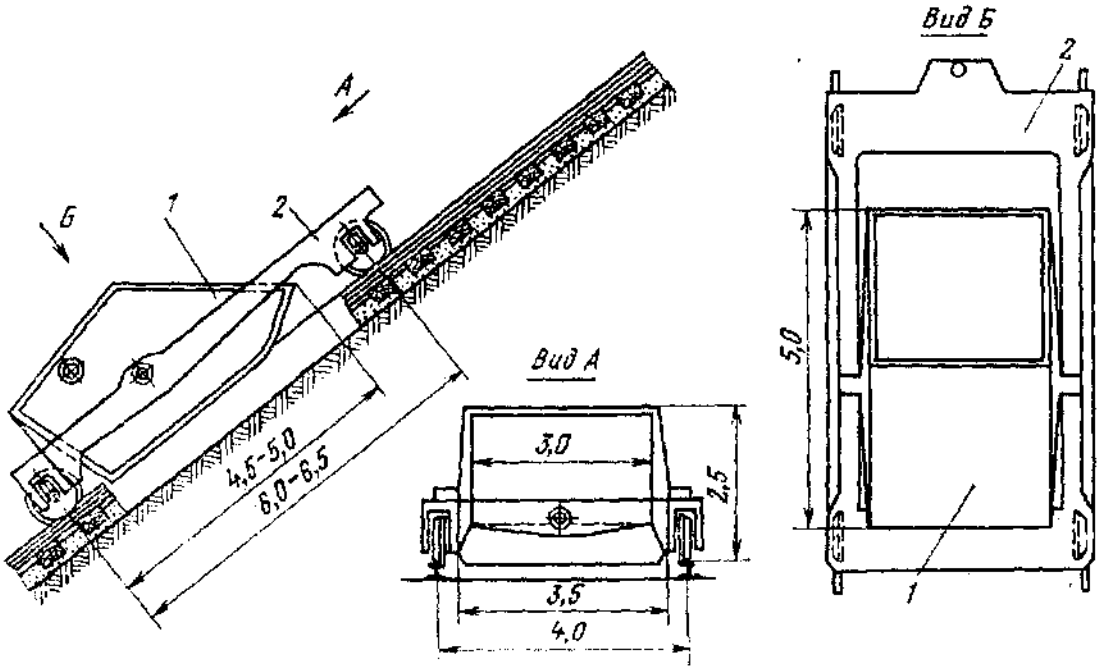
Элементы наклонного подъема для карьеров

Скипы наклонных подъемников

Транспортировка горной массы из карьера наклонными канатными подъемниками может производиться в скипах, клетях и большегрузных железнодорожных вагонах. Для перевозки людей применяют клети специальной конструкции. Скипы для наклонных подъемных установок применяют двух типов: опрокидные и с донной разгрузкой. Наибольшее применение имеют опрокидные скипы. Конструкция скипа должна обеспечивать его устойчивость при больших скоростях движения (до 12 м/с), скип должен иметь достаточную прочность при минимальной его массе, при разгрузке скипа не должны возникать большие динамические усилия, действующие на подъемный канат и подъемную машину; конструкция скипа должна быть простой и обеспечивать длительный срок эксплуатации. При применении в качестве внутрикарьерного транспорта автотранспорта емкость скипа для упрощения организации работ при его загрузке должна быть равна или кратна грузоподъемности автосамосвала. Устойчивость скипа достигается большей его шириной и низкой посадкой, поэтому при больших скоростях движения скипа ширина колеи рельсового пути, по которой перемещается скип, должна быть больше нормальной и при грузоподъемности скипа 50-80 т достигает 3- 5 м в зависимости от конструкции скипа и схемы подъема.

Конструктивная схема опрокидного скипа грузоподъемностью 50 т показана на рис. 8.8. Конструкция скипа обеспечивает простоту загрузки и разгрузки. Разгрузка происходит плавно без значительных динамических усилий. В зависимости от грузоподъемности опрокидной скип может иметь тележку с двумя или четырьмя осями. Кузов скипа *1* представляет собой сосуд сварной конструкции, опирающийся своей хвостовой частью на раму *2* тележки и связанный с ней своей осью. При движении тележки по разгрузочным кривым верхней приемной

площадки выступы, расположенные на боковых стенках задней части кузова скипа, попадают в направляющие кривые, расположенные под



углом к траектории движения тележки. Вследствие этого кузов поворачивается вокруг оси, и горная масса высыпается в бункер.

Рис. 8.8. Схема опрокидного скипа для наклонного подъема

Усилия, действующие на боковые выступы (ролики) скипа, при разгрузке сравнительно невелики, так как ось, связывающая кузов скипа с рамой, расположена эксцентрично относительно центра тяжести кузова и при опрокидывании используется вес самого кузова и находящейся в нем горной массы. При движении разгруженного скипа вниз разгрузочные кривые, воздействуя на ролики кузова скипа, возвращают кузов в исходное положение. Форма кузова данного скипа рассчитана для загрузки подъема горной массы по трассе с уклоном от 37 до 40°.

Опрокидные скипы, используемые на шахтах, имеют конструкцию, несколько отличающуюся от конструкции карьерных скипов. Они состоят из кузова на колесном ходу и жестко соединенной с ним рамы с прицепным устройством. Кузов опрокидного скипа представляет собой прямоугольный короб с пониженной передней стенкой, через которую осуществляется выгрузка.

Загрузка при больших углах наклона пути (более 40°) производится также через переднюю стенку, а для меньших углов наклона – через верх.

Канат присоединяется к тяговой раме с помощью шарнирно укрепленного коуша. Это сделано для того, чтобы обеспечить возможность поворота рамы по отношению к канату, необходимого при движении по разгрузочным кривым. Колеса передней оси скипа имеют нормальный обод и всегда двигаются по рельсам основного пути. Задние колеса, кроме ходового обода, снабжены дополнительными соосными катками уменьшенного диаметра.

В месте разгрузки кроме основного пути имеется расширенная поднимающаяся колея разгрузочного пути. На этом участке при движении рамы вместе с тяговым канатом катки задней оси, двигаясь по дополнительным разгрузочным рельсам, приподнимаются. При этом кузов наклоняется вниз в направлении оси передних колес и разгружается.

Достоинства скипов описанного типа – простота конструкции и сравнительно небольшой собственный вес (по отношению к скипам с разгрузкой через заднюю стенку).

Опрокидным скипам присущи недостатки, характерные вообще для опрокидных сосудов, заключающиеся, прежде всего, в неуравновешенности масс в период разгрузки и, как следствие, ослаблении натяжения каната.

На рис. 8.9 показана схема скипа с разгрузкой через заднюю стенку. Скип состоит из рамы *1* и кузова *2*. Кузов снабжен секторным затвором *3*, выполняющим роль задней стенки. Затвор оборудован по обеим сторонам разгрузочными роликами *4* и связан с кузовом шарниром *5*. Передняя пара колес *6* имеет большую ширину обода по сравнению с задней парой *7*. Разгрузка скипа (рис. 8.10) происходит за счет того, что колея нормальной ширины имеет изгиб рельсов *1* над бункером. Рядом проложена вторая колея *2*. Передние колеса, попадая на более широкую колею, продолжают двигаться вместе с роликами кузова в прежнем направлении, а задние колеса – по изогнутой части рельсов, благодаря чему затвор поднимается вверх и горная масса высыпается в бункер.

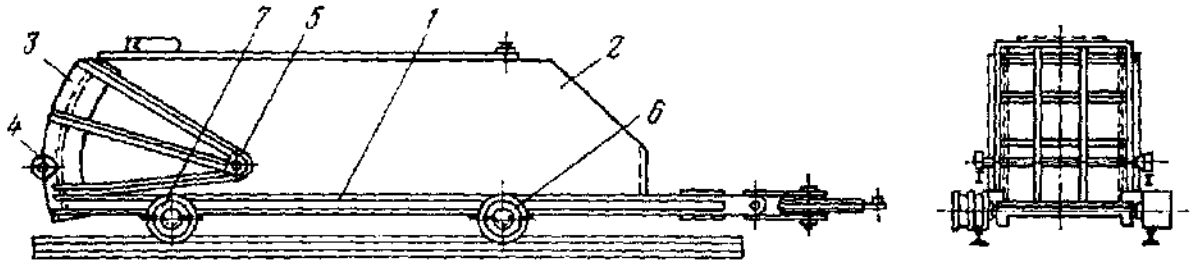


Рис. 8.9. Схема скипа с разгрузкой через заднюю стенку кузова

При углах наклонов основного пути, превышающих угол естественного откоса транспортируемого материала, разгрузка скипов производится без наклона кузова. В этом случае дополнительные рельсы устанавливаются лишь для открывания затвора скипа. Загрузка скипов при углах наклона более 30-35° происходит через верхнюю скошенную часть кузова, а при меньших углах – через верх скипа, который в этом случае делается открытым.

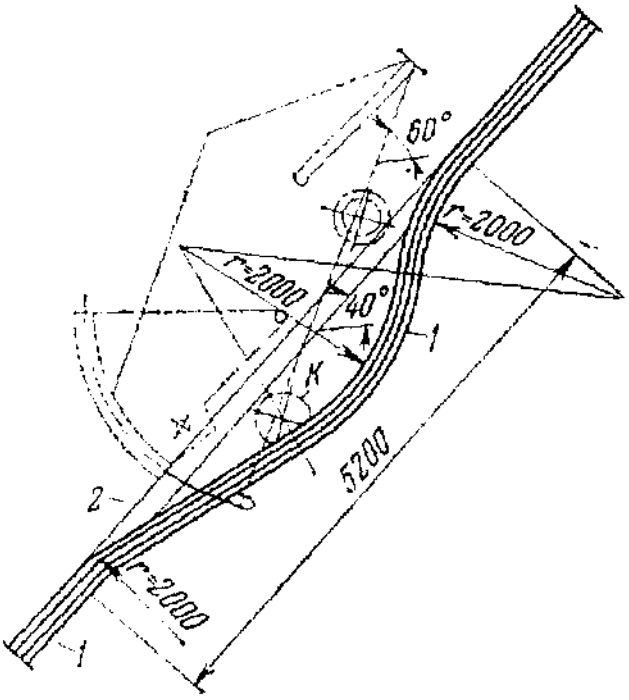


Рис. 8.10. Схема разгрузки скипа с секторным затвором

Скипы с разгрузкой через заднюю стенку по сравнению с шахтными опрокидными скипами имеют следующие преимущества: более высокая степень уравновешенности при более простом устройстве рельсового пути в месте разгрузки; разгрузочные пути для открывания затвора необходимы только при углах наклона ствола до 50°; при углах наклона более 50° дополнительные разгрузочные рельсы необходимы только для приподнимания затвора; при малых углах наклона пути лучше используется объем кузова скипа, так как передняя стенка кузова может быть закрыта, что невыполнимо у опрокидных скипов.

К недостаткам скипов с секторным затвором следует отнести: больший, чем у шахтных опрокидных скипов такой же емкости, собственный вес, что объясняется наличием секторного затвора; более сложную конструкцию скипа; необходимость поднимать скип на большую высоту над разгрузочным бункером при больших углах наклона ствола.

Вспомогательное оборудование наклонного подъема

Для карьерных наклонных подъемных установок применяют металлические копры. Такие копры обычно аналогичны по конструкции

шахтным копрам четырехстоечного типа или копрам А–образного типа. Большее распространение получили четырехстоечные копры.

При скиповом подъеме разгрузка скипов производится в бункер, и при разгрузке скип должен находиться выше бункера, поэтому при выходе рельсового пути из наклонной траншеи или ствола он переходит на наклонную эстакаду, угол наклона которой равен углу наклона ствола или траншеи. Поскольку направляющие шкивы должны располагаться выше крайней точки эстакады, возникает необходимость иметь копер.

Конструкции и типоразмер копровых шкивов для наклонного подъема карьеров и шахт аналогичны конструкциям шкивов для вертикального подъема.

Для наклонных подъемов обычно применяют рельсы железнодорожного типа, так как более тяжелые рельсы обеспечивают более спокойную работу подъемной установки, меньший износ подъемных сосудов, больший срок службы и меньшую стоимость содержания путевого хозяйства. Поэтому для скипового подъема рельсы легче 24 кг/м не применяются.

Рельсы укладываются на деревянные пластинчатые шпалы, пропитанные антисептиком. Возможно также применение железобетонных шпал. Толщина деревянных шпал 120-150 мм. Расстояние между осями шпал 600-1000 мм. При углах наклона до 10° шпалы укладываются в балластный слой. Толщина балластного слоя под шпалой должна быть не менее 100 мм. Шпала должна быть погружена в балласт на 2/3 своей толщины. При углах более 10° шпалы укладываются в поперечных канавах такой глубины, чтобы в них помещались слой балласта толщиной не менее 50 мм и шпала на 2/3 своей толщины. Канавы по бокам шпалы засыпают балластом. При углах наклона белее 30° балласт не применяют и шпалы просто укладывают в канавки. Рельсы крепят к шпалам при помощи подкладок и костылей. Соединение рельсов производится накладками и болтами с пружинными шайбами. Рельсовые стыки должны быть уложены на весу с оставлением зазоров не менее 5 мм.

Для уменьшения сопротивления при перемещении канатов по траншее или стволу, а также для уменьшения трения каната о почву и предотвращения перерезания шпал применяются путевые ролики, устанавливаемые между рельсами на закрепленных подставках. Ролики устанавливаются также для направления каната на перегибах пути при переменном профиле наклона траншеи.

Ролики применяются металлические, деревянные или комбинированные; по форме ролики могут быть цилиндрические,

желобчатые, двояковогнутые. Наибольшее распространение получили цилиндрические ролики. Цилиндрические ролики могут быть выполнены из отрезков стальных труб с вкладышами из дерева твердых пород. Недостатком роликов, приводимых во вращательное движение за счет трения каната о них, является то, что ролик вследствие инерции не может сразу приобрести скорость вращения, соответствующую скорости вращения каната. Это увеличивает проскальзывание каната по отношению к ролику и его износ.

Влияние сил инерции роликов на износ каната в особенности проявляется при движении по наклонным траншеям карьерных подъемников вследствие больших диаметров используемых канатов и влияния атмосферных условий. Поэтому для глубоких карьеров при наличии наклонных траншей подъемника может быть рациональным применение электрического привода роликов. Управление электроприводом путевых роликов должно осуществляться управляющим устройством подъемной машины для синхронизации линейных скоростей и направления движения каната с окружной скоростью и направлением вращения роликов.

Правила безопасности при эксплуатации наклонных подъемников

Эксплуатация наклонных подъемников шахт и карьеров производится в соответствии с «Едиными правилами безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом».

Перевозка людей по наклонным выработкам допускается только в специальных вагонетках с крышами и только при откатке концевыми канатами. Каждый поезд для перевозки людей должен быть снабжен надежными и безотказно действующими парашютами, останавливающими поезд без резкого толчка в случае обрыва каната или сцепки. Конструкция парашютов должна позволять приводить их в действие также и от ручного привода.

Парашюты должны быть установлены на каждой вагонетке и связаны общей тягой для обеспечения одновременного их действия при включении автоматически или от ручного привода.

Перед вводом в эксплуатацию вагонеток, предназначенных для перевозки людей по наклонным выработкам, должны производиться испытания парашютов путем искусственного обрыва головного каната при движении вагонетки вниз по уклону при максимальной нагрузке и максимальной скорости, принятой для перевозки людей в данной

выработке. Повторные испытания должны производиться не реже одного раза в 6 месяцев.

Вагонетки состава должны быть соединены между собой двойными сцепками или одной сцепкой с предохранительными цепями. Центровой стержень сцепки, крюки и предохранительные цепи вагонеток и клетей для перевозки людей должны иметь 13-кратный запас прочности по отношению к максимальной статической нагрузке и заменяться новыми не позднее чем через 5 лет после навески.

Для грузолюдских и людских подъемных установок на вертикальных и наклонных (более 60°) эксплуатационных стволах навивка каната должна быть однослойной.

Допускается: а) двухслойная навивка каната на барабан при подъеме и спуске людей по выработкам с углом наклона 30-60°; б) трехслойная навивка – при подъеме и спуске людей по наклонным выработкам с углом наклона до 30°, при прохождении вертикальных и наклонных выработок, для грузовых подземных вертикальных и наклонных подъемных установок и грузовых наклонных откаточных установок на поверхности.

При наличии более одного слоя навивки каната на барабан должны быть соблюдены следующие условия: реборда барабана должна выступать над верхним слоем на 2,5 диаметра каната; за критическим участком каната длиной в четверть последнего витка нижнего ряда (переход на верхний ряд) должно вестись усиленное наблюдение (учет разорванных в этом месте проволок) и производиться передвижение каната на четверть витка через каждые два месяца.

При подъеме и спуске людей по наклонным выработкам наибольшая скорость движения не должна превышать: при длине выработки до 300 м 3,5 м/с; при длине выработки более 300 м 7 м/с. Такие же скорости допускаются при подъеме грузов в вагонетках.

При подъеме грузов в скипах по наклонным выработкам наибольшая скорость движения не должна превышать: при длине выработки до 300 м 5 м/с; при длине выработки более 300 м 7 м/с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Каково назначение копров подъемных установок?

Назовите основные элементы конструкции копров.

Перечислите виды копров.

Каково назначение шкивов трения?

Назовите конструкции шкивов и основные стандарты на изготовление шкивов.

Дайте классификацию подъемных установок.

Перечислите основные элементы подъемной установки.

Приведите классификацию подъемных канатов по назначению.

Перечислите элементы устройства каната.

Перечислите виды покрытий и марки каната.

Назовите виды материалов сердечников каната.

Какие типы канатов используются в качестве хвостовых и подвесных?

Дайте расшифровку каната ГОСТ 3079-69 тип ТЛК-О конструкции 6 × 37 = 222 проволоки с О.С. (прядь 1+6+15+15).

Перечислите основные требования ПБ по запасу прочности канатов.

Назовите основные требования и правила проверки эксплуатации канатов.

Каково назначение подвесных устройств?

Перечислите основные типы подвесных устройств и их конструкций.

Назовите основные элементы коуша (КРГ).

Основные требования ПБ к подвесным устройствам.

Каковы назначение и основные типы парашютных устройств?

Перечислите основные элементы ловителя парашютов (ПТК).

Каковы назначение и конструкция парашютного устройства МПТ (ПТК).

Каковы устройство и назначение амортизаторного устройства?

Каковы назначение и конструкция парашютного устройства ПКЛ?

Какова конструкция ловителя парашютного устройства ПКИ?

Какова конструкция парашютного устройства РКЭ?

Какова конструкция парашютного устройства ПДП?

Каковы конструкция парашютных устройств типа ПШТП и ПКЛШ?

Назовите основные требования ПБ к эксплуатации парашютных устройств.

Назовите преимущества и недостатки основных подъемных сосудов и области их применения.

Назовите элементы конструкции опрокидной и неопрокидной клетей.

Перечислите элементы конструкции скипа.

Назовите основные ПБ при эксплуатации подъемных сосудов.

Назовите области применения, преимущества и недостатки различных типов подъемных машин.

Каковы назначение и устройство подъемной машины типа БЦК×2?

Каковы назначение и устройство подъемной машины типа 2Ц – 5×2,4?

Каковы назначение и устройство подъемной машины с разрезным барабаном типа ЦР – 3,5×3/0,9?

Перечислите механизмы перестановки и принцип их действия.

Назовите принцип действия многоканатной ПУ со шкивами трения (МК 2,5 × 2).

Каковы назначение и основные элементы тормоза подъемной машины?

Назовите типы и конструкции исполнительных органов тормозов.

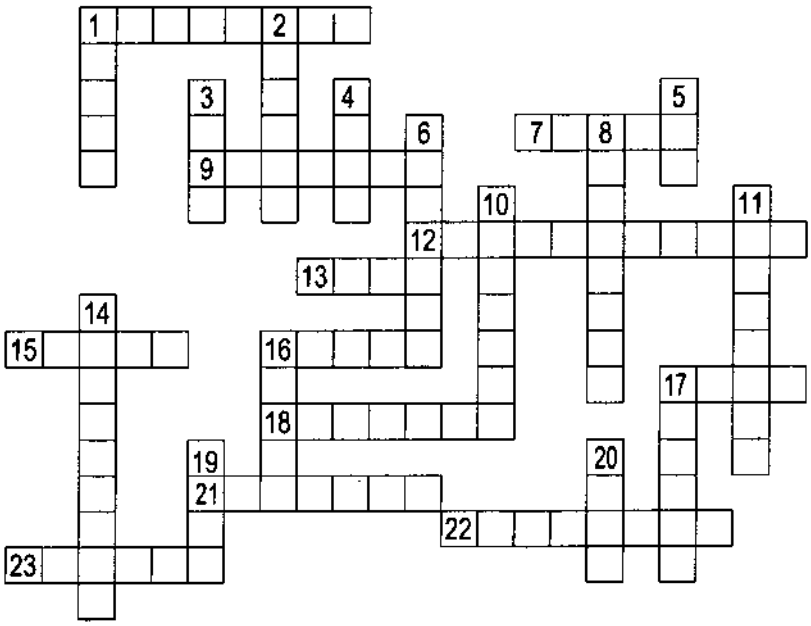
Каковы устройство привода тормоза и его работа?

Какие нормы ПБ по длине струны каната и углам девиации?

Назовите основные ПБ при эксплуатации подъемных машин.

Какие нормы ПБ регламентируют движение подъемных сосудов в стволе людского и грузового подъемов?

Кроссворд: «Проверьте свои знания!»



По горизонтали:

1. Часть подвесного устройства для многоканатных подъемных машин, предназначенная для выравнивания натяжения канатов. 7. Основоположник теории взаимодействия шкивов и гибких нитей. 9. Элемент копра. 12. Часть парашютного устройства, обеспечивающая плавность остановки клети. 13. Элемент подвесного устройства. 15. Подъемный сосуд для перевозки людей и штучных грузов. 16. Пучок проволок, свитых по винтовой линии. 17. Подъемный сосуд для перевозки сыпучих грузов. 18. Источник энергии при аварийном торможении. 21. Коренная часть подъемной машины. 22. Наружная часть обода подъемной машины. 23. Совокупность устройств и механизмов, обеспечивающих целенаправленное воздействие.

По вертикали:

1. Проходческий подъемный сосуд. 2. Несущая часть конструкции копра. 3. Источник энергии предохранительного торможения подъемной машины. 4. Элемент подъемной установки, обеспечивающий необходимое расположение подъемных сосудов в стволе. 5. Тип коуша. 6. Устройство, обеспечивающее безопасность спуска и подъема людей. 8. Стопор парашютного устройства. 10. Элемент тормоза, непосредственно оказывающий воздействие на тормозной обод. 11. Элемент коренной части подъемной машины. 14. Источник смазки каната. 17. Закрутка проволок или прядей каната в ту или иную сторону. 19. Основной несущий элемент барабана подъемной машины. 20. Канат двойной свивки.

Ответы:

По горизонтали: 1.Балансир. 7.Эйлер. 9.Укосина. 12.Амортизатор. 13.Коуш. 15.Клеть. 16.Канат. 17.Скип. 18.Пружина. 21.Барабан. 22.Оболочка. 23.Привод. По вертикали: 1.Бадья. 2.Станок. 3.Груз. 4.Шкив. 5.КРТ. 6.Парашют. 8.Повитель. 10.Колодка. 11.Лобовина. 14.Сердечник. 17.Свивка. 19.Обод. 20.Трос

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В. В. Стационарные машины: учеб. для вузов. М.: Недра, 1989. 187 с.

Борисенко К. С. и др. Горная механика. М.: Госгортехиздат, 1978. 120 с.

Братченко Б. Ф. Стационарные установки шахт: справочное пособие. М.: Недра, 1977. 440 с.

Завозин Л. Ф. Шахтные подъемные установки. М.: Недра, 1975. 368 с.

Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом. Ч. I, II. М.: НПООБТ, 2003. 215 с.

Косарев Н. П., Потапов В. Я., Копачёв В. Ф. Конструкция тормозных устройств: методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Горная механика» для студентов профилизации «Горные машины и оборудование» (ГЭМ). Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1999. 58 с.

Снешко Е. И. Горная механика для открытых горных работ: учебник для техникумов. 2-е изд., переработанное и дополненное. М.: Недра, 1983. 254 с.

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» / Утверждены Приказом Ростехнадзора от 11.12. 2013 № 599. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2015. 212 с.

Федорова З. М. и др. Рудничные подъемные установки. М.: Недра, 1966. 145 с.

Федорова З. М., Лукин И. Ф., Нестеров А. П. Подъемники. Киев: Вища школа, 1976. 296 с.

Хаджиков Р. Н., Бутаков С. А. Горная механика: учебник для техникумов. 6-е изд., переработанное и дополненное. М.: Недра, 1982. 407 с.

Шахтные подъемные установки: учебно-методическое пособие / Н. П. Косарев, В. Я. Потапов, Ю. В. Попов, В. Ф. Копачёв, Е. Л. Садыков. 2-е изд., стереотипное. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 124 с.

Шахтный подъем / В. Р. Бежок, В. А. Дворжиков, И. Г. Манец, В. А. Пристром. Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2007. 624 с.

Валентин Яковлевич ПОТАПОВ,
Сергей Валерьевич БЕЛОВ

ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Шахтные подъемные установки

Учебно-методическое пособие

по выполнению практических работ по дисциплине
«Горные машины и оборудование» и «Стационарные установки»
для студентов специальности 21.05.04 Горное дело

Редактор изд-ва *Л. В. Устьянцева*
Компьютерная верстка *Н. Л. Сайгиной*
Дизайн обложки *И. А. Крестьяниновой*

Подписано в печать 01.12.2016 г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 8,625. Уч.-изд. л. 9,5.
Тираж 200 экз. Заказ

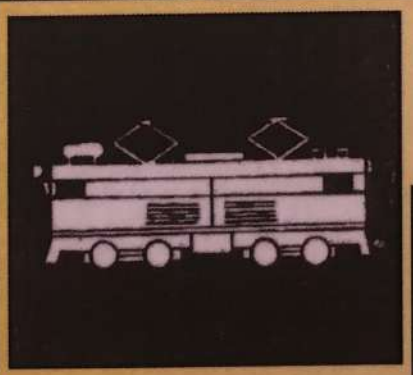
Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет

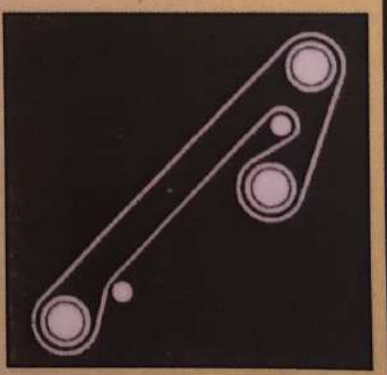
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

А. В. ЮДИН

ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ





Екатеринбург – 2014

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

А. В. Юдин

ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области горного дела
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям подготовки (специальностям) «Горное дело»
и «Физические процессы горного и нефтегазового производства»

Издание УГГУ
Екатеринбург, 2014

УДК 622.68.002.5 (075.8)
Ю 16

Рецензенты: *Г. Г. Кожушко*, зав. кафедрой ПТМ Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, доктор технических наук, профессор;
А. Н. Косолапов, начальник технического отдела ОАО «Уралмеханобр», кандидат технических наук

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета

Юдин А. В.

Ю 16 ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ: учеб. пособие / А. В. Юдин; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 306 с.

ISBN 978-5-8019-0344-6

Учебное пособие предназначено для углубления и закрепления знаний студентов по теоретическому курсу дисциплин: «Транспорт горных предприятий», «Горнопромышленный транспорт», обоснования выбора транспортного оборудования, приобретения опыта по проектированию и освоению основ расчета параметров транспортных систем шахт и карьеров.

Учебное пособие не заменяет собой учебники по транспортным машинам для открытых и подземных разработок, а является дополнительным методическим материалом при выполнении практических занятий, курсового и дипломного проектирования.

Материалы пособия включают разделы, объем которых достаточен для выполнения курсового и дипломного проектов без привлечения дополнительных источников. Все разделы пособия подкреплены числовыми примерами и расчетными схемами.

Учебное пособие предназначено для студентов вуза по направлению подготовки 130400 – «Горное дело». Оно может быть полезно для инженерно-технических работников предприятий.

Рис. 98. Табл. 82. Библиогр. 43 назв.

УДК 622.68.002.5 (075.8)

© Юдин А. В., 2014
© Уральский государственный горный университет, 2014

ISBN 978-5-8019-0344-6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Проректор по учебно-методическому комплексу

УТВЕРЖДАЮ

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

ТЕРМОДИНАМИКА И ГАЗОДИНАМИКА

Направление подготовки
21.05.04 Горное дело

Направленность (профиль):
«Горные машины и оборудование»
квалификация выпускника: **специалист**

Автор: Макаров Н.В.

Одобрена на заседании кафедры
Горной Механики
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)
Макаров Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ

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

В.Н. Макаров, В.Я. Потапов, Н.В. Макаров

ТЕРМОДИНАМИКА И ГАЗОДИНАМИКА

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Часть II. Газодинамика

Учебник

Екатеринбург – 2019

УКД 621.036:621.1

Б

Рецензенты: Дзюзер В. Я., д.т.н., зав. кафедрой Оборудования и автоматизации силикатных производств ФГАОУ ВО «УрФУ»;
Фролов С.Г. , к.г-м. н., зав. кафедрой Технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «УГГУ»

Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Уральского государственного горного университета

Макаров В.Н., Потапов В.Я., Макаров Н.В

Б Теоретические основы: Учебное пособие. - Екатеринбург, изд. Уральского горного университета, 2019. - 183 с.

ISBN 5-230-25 491-2.

Во второй части учебника изложены основные аспекты аэрогазодинамики.

Каждая глава иллюстрируется конкретными числовыми примерами из инженерной практики.

Учебник по дисциплине «Газодинамика» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» и направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Рис.47, табл.2, библиогр. 16 назв.

УДК 621.036:621.1

© Уральский государственный
горный университет, 2019

ISBN 5-230-25491-2

©Макаров В.Н., Потапов В.Я.,
Макаров Н.В., 2019

Тесты

По дисциплине «Электропривод горных машин».

Для специальности ГМО

Принятые сокращения и обозначения:

ЭП – Электропривод.
МХ - Механическая характеристика.
β - Жесткость механической характеристики.
ω – Угловая скорость.
ДПТ – Двигатель постоянного тока.
НВ – Независимое возбуждение.
Посл.В- Последовательное возбуждение.
АД – Асинхронный двигатель.
АД к.з Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.
АД ф.р – Асинхронный двигатель с фазным ротором.
СД – Синхронный двигатель.
ЭДС - Электродвижущая сила.
ГПТ – Генератор постоянного тока.
ТП - Тиристорный преобразователь постоянного тока.
θ – Угол нагрузки синхронного двигателя.
НПЧ – Непосредственный преобразователь частоты.
ДПЧ - Двухзвенный преобразователь частоты.
О.О.С. – Отрицательная обратная связь.
Ж.О.О.С.-Жесткая отрицательная обратная связь.
П.О.С. – Положительная обратная связь.
ШПМ - Шахтная подъемная машина.

Раздел 1.Основы механики электроприводов. Нерегулируемый электропривод.

Тест 1.1 Назначение электромеханического преобразователя в структуре ЭП.

1.1.1. Создать момент сопротивления ЭП.
1.1.2. Для охлаждения обмоток двигателя.
1.1.3 .Для преобразования электрической энергии в механическую и наоборот.
1.1.4. Для преобразования вида движения механизма (вращательного в поступательное).

Тест 1.2. Назначение механического передаточного устройства в структуре ЭП.

1.2.1. Согласование вида и скорости движения механизма и ЭП.
1.2.2. Создание постоянного момента сопротивления механизма.
1.2.3. Регулирование момента сопротивления механизма.
1.2.4. Регулирование скорости двигателя.

Тест 1.3 Жесткость механической характеристики ЭД.

1.3.1. Отношение средних максимального и минимального значений момента.
1.3.2. Отношение разности моментов, соответствующих двум статическим режимам к разности скоростей.
1.3.3. Отношение разности двух соседних значений скорости ЭП к ее номинальному значению.
1.3.4. Отношение разности скоростей к разности моментов, соответствующих двум статическим режимам.

Тест 1.4. Механическая характеристика электрического двигателя.

1.4.1. $\omega = f$ (I).
1.4.2. $I = f(\omega)$.
1.4.3. $\omega = f$ (M).
1.4.4. $M = f$ (t).

Тест 1.5 Механическая характеристика ДПТ НВ.

1.5.1. Линейная $\beta = const$.
1.5.2. Линейная $\beta = \infty$.
1.5.3. Линейная $\beta = 0$.
1.5.4. Нелинейная $/\beta/ = var$.

Тест 1.6. Механическая характеристика ДПТ Пос.В.

1.6.1. Линейная $\beta = const$.
1.6.2. Линейная $\beta = \infty$.
1.6.3. Линейная $\beta = 0$.
1.6.4. Нелинейная $/\beta/ = var$

Тест 1.7. Механическая характеристика АД.

1.7.1. Линейная /β/ = const; β < 0.
1.7.2. Нелинейная /β/ = var; β < 0.
1.7.3. Нелинейная /β/ = var; 0< β < 0.
1.7.4. Нелинейная /β/ = var.

Тест 1.8. Механическая характеристика СД.

1.8.1. Линейная /β/ = const; β < 0.
1.8.2. Линейная /β/ = const; β = ∞.
1.8.3. Линейная /β/ = const; β = 0.
1.8.4. Нелинейная /β/ = var.

Тест 1.9. Искусственная механическая характеристика ДПТ НВ.

1.9.1. U < Uн. 1.9.2. Rд = 0. 1.9.3. Ф = Фн. 1.9.4. U = Uн.

Тест 1.10. Ток якоря ДПТ НВ в режиме генераторного торможения.

1.10.1. $Ia = \frac{U - Ea}{Ra\sum}$; 1.10.2. $Ia = \frac{U + Ea}{Ra\sum}$; 1.10.3. $Ia = -\frac{Ea}{Ra\sum}$; 1.10.4. $-Ia = \frac{Ea - U}{Ra\sum}$.

Тест 1.11. Ток якоря ДПТ НВ в режиме динамического торможения.

1.11.1. $Ia = \frac{U - Ea}{Ra\sum}$; 1.11.2. $Ia = \frac{U + Ea}{Ra\sum}$; 1.11.3. $Ia = -\frac{Ea}{Ra\sum}$; 1.11.4. $-Ia = \frac{Ea - U}{Ra\sum}$.

Тест 1.12. Ток якоря ДПТ НВ в режиме торможения противовключения.

1.12.1. $Ia = \frac{U - Ea}{Ra\sum}$; 1.12.2. $Ia = \frac{U + Ea}{Ra\sum}$; 1.12.3. $Ia = -\frac{Ea}{Ra\sum}$; 1.12.4. $-Ia = \frac{Ea - U}{Ra\sum}$.

Тест 1.13. Построить зависимости угловой скорости идеального холостого хода (ω_o) от напряжения, подводимого к двигателю (U), т.е. $\omega_o = f(U)$.

1.13.1. ДПТ НВ; 1.13.2. ДПТ пос.В; 1.13.3. АД кз; 1.13.4. Синх.Д.

Тест 1.14. В каких квадрантах поля М – ω располагаются характеристики для двигательного режима работы?

1.14.1. - I ; 1.14.2. - II; 1.14.3. - III; 1.14.4. – IV.

Тест 1.15. Чему равен суммарный динамический момент на валу двигателя при работе в установившемся режиме?

1.15.1. > 0 ; 1.15.2. $= 0$; 1.15.3. < 0; 1.15.4. $\neq 0$.

Тест 1.16. У каких рабочих машин момент статического сопротивления пропорционален квадрату скорости вращения?

1.16.1. -подъемного; 1.16.2. –конвейера; 1.16.3. –центробежного типа;
1.16.4. –передвижения.

Тест 1.17. В паспорте АД ф.р. указано, что номинальная ЭДС ротора E_2=240В. При какой скорости вращения двигателя напряжение на кольцах ротора будет равно указанному значению?

1.17.1. ω_0 ; 1.17.2. $\omega_{ном}$; 1.17.3. 0; 1.17.4. – ω_0.

Тест 1.18.. При каких скольжениях АД работает в режиме рекуперативного торможения?

1.18.1. $S_н$; 1.18.2. $= 1$; 1.18.3. < 0; 1.18.4. > 0.

Тест 1.19. При каких скольжениях АД работает в режиме торможения противовключением?

1.19.1. $S_н$; 1.19.2. $= 1$; 1.19.3. < 0; 1.19.4. > 0.

Тест 1.20. \Для чего в цепь ротора АД ф.р. при пуске включают добавочное сопротивление?

1.20.1. для плавного регулирования скорости;
1.20.2. для уменьшения $M_{пуск}$;
1.20.3. для увеличения $cos\varphi$;
1.20.4. для увеличения $M_{пуск}$.

Тест 1.21. С какой целью регулируют ток возбуждения СД?

1.21.1. для увеличения ω;
1.21.2. для уменьшения ω;
1.21.3. для регулирования реактивной мощности в цепи статора;
1.21.4. для ограничения нагрева обмоток двигателя.

Тест 1.22. Что такое U-образные зависимости СД?

1.22.1. M = f (Iв);
1.22.2. ω = f (Iв);
1.22.3. I статора = f (Iв);
1.22.4. U = f (Iв).

Тест 1.23. Для чего служит короткозамкнутая обмотка на роторе СД?

1.23.1. для регулирования ω;
1.23.2. для регулирования момента двигателя;
1.23.3. для осуществления асинхронного пуска двигателя;
1.23.4. для ограничения пускового тока.

Тест 1.24. Естественная механическая характеристика ДПТ посл.В. ω = f (M)

1.24.1. линейная с коэффициентом жесткости $\beta < 0$;
1.24.2. линейная с коэффициентом жесткости равной ∞;
1.24.3. параболическая зависимость;
1.24.4. гиперболическая зависимость.

Тест 1.25. Угловая характеристика СД.

1.25.1. M = Mmax . $cos\ \theta$;
1.25.2. M = Mmax . $sin\ \theta$;
1.25.3. M = Mmax / $sin\ \theta$;
1.25.4. M = Mmax / $cos\ \theta$.

Раздел 2. Регулирование координат электроприводов.

Тест 2.1. Понятие «регулирование угловой скорости вращения».

2.1.1. Изменение угловой скорости под действием момента сопротивления.
2.1.2. Изменение угловой скорости из-за нагрева обмоток двигателя.
2.1.3. Принудительное направленное изменение скорости изменением управляющего воздействия.
2.1.4. Изменение угловой скорости при изменении $U_{сети}$.

Тест 2.2. Диапазон регулирования скорости вращения ЭП.

2.2.1. ω max + ω min; 2.2.2. ω max - ω min; 2.2.3. $\frac{\omega \max}{\omega \min}$; 2.2.4. $\frac{\omega \min}{\omega \max}$

Тест 2.3. Если изменится, то как жесткость механической характеристики при реастатном регулировании скорости?

2.3.1. Уменьшается.
2.3.2. Увеличивается.
2.3.3. Не изменится.
2.3.4. Изменится знак.

Тест 2.4. Если изменится, то как жесткость механической характеристики ДПТ НВ при уменьшении питающего напряжения?

2.4.1. Уменьшается.
2.4.2. Увеличивается.
2.4.3. Не изменится.
2.4.4. Изменится знак.

Тест 2.5. Достоинства генератора постоянного тока независимого возбуждения ГПТ НВ.

2.5.1. Электромашинный прибор нуждается в техническом обслуживании.
2.5.2. Значительный весовой показатель.
2.5.3. Обладает значительной электромагнитной инерционностью, что исключает возможность изменения Ег скачком в любых режимах, даже аварийных.
2.5.4. Ликвидация неисправностей требует значительные затраты средств и времени.

Тест 2.6. Преимущество генератора постоянного тока (ГПТ НВ).

2.6.1. Значительная электромагнитная инерционность требует ускорения (форсирования) длительности переходных процессов возбуждения.
2.6.2. Низкий к.п.д.
2.6.3. При приведении во вращение синхронным двигателем имеется возможность повышения $\cos \varphi$.
2.6.4. Значительная установленная мощность преобразовательного агрегата

Тест 2.7. Недостатки системы ЭП Г-Д.

2.7.1. Если в качестве сетевого двигателя используется синхронный двигатель, то он может генерировать реактивную мощность в питающую сеть.
2.7.2. В системе ЭП по системе Г-Д переход электродвигателя из двигательного режима в тормозные режимы осуществляется без каких-либо переключений в якорный цепи.
2.7.3. Жесткость механической характеристики в системе Г-Д меньше, чем ДПТ НВ.
2.7.4. ЭДС генератора не может измениться скачкообразно.

Тест 2.8. Достоинства тиристорного преобразователя постоянного тока (ТП).

2.8.1. При глубоком регулировании выходного напряжения имеет место низкий $\cos\varphi$.
2.8.2. Является генератором высших гармоник напряжения, которые передаются в питающую сеть.
2.8.3. Обладает высоким быстродействием.
2.8.4. Условия работы ЭД в системе ТП-Д зависят от величины пульсаций выпрямленного тока.

Тест 2.9. Преимущества тиристорного преобразователя.

2.9.1. Из-за высокого быстродействия требуется решать вопросы быстродействия защиты ЭП.
2.9.2. Имеется возможность скачкообразного изменения Епр при сбоях в системе управления.
2.9.3. Требуются дополнительные быстродействующие устройства компенсации $\cos\varphi$.
2.9.4. Высокий коэффициент усиления по мощности.

Тест 2.10. Недостатки тиристорного преобразователя перед ГПТ НВ.

2.10.1. Обладает высоким быстродействием, поэтому можно реализовать любой закон Епр = f(t).
2.10.2. Статический преобразователь требует только технического осмотра.
2.10.3. Блочное исполнение, диагностика снижает время на ликвидацию неисправностей.
2.10.4. Значительные пульсации выпрямленного тока приводят к возникновению дополнительных потерь в двигателе.

Тест 2.11. Недостатки системы ЭП (ТП-Д) в сравнении с системой (Г-Д).

2.11.1. Высокий коэффициент усиления по мощности позволяет суммировать сигналы обратных связей на входе СИФУ.
2.11.2. Требуется установка быстродействующих отключающих аппаратов на входе и выходе преобразователя.
2.11.3. Статический преобразователь не содержит вращающих частей.
2.11.4. Не требуется вводить дополнительный усилитель в прямой канал управления.

Тест 2.12. Достоинства широтно-импульсного преобразователя постоянного тока (ШИП).

2.12.1. Основные силовые элементы (IGBT) достаточно дорогие.
2.12.2. Сложная система управления реверсивными ШИП.
2.12.3. $\cos\varphi \approx 1$.
2.12.4.Выпрямленное напряжение имеет импульсную прямоугольную форму.

Тест 2.13. Достоинства преобразователей переменного напряжения (ППН).

2.13.1. С уменьшением напряжения на выходе ППН уменьшается критический момент АД.
2.13.2. Малый диапазон регулирования угловой скорости АД.
2.13.3. Регулирование угловой скорости АД небольшой мощности (до 15квт).
2.13.4. Ограничение пускового тока АД (устройство плавного пуска).

Тест 2.14. Преимущество непосредственного преобразователя частоты (НПЧ) перед двухзвенным преобразователем частоты (ДПЧ).

2.14.1. Однократное преобразование частоты выходного напряжения.
2.14.2. Частота выходного напряжения (0-20 Гц) при fсети = 50 Гц.
2.14.3. Отсутствие промежуточного звена постоянного тока.
2.14.4. Ограничение применения отдельными специальными приводами (ЭП).

Тест 2.15. В чем состоит способ двухзонного регулирования ДПТ НВ?

2.15.1. Введение в цепь якоря добавочного сопротивления.
2.15.2. Изменение сопротивления в цепи возбуждения.
2.15.3. Возможность изменения тока возбуждения и напряжения Ua.
2.15.4. Изменение напряжения, подводимого к обмотке якоря.

Тест 2.16. Какова должна быть скорость ДПТ НВ, чтобы он работал в режиме рекуперативного торможения?

2.16.1. $\omega_н$; 2.16.2. $\omega = \omega_о$; 2.16.3. $\omega > \omega_о$; 2.16.4. $\omega < \omega_о$.

Тест 2.17. В чем заключается принцип раздельного управления реверсивным ТП?

2.17.1. Поочередное включение двух реверсивных ТП, включенных встречно-параллельно.
2.17.2. Одновременное включение двух нереверсивных ТП.
2.17.3. В каждый момент времени может работать только один нереверсивный ТП с помощью логического переключающего устройства.
2.17.4. Последовательное включение двух нереверсивных ТП.

Тест 2.18. Что такое скважность импульсов в ШИП?

2.18.1. Период коммутации цепи постоянного тока.
2.18.2. Частота коммутации цепи постоянного тока.
2.18.3. Время включения ключа в цепи постоянного тока.
2.18.4. Отношение времени включения ключа к периоду коммутации.

Тест 2.19. Что нужно сделать, чтобы изменить направление вращения ДПТ Посл.В.?

2.19.1. Изменить полярность напряжения, подводимого к двигателю.
2.19.2. В цепь якоря ввести добавочное сопротивление.
2.19.3. Изменить величину тока возбуждения.
2.19.4. Изменить направление тока либо возбуждения, либо тока якоря.

Тест 2.20. Назначение жесткой нелинейной отрицательной обратной связи (О.О.С.) по Iа?

2.20.1. Увеличение жесткости рабочего участка механической характеристики.
2.20.2. Увеличение диапазона регулирования ω.
2.20.3. Уменьшение диапазона регулирования ω.
2.20.4. Ограничение момента, развиваемого двигателем.

Тест 2.21. Назначение линейной жесткой отрицательной обратной связи по ω?

2.21.1. Увеличение жесткости МХ.
2.21.2. Уменьшение жесткости МХ.
2.21.3. Ограничение момента, развиваемого двигателем.
2.21.4. Уменьшение колебательности регулирования ω

Тест 2.22. Пути повышения точности регулирования ω.

2.22.1. Введение нелинейной Ж.О.О.С. по Iа.
2.22.2. Введение гибкой О.О.С. по Iа.
2.22.3. Введение линейной П.О.С.по Iа.
2.22.4. Введение гибкой О. О. С. по ω.

Тест 2.23. Пути повышения диапазона регулирования ω ДПТ НВ

2.23.1. Введение добавочного сопротивления в цепь якоря.
2.23.2. Увеличение магнитного потока двигателя.
2.23.3. Увеличение напряжения Uа.
2.23.4. Введение линейной Ж. О. О. С. по ω.
Тест 2.24. Передаточная функция ГПТ $W_{ГПТ}(p)$.

2.24.1. $\frac{1}{Тг.р}$; 2.24.2. $\frac{1}{Тг.р+1}$; 2.24.3. $\frac{Кг}{Тгр+1}$; 2.24.4. Тг

Тест 2.25. Передаточная функция ТП $W_{ТП}(p)$.

2.25.1. Тт.п. р; 2.25.2. $\frac{1}{Ттп.р+1}$; 2.25.3. $\frac{КТП}{ТтпР+1}$; 2.25.4. $\frac{1}{ТтпР}$.

Раздел 3. Электропривод горных машин.

Тест 3.1. С какой целью формируется «экскаваторная» механическая (электромеханическая) характеристика электропривода (ЭП) землеройных машин?

3.1.1. Для увеличения диапазона регулирования (ω).
3.1.2. Для уменьшения диапазона регулирования (ω).
3.1.3. Для ограничения момента, развиваемого (ЭП).
3.1.4. Для повышения точности регулирования (ω).

Тест 3.2. С какой целью вводится нелинейное звено в прямой канал регулирования ЭП?

3.2.1. Для повышения жесткости механической характеристики ЭП.
3.2.2. Для уменьшения диапазона регулирования (ω).
3.2.3. Для повышения быстродействия ЭП.
3.2.4. Для формирования «экскаваторной» механической характеристики ЭП.

Тест 3.3.Формирование «экскаваторной» электромеханической характеристики осуществляется с помощью?

3.3.1. Жесткой отрицательной обратной связи по (ω).
3.3.2. Гибкой отрицательной обратной связи по (ω).
3.3.3. Жесткой отрицательной обратной связи по (I).
3.3.4. Гибкой отрицательной обратной связи по (I).

Тест 3.4. Какие обратные связи используют для формирования «экскаваторной» электромеханической характеристики?

3.4.1. Естественная жесткая отрицательная обратная связь по (Ea).
3.4.2. Искусственная жесткая отрицательная обратная связь по (ω).
3.4.3. Нелинейная жесткая отрицательная обратная связь по (Ia).
3.4.4. Гибкая отрицательная обратная связь по (Ia).

Тест 3.5. Положительная обратная связь по току служит в экскаваторных ЭП для:

3.5.1. Повышения жесткости рабочего участка механической характеристики.
3.5.2. Снижения жесткости механической характеристики.
3.5.3. Формирование экскаваторной электромеханической характеристики.
3.5.4. Увеличения К отс.

Тест 3.6. При каком способе регулирования подачи центробежного типа машин наибольший к.п.д?

3.6.1. Дросселирование на входе.
3.6.2. Дросселирование на выходе.
3.6.3. Рециркуляция потока.
3.6.4. Регулирование скорости рабочего колеса.

Тест 3.7. Какая тахограмма может быть использована для клетевых шахтных подъемных машин, работающих на несколько горизонтов?

3.7.1. 4-х периодная.
3.7.2. 5-ти периодная.
3.7.3. 3-х периодная.
3.7.4. 7-ми периодная.

Тест 3.8.В каком стандартном режиме работает ЭП вращателя бурового станка (СБШ)?

3.8.1. S2.
3.8.2. S3.
3.8.3. S1 с постоянным моментом сопротивления.
3.8.4. S1 с переменным моментом сопротивления.

Тест 3.9. Современная система механизма подачи, применяемая на очистных комбайнах?

3.9.1. канатная; 3.9.2. цепная; 3.9.3. бесцепная; 3.9.4. гусиничная.

Тест 3.10. Система ЭП, применяемая в настоящее время для механизма вращателя СБШ.

3.10.1. АДфр; 3.10.2. Г-Д; 3.10.3. реверсивный ТП-Д; 3.10.4. нереверсивный ТП-Д .

Тест 3.11. Коэффициент отсечки экскаваторной МХ.

3.11.1. $\frac{\text{Мстоп}}{\text{Мн}}$; 3.11.2. $\frac{\text{Мн}}{\text{Мстоп}}$; 3.11.3. $\frac{\text{Мотс}}{\text{Мстоп}}$; 3.11.4. $\frac{\text{Мстоп}}{\text{Мотс}}$.

Тест 3.12. Перспективная система главных ЭП одноковшовых экскаваторов.

3.12.1. ТП-Д; 3.12.2. Трв-ГД; 3.12.3. ПЧ-АД; 3.12.4. ШИП-Д.

Тест 3.13. Перспективная система главных ЭП горных машин.

3.13.1. ТП-Д; 3.13.2. НПЧ-АД; 3.13.3. ДПЧ-АД; 3.13.4. ШИП-Д.

Тест 3.14. Какую тахограмму требуется формировать для скиповых ШПМ?

3.14.1. 3-х периодную; 1.14.2. 5- периодную; 1.14.3. 6- периодную; 1.14.4. 7- периодную.

Тест 3.15. Максимальная скорость подъемного сосуда при движении в разгрузочных кривых.
3.15.1. 1,0 м/с; 3.15.2. 1,5 м/с; 3.15.3. 2,0 м/с; 3.15.4. 3,0 м/с.

Тест 3.16. Максимальное ускорение при подъеме людей.

3.16.1. 0,5 м/с^2; 3.16.2. 0,75 м/с^2; 3.16.3. 1,0 м/с^2; 3.16.4. 1,5 м/с^2.

Тест 3.17. Современные системы главных ЭП одноковшовых карьерных экскаваторов.

3.17.1. Трв-ГД; 3.17.2. ТП-Д; 3.17.3. ПЧ-АД; 3.17.4. ШИП-ДПТ.

Тест 3.18. Рекомендуемые коэффициенты отсечки «экскаваторной» М.Х для копающих механизмов одноковшовых экскаваторов.

3.18.1. 0,5; 3.18.2. 0,7-0,8; 3.18.3. 0,9; 3.18.4. 1,1.

Тест 3.19. Рекомендуемые коэффициенты отсечки «экскаваторной» МХ реечного напора карьерного экскаватора.

3.19.1. 0,5; 3.19.2. 0,8; 3.19.3. 1,0; 3.19.4. 1,2.

Тест 3.20. Рекомендуемые коэффициенты отсечки «экскаваторной» МХ с ЭП механизмом поворота одноковшовых экскаваторов.

3.20.1. 0,5; 3.20.2. 0,7; 3.20.3. 0,9-1,1; 3.20.4. 1,2.

Тест 3.21. Привод механизма подачи бурового станка СБШ.

3.21.1. электрический; 3.21.2. пневматический; 3.21.3. гидравлический; 3.21.4. электро-гидравлический.

Тест 3.22. Способ форсирования переходного процесса возбуждения ГПТ.

3.22.1. Введение добавочного сопротивления в цепь возбуждения.
3.22.2. Шунтировать обмотку возбуждения активным сопротивлением.
3.22.3. Увеличение напряжения, подводимого к обмотке возбуждения.
3.22.4. Увеличение скорости вращения якоря ГПТ.

Тест 3.23. Основной способ ограничения нагрузок при стопорении ЭП.

3.23.1. Максимальная токовая защита.
3.23.2. Муфты предельного момента.
3.23.3. *Формирование «экскаваторной» МХ с Котс=1,0* .
3.23.4. *Формирование «экскаваторной» МХ с Котс<1,0* .

Тест 3.24. Современный способ ограничения нагрузок при стопорении ЭП.

3.24.1. Максимальная токовая защита.
3.24.2. *Формирование «экскаваторной» МХ с Котс>1,0.*
3.24.3. *Повышение быстродействия управляемого преобразователя* .
3.24.4. *Формирование «экскаваторной» МХ с Котс<1,0* .

Тест 3.25. Основная структура системы управления ЭП горных машин.

3.25.1. с суммирующим усилителем;
3.25.2. *с независимым регулированием координат;*
3.25.3. *система подчиненного регулированием координат;*
3.25.4. *разомкнуты системы управления* .

Раздел 4. Общие вопросы проектирования электроприводов.

Тест 4.1. Последовательность проектирования электроприводов.

4.1.1. Выбрать двигатель по мощности.
4.1.2. Выбрать двигатель по месту расположения.
4.1.3. Моделирование переходных процессов в электроприводе.
4.1.4. Разработка требований, предъявляемых к электроприводу со стороны механизма.

Тест 4.2. Нагрузочная диаграмма привода.

4.2.1. Зависимость. $\omega = f$ (t) механизма циклического действия.
4.2.2. Зависимость. $\omega = f$ (t) механизма продолжительного режима работы.
4.2.3. Зависимость. M = f (t) механизма продолжительного режима работы.
4.2.4. Зависимость. M = f (t) механизма циклического действия.

Тест 4.3. Механизм с цикличным режимом работы.

4.3.1. Центробежный насос.
4.3.2. Ленточный конвейер.
4.3.3. Одноковшовый экскаватор.
4.3.4. Шаровая мельница.

Тест 4.4. Параметр, характеризующий повторно-кратковременный режим работы (S2).

4.4.1. Продолжительный режим рабочего периода.
4.4.2. Продолжительность включения (ПВ).
4.4.3. Постоянство момента нагрузки.
4.4.4. Коэффициент полезного действия.

Тест 4.5. Последовательность проектирования ЭП.

4.5.1. Выбор системы ЭП.
4.5.2. Расчет динамических нагрузок.
4.5.3. Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы рабочего органа механизма.
4.5.4. Разработка функциональной и принципиальной схем ЭП.

Тест 4.6. Габариты и вес активных частей двигателя, приближенно можно считать пропорциональными:

4.6.1. номинальному напряжению;
4.6.2. температуре нагрева обмоток двигателя;
4.6.3. номинальному моменту;
4.6.4. температуре нагрева изоляции обмоток.

Тест 4.7. Зависит ли стоимость двигателя от номинальной угловой скорости?

4.7.1. С увеличением скорости стоимость увеличивается.
4.7.2. С увеличением скорости стоимость уменьшается.
4.7.3. С уменьшением скорости стоимость уменьшается.
4.7.4. Стоимость не зависит от скорости.

Тест 4.8. При выборе двигателя в продолжительном режиме S1:

4.8.1. определяется эквивалентная мощность;
4.8.2. проверка по условиям пуска;
4.8.3. проверка по перегрузочной способности;
4.8.4. проверка по нагреву.

Тест 4.9. При выборе двигателя в кратковременном режиме S2:

4.9.1. определяется эквивалентная мощность;
4.9.2. соответствие стандартным продолжительностям рабочего периода;
4.9.3. проверка на перегрузочную способность;
4.9.4. проверка по условиям пуска.

Тест 4.10. При выборе двигателя в повторно-кратковременном режиме работы S2:

4.10.1. определяется длительность работы и паузы;
4.10.2. определяется продолжительность включения (ПВ);
4.10.3. осуществляется пересчет мощности двигателя на стандартный (ПВ) ;
4.10.4. проверка двигателя по условиям пуска.

Таблица верных ответов

Раздел -1		Раздел-2		Раздел-3		Раздел-4	
Тест	Ответ	Тест	Ответ	Тест	Ответ	Тест	Ответ
1.1	1.1.3	2.1	2.1.3	3.1	3.1.3	4.1	4.1.4
1.2	1.2.1	2.2	2.2.3	3.2	3.2.4	4.2	4.2.4
1.3	1.3.4	2.3	2.3.1	3.3	3.3.3	4.3	4.3.3
1.4	1.4.3	2.4	2.4.3	3.4	3.4.3	4.4	4.4.2
1.5	1.5.1	2.5	2.5.3	3.5	3.5.1	4.5	4.5.3
1.6	1.6.4	2.6	2.6.3	3.6	3.6.4	4.6	4.6.3
1.7	1.7.4	2.7	2.7.3	3.7	3.7.3	4.7	4.7.2
1.8	1.8.2	2.8	2.8.3	3.8	3.8.4	4.8	4.8.1,2,3
1.9	1.9.1	2.9	2.9.4	3.9	3.9.3	4.9	4.9.1,2,3
1.10	1.10.4	2.10	2.10.4	3.10	3.10.4	4.10	4.10.1,2,3
1.11	1.11.3	2.11	2.11.2	3.11	3.11.3		
1.12	1.12.2	2.12	2.12.3	3.12	3.12.3,4		
1.13	1.13.2	2.13	2.13.4	3.13	3.13.3,4		
1.14	1.14.1,3	2.14	2.14.1	3.14	3.14.4		
1.15	1.15.2	2.15	2.15.3	3.15	3.15.2		
1.16	1.16.3	2.16	2.16.3	3.16	3.16.2		
1.17	1.17.3	2.17	2.17.3	3.17	3.17.3,4		
1.18	1.18.3	2.18	2.18.4	3.18	3.18.1,2		
1.19	1.19.4	2.19	2.19.4	3.19	3.19.1		
1.20	1.20.4	2.20	2.20.4	3.20	3.20.3		
1.21	1.21.3	2.21	2.21.1	3.21	3.21.4		
1.22	1.22.3	2.22	2.22.3	3.22	3.22.3		
1.23	1.23.3	2.23	2.23.4	3.23	3.23.4		
1.24	1.24.4	2.24	2.24.3	3.24	3.24.3,4		
1.25	1.25.2	2.25	2.25.3	3.25	3.25.3		

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Проректор по учебно-методическому

УТВЕРЖДАЮ

комплексу

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

ОСНОВЫ ИНЖИНИРИНГА СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН И УСТАНОВОК

Направление подготовки
21.05.04 Горное дело

Направленность (профиль):
«Горные машины и оборудование»
квалификация выпускника: **специалист**

Автор: Макаров Н.В.

Одобрена на заседании кафедры
Горной Механики
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)
Макаров Н.В.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…5

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

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 устудентов 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 знании 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 лекций, практическихзанятий 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 - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов 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 «*Математическая обработка результатов эксперимента* » обращают 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 сдаче *зачета(экзамена)*.

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 «Основы профессиональной деятельности»» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету(экзамену).

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Основные понятия и определения инжиниринга. Формы инжиниринга. Базовые положения инжиниринга и содержание бизнес-процессов. Инжиниринговые предприятия. Место дисциплины в структуре специальности горное дело специализации горные машины и оборудование.
2. Основные направления развития научно-инновационной деятельности и научно-технологических инициатив РФ в области горного дела как стартовая площадка для инноваций. Научно-технологические инициативы РФ. Фонды поддержки развития инноваций.
3. Структура процесса инжиниринга на примере внедрения нового вентиляторного оборудования в технологическую цепочку предприятия. Инициация и планирование проекта
4. Проектные риски в инжиниринге. Разработка процесса управления проектом.
5. Основные этапы инжиниринга. Требование к содержанию и оформлению. Техническое задание как требование заказчика к объекту закупки (установки).
6. Основные этапы инжиниринга. Проектирование, моделирование, испытание опытного образца.
7. Основные этапы инжиниринга. Организация подготовки производства. Планирование себестоимости производства
8. Основные этапы инжиниринга. Планирование и качественная закупка оборудования.
9. Планирование серийного производства. Отгрузка товара
10. Направления инжиниринга в рабочей среде. Поиск и изучение конкурентов. Основные инструменты развития инжиниринга как формы технологического предпринимательства

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 К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной

деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

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 К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету(экзамену)*по дисциплине *«Математическая обработка результатов эксперимента»* 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 *«Математическая обработка результатов эксперимента»*.

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(экзамене)*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(экзамене)*(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(экзамену)* 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.т.н., доцент

_____ Н.В. Макаров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

Б1.В. Д В.01.01 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 9

Горные машины и оборудование

квалификация выпускника: **горный инженер**

форма обучения: очная, заочная

Автор: Автор: Потапов В.Я., профессор, д.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Горной механики
(название кафедры)
Протокол № 8 от № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Екатеринбург 2019

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….…….....3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..4
Содержание контрольной работы…….....5
Пример выполнения работы.....5
Выполнение работы над ошибками……...…7
Критерии оценивания контрольной работы …….7
Образец титульного листа …….….8

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины: дать представление об основных методах и подходах для проведения эксперимента и моделирования случайных процессов и динамических систем горных машин, о теоремах и критериях подобия, научить решать широкий класс задач, подготовить понятийную базу для освоения различных курсов по специальности, сформировать общекультурные общепрофессиональные и профессионально специализированные навыки

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

общекультурные

способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);

общепрофессиональные

умением пользоваться компьютером как средством управления и обработки информационных массивов (ОПК-7)

профессионально-специализированные

способностью выбирать способы и средства мониторинга технического состояния горных машин и оборудования для их эффективной эксплуатации (ПСК-9.3)

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- овладеть теоретическими и методическими основами проведения экспериментальных исследований;
- приобретение знаний по основам статистической обработки результатов экспериментальных исследований и оценки их достоверности.
- формирование у обучающихся способностей непосредственного участия в технологическом перевооружении действующих производств

Методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по специальности *21.05.04 Горное дело.*

Письменная контрольная работа является обязательной формой *промежуточной аттестации.* Она отражает степень освоения студентом учебного материала по дисциплине Б1.В. Д В.01.01 Математическая обработка результатов эксперимента. А именно, в результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

-основные теоремы подобия процессов;

-законы распределения случайных величин;

-статистические проверки гипотез;

-основы теории планирования эксперимента и математические модели;

-основы имитационного моделирования.

уметь:

-находить критерии подобия процессов горных машин;

-моделировать на ПЭВМ случайные события;

-находить коэффициенты регрессии математических моделей.

владеть:

-измерениями механических величин, характеризующих рабочие процессы горных машин;

-моделированием рабочих процессов основных горных машин;

-основными программами ПЭВМ, описывающими рабочие процессы горных машин.

-навыками самостоятельного овладения новыми знаниями, используя современные образовательные технологии, активные и интерактивные методы обучения

Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в печатном виде, 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 Математическая обработка результатов эксперимента представлено двадцать пять вариантов контрольной работы.

Номер варианта контрольной работы определяется для студентов в соответствии с начальными буквами их фамилий в алфавитном порядке (см. таблицу №1).

Таблица №1

№	y_i	-10	-5	-4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	9	10	20
1			0,41	0,87	1,84	3,04	5,03	8,25	10,4							
2			0,24	0,48	1,98	3,96	8,02	16,2	32,5							
3						6,03	9,01	13,4	20,1	30.0	44,5	66,5				
4					0,27	0,9	2,99	10	33	109	360					
5				0,03	0,42	1,73	7,02	28,4	115	469						
6				164	18	6,01	1,99	0,66	0,22	0,07						
7				146	24,1	9,85	4,03	1,63	0,66	0,27						
8			312	147	27,1	13,4	5,98	2,69	1,34							
9				88	26,6	14,5	8,03	4,41	2,41	1,33	0,73					
10		240	65,3	39,8	21,8	16,2	12	8,88								
11				0,59	1,29	2,01	3,03	4,5	6,75	10,2						
12				0,25	1,01	2,01	3,99	8,01	16	31,9						
13				0,13	0,96	1,99	5	12,5	31,2	77,1						
14				0,26	0,78	2,33	6,99	21,01	63	189						
15				0,04	0,49	1,72	6,09	21,5	73,5	252						
16				71,5	28,2	17,6	10,9	6,87	4,3	2,68						
17				105	32,4	18,1	9,99	5,55	3,08	1,73						
18					43,5	19,8	9,01	4,1	1,66	0,84	0,38					
19					46	19,2	7,98	3,34	1,39	0,57	0,24					
20					81,2	31,2	11,9	4,23	1,77	0,68	0,26					
21								-11,1	0,99	5	7,01	8,21	9	10,3	11	11,8
22								42	70,1	98	126	154	162			
23								-14,9	0,01	5,01	7,5	9,02	10			
24								-19,9	2,01	4,01	7	8,81	10			
25								-23	-3	3,71	7,01	9,01	10			

Содержание контрольной работы

Контрольная работа по теме № 3

Парная нелинейная регрессия

Задание : По данным построить зависимость y=f(x), определить наиболее подходящий вид кривой и определить коэффициенты модели.

Определить вид зависимости и коэффициенты нелинейной регрессии, а также корреляционное отношение по данным, приведенным ниже в таблице (в каждой точке было произведено по три опыта и получено три различных значения целевой функции «y»).

Таблица.1

xi	yi1	yi2	yi3
1	1,98	2,0	2,02
1,5	8,33	8,27	8,3
2	22,75	22,8	22,85
2,5	50,2	49,8	50,0

Решение:

1. Определим средние значения целевой функции $\bar{y}_i$ в каждой строке и построим ориентировочно линию регрессии $y = f(x)$

$$\bar{y}_1 = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} = (1{,}98 + 2{,}0 + 2{,}02/3) = 2{,}0$$
$$\bar{y}_2 = (8{,}31 + 8{,}29 + 8{,}3/3) = 8{,}3 \qquad (1)$$
$$\bar{y}_3 = (22{,}79 + 22{,}8 + 22{,}81/3) = 22{,}8$$
$$\bar{y}_4 = (50{,}2 + 49{,}8 + 50{,}0/3) = 50{,}0$$

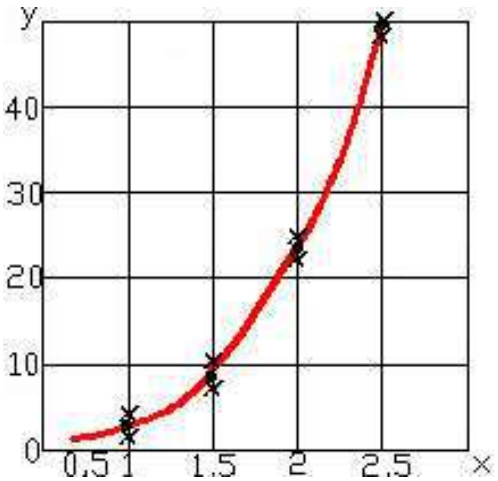


Рис. 1. Корреляционное поле и линия регрессии

В первом приближении линию регрессии можно описать степенным уравнением вида

$$y = A \cdot X^{B} \tag{2}$$

Сравнивая средние значения целевой функции в строках видно, что показатель степени B в уравнении (2) больше 3, но меньше 4, так как при увеличении x1=1 до x3=2, ($y = A \cdot X^{B}$) возрастает больше чем в 8 раз, но меньше чем в 16 раз.

2. Произведем линеаризацию уравнения (2) в виде $y = a_0 + a_1 \cdot x$, для чего прологарифмируем его и обозначим

$$\lg y = \lg A + B \lg x$$
$$\lg y = Z;\ \lg A = a_0;\ B = a_1;\ \lg x = x_1 \tag{3}$$

Таким образом, получим линейное уравнение вида

$$Z = a_0 + a_1 \cdot x_1 \tag{4}$$

Для вычислений коэффициентов регрессии целесообразно составить новую таблицу 2:

№	Xi	y			$\bar{y}_i$	Xi1	Zi	$Z_i \cdot X_{i1}^2$	X_{i1}^2	$\hat{y}_i$	$\sum_1^3 \left(\frac{y_i + \bar{y}_i}{3}\right)^2$	$\left(\bar{y}_i + \hat{y}_i\right)^2$
		yi1	yi2	yi3								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1,98	2,0	2,02	2,0	0	0,3	0	0	2,0	0,00026	0
2	1,5	8,33	8,27	8,3	8,3	0,177	0,92	0,163	0,031	8,32	0,0006	0,0004
3	2	22,75	22,8	22,85	22,8	0,3	1,357	0,406	0,09	22,9	0,00166	0,0100
4	2,5	50,2	49,8	50,0	50,0	0,4	1,70	0,680	0,16	49,9	0,01333	0,0100
Σ						0,877	4,277	1,249	0,281		0,01585	0,0204

3. Запишем систему уравнений

$$\begin{cases} \sum_1^4 Z_i = N \cdot a_0 + a_1 \sum_1^4 X_{i1} \\ \sum_1^4 Z \cdot X_{i1} = a_0 \sum_1^4 X_1 + a_1 \sum_1^4 X_{i1}^2 \end{cases} \Rightarrow \quad \begin{cases} 4{,}28 = 4a_0 + 0{,}877a_1 \\ 1{,}25 = 0{,}877a_0 + 0{,}281a_1 \end{cases} \tag{5}$$

Решая систему уравнений (5) получим: $a_1 = 3{,}51$; $a_0 = 0{,}3$.
Определим значения неизвестных в уравнении (3) B = 3,51;

$$a_0 = \ln A \Rightarrow A = 2$$

Таким образом регрессионное уравнение (1) имеет вид:

$$y = 2 \cdot X^{3{,}51} \tag{6}$$

В первом приближении, линию регрессии можно описать уравнением вида значения «$\hat{y}$» и заносим их в 11-й столбец таблицы 2.

4. Определим дисперсию результатов эксперимента ($\sigma_Э^2$) и дисперсию адекватности (σ_A^2):

$$\sigma_Э^2 = \sum_{i=1}^{4}\left[\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{4}\left(y_{ij} - \bar{y}_i\right)^2\right] = 158{,}5\cdot 10^{-4}$$
$$\sigma_A^2 = \frac{1}{k}\sum_{1}^{4}\left(\bar{y}_i - \hat{y}\right)^2 = \frac{0{,}0204}{4} = 51\cdot 10^{-4} \quad (7)$$

4. Находим корреляционное отношение

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_\sigma^2 - \sigma_A^2}{\sigma_\sigma^2}} = \sqrt{\frac{158{,}5\cdot 10^{-4} - 51\cdot 10^{-4}}{158{,}5\cdot 10^{-4}}} \approx 0{,}825 \quad (8)$$

Вывод: Между целевой функцией «х» и входным параметром «у» имеется существенная связь.

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

Критерии оценки контрольной работы	*Количество баллов*
Правильность выбора расчетных формул	0-2
Верность выполнения расчетов	0-2
Правильность записи единиц измерения	0-1
Итого	0-5

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»:

5баллов(90-100%) - оценка «отлично»

4 балла(70-89%) -оценка «хорошо»

3 балла (50-69%)- оценка «удовлетворительно»

0-2 балла (0-49%) - оценка «неудовлетворительно»

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра горной механики

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Специальность

21.05.04 Горное дело

Горные машины и оборудование

формы обучения: очная, заочная

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа ГМО-18

Преподаватель: Петров Петр Петрович,
к. т. н, доцент

Екатеринбург
2019

Министерство науки и высшего образования и РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

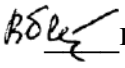
А. И. Афанасьев, В. Я. Потапов,
П. А. Костюк

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Учебно-методическое пособие для практических занятий и контрольных работ по дисциплине «Математическая обработка результатов эксперимента» для студентов специализации «Горные машины и оборудование» направления 21.05.04 – «Горное дело»

Екатеринбург
2019

Министерство науки и высшего образования и РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета УГГУ
«19» апреля 2019 г.
Председатель комиссии

проф. В. П. Барановский

А. И. Афанасьев, В. Я. Потапов,
П. А. Костюк

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Учебно-методическое пособие для практических занятий и контрольных работ по дисциплине «Математическая обработка результатов эксперимента» для студентов специализации «Горные машины и оборудование» направления 21.05.04 – «Горное дело»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

УДК 622.34
А94

Рецензент: *Суслов Н. М.,* д-р техн. наук,
профессор, зав. кафедрой ГМК УГГУ

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры ГМ
18. 04. 2019 г. (протокол № 179) и рекомендовано
для издания в УГГУ

Афанасьев А. И., Потапов В. Я., Костюк П. А.

А94 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА: учебное пособие для практических занятий и контрольных работ по дисциплине «Математическая обработка результатов эксперимента» для студентов специализации «Горные машины и оборудование» направления 21.05.04 – «Горное дело» / А. И. Афанасьев, В. Я. Потапов, П. А. Костюк; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 79 с.

В учебном пособии для практических занятий и контрольных работ изложены общие принципы обработки результатов эксперимента и проверки статистических гипотез, рассмотрен порядок выполнения индивидуальной расчетной работы. Приведены примеры корреляционного анализа, теории планирования эксперимента.

© Уральский государственный
горный университет, 2019
© Афанасьев А. И., Потапов В. Я.,
Костюк П. А., 2019

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

По дисциплине «Математическая обработка результатов эксперимента» выполняется 5 контрольных работы и индивидуальная расчетная работа. Проведению контрольной работы предшествуют лекция (или лекции) и практическое занятие по данному разделу дисциплины. Если студент не выполнил контрольную работу или отсутствовал по какой-либо причине, то он должен решить свой вариант на индивидуальном занятии. В отдельных случаях преподаватель может выдать задание для самостоятельного решения студентом какой-либо контрольной работы с целью выработки навыков самостоятельной работы.

Для выполнения контрольной работы студенту необходима вычислительная техника.

Контрольные работы № 3 и 4 могут быть выполнены на ПЭВМ с использованием программ, находящихся на кафедре ГМ и ГМК. Работы могут быть выполнены без применения ПЭВМ (см. прил. 1–3).

Перед выполнением контрольной работы преподаватель задает номер варианта.

Для проверки варианта преподавателем, студент должен представить ход решения задачи, промежуточные результаты и конечный ответ.

После выполнения контрольной работы студент сдает задание, решение и конечный ответ преподавателю на проверку.

Основой для выполнения контрольной работы является литература, перечисленная в рабочей программе курса [1, 2].

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН ПО КРИТЕРИЮ ПИРСОНА

Задачи № 1–5

При аналитическом исследовании рабочих процессов горных машин возникает задача описания входной функции — случайного воздействия внешней среды на их рабочий орган. Это воздействие является, как правило, случайной величиной, распределенной по различным законам. При обработке результатов эксперимента возникает задача определения вида распределения выходной величины и в дальнейшем прогнозирования состояния исследуемого объекта.

Целью первых пяти задач является определение с помощью критерия Пирсона вида закона распределения, и определение минимального числа реализаций случайных величин, обеспечивающих с 90 %-й надежностью совпадение результатов моделирования с теоретическим распределением. В табл. 1.1 приведены исходные данные для выполнения этих задач.

Для моделирования равномерно и нормально распределенных величин необходимо знать выборочное среднее ($\bar{x}$), а также максимальное ($x_{\max}$) и минимальное ($x_{\min}$) значения переменной.

С достаточной для инженерных расчетов точностью для нормального закона распределения среднее квадратичное отклонение и выборочное среднее можно определить из уравнений

$$\sigma = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{8}, \tag{1.1}$$

$$\bar{x} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \tag{1.2}$$

При моделировании экспоненциально распределенной случайной величины необходимо знать один параметр — выборочное среднее ($\bar{x}$), которое равно среднему квадратичному отклонению.

Для моделирования случайной величины, распределенной по закону Вейбулла, необходимо знать три параметра: α, β, γ. Обычно при моделировании один из параметров (γ) принимается равным нулю, а вариацией двух других параметров (α, β) обеспечивают необходимую форму кривой плотности вероятности ($x_{\min} = 0, x_{\max} = 4$).

Распределение Релея однопараметрическое ($a \neq 0$) и является частным случаем распределения Вейбулла ($r=0, \beta=2, \alpha=2a^2$). Исходные данные к задачам приведены в табл. 1.1.

Проверка соответствия полученного распределения теоретическому ***производится в следующем порядке:***

1. Строится гистограмма распределения (т. е. определяется число реализаций в каждом интервале $n_ф$. Число интервалов обычно принимается 8÷10 (i = 8÷10)).

2. Определяется теоретическое число реализаций в каждом интервале.

$$n_{Ti} = [F(x_{i+1}) - F_i(x_i)] \cdot, \qquad (1.3)$$

где N — суммарное число реализаций случайной величины;

$F(x_i)$ — значение интегральной функции в точке x_i.

3. Находится значение критерия Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=10} \frac{(n_{Фi} - n_{Ti})^2}{n_{Ti}} . \qquad (1.4)$$

4. Определяется число степеней свободы

$$\varphi = k_{инт} - 1 , \qquad (1.5)$$

где $k_{инт}$ – число интервалов изменений случайной величины.

5. По табл. 2.1, для заданного уровня надежности, находится табличное значение критерия Пирсона χ^2_T .

Если $\chi^2_T > \chi^2$ — то смоделированная совокупность незначительно отличается от теоретической.

Интегральные функции распределения случайных величин приведены в учебном пособии [1, 2].

Таблица 1.1

Исходные данные к задачам № 1-5

Номер варианта	Равномерное и нормальное распределение		Экспоненциальное	Распределения		
				Вейбулла		Релея
	x_{max}	x_{min}	λ	α	β	a
1	20	2	2,55	0,98	0,4	2,55
2	30	3	1,66	0,99	0,45	2,61
3	40	4	1,79	1,00	0,5	2,73
4	50	5	1,89	1,01	0,6	2,84
5	60	6	2,91	1,02	0,7	2,91
6	70	7	1,26	1,03	0,8	1,99
7	80	8	1,17	1,04	0,9	1,93
8	90	9	1,29	1,05	1,0	1,81
9	100	10	1,37	1,06	1,1	1,45
10	110	11	1,42	1,07	1,2	1,49
11	120	12	1,53	0,97	1,3	1,58
12	130	13	1,67	0,96	1,4	1,69
13	140	14	1,74	0,95	1,5	1,74
14	150	15	1,83	0,94	1,6	1,85
15	160	16	1,91	0,95	1,7	1,97
16	170	17	2,02	0,96	1.8	2,05
17	180	18	2,13	0,97	1,9	2,12
18	190	19	2,24	0,98	2,0	2,22
19	35	0	2,35	0,99	2,1	2,33
20	40	1	2,46	1,00	2,2	2,44
21	45	2	2,57	1,01	2,3	2,55
22	50	3	2.68	1,02	2,4	2,66
23	55	4	2,71	1,03	2,5	2,77
24	60	5	2,82	1,04	2,6	2,88
25	65	6	2,93	1,05	2,7	2,99
26	70	11	3,01	1,06	2.8	3,05
27	75	13	1,45	1,07	2,9	3,16
28	80	10	1,40	1,08	3,0	3,27
29	85	8	1,38	1,09	3,1	3,38
30	90	7	1,33	1,10	3.2	3,49

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2
РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ (СВ)

Целью контрольной работы №2 является построение Гистограммы распределения нагрузок в упругом элементе и отыскание их статистических характеристик $(\bar{T}, \sigma_T^2)$ $\bar{T}-$ выборочное среднее момента в упругом звене. Число циклов нагрузки *N* принять равным 2000. Минимальный нагрузочный момент $T_{c\min} = 0$. Максимальный нагрузочный момент $T_{c\max} = 2T_{\text{п}}$. Угловая скорость – 200 рад/с. Исходные данные табл. 2.2.

Минимальную и максимальную частоту собственных колебаний, коэффициент демпфирования и шаг интегрирования находят из формул, приведенных в контрольной работе № 6 (индивидуальной расчетной работе).

Таблица 2.1

Распределение Пирсона (x^2)

Вероятность $P(x^2 < x_\alpha^2)$				
φ	0,99	0,98	0,95	0,90
1	0,00016	0,0063	0,393	0,0158
2	0,0201	0,0404	0103	0,211
3	0,115	0,185	0,352	0,584
4	0,297	0,429	0,711	1,064
5	0,554	0,752	1,145	1,610
6	0,872	1,134	1,635	2,204
7	1,239	1,564	2,167	2,833
8	1,646	2,032	2,733	3,490
9	2,088	2,532	3,325	4,168
10	2,558	3,059	3,940	4,865
11	3,053	3,609	4,575	5,578
12	3,571	4,178	5,226	6,304
13	4,107	4,765	5,892	7,042
14	4,660	5,368	6,571	7,790
15	5,229	5,985	7,261	8,547
16	5,812	6,614	7,962	9,312
17	6,408	7,255	8,672	10,085
18	7,015	7,906	9,390	10,865

Окончание табл. 2.1

Вероятность $P(x^2 < x_\alpha^2)$				
φ	0,99	0,98	0,95	0,90
19	7,633	8,567	10,117	11,651
20	8,260	9,237	10,851	12,443

Таблица 2.2

Исходные данные к контрольной работе № 2

Номер варианта	J_1, кг·м^2	J_2, кг·м^2	$C\cdot10^3$, Н·м	T_n, Н·м	$T_{\text{дв}}$, Н·м
1	8	35	10	200	420
2	9	36	11	220	490
3	10	37	12	240	500
4	11	38	13	260	530
5	12	39	14	280	570
6	13	40	15	300	610
7	14	50	16	320	650
8	15	49	17	340	690
9	16	48	18	360	730
10	17	46	19	380	770
11	18	45	20	400	810
12	19	44	21	210	430
13	20	43	22	230	480
14	25	42	23	250	520
15	24	41	24	270	570
16	23	40	25	290	620
17	22	60	26	310	640
18	21	59	27	330	690
19	20	58	28	370	750
20	19	57	29	390	810
21	18	56	30	410	840
22	17	55	31	430	870
23	16	54	32	450	910
24	15	53	33	470	960
25	14	52	34	490	1000
26	13	51	35	510	1030
27	12	50	36	530	1070
28	11	49	37	550	1150
29	10	48	38	570	1170
30	15	29	39	600	1200

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3
РОТОТАБЕЛЬНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ПЛАН

В табл. 3.1 приведен рототабельный композиционный план для трех факторов и результаты опытов [3, 6, 7].

Найти математическую модель в нормализованных обозначениях.

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2 + \\ + a_{33} \cdot x_{33}^2 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 \ .$$

Таблица 3.1

Рототабельный композиционный план для трех факторов и результаты опытов

№ п/п	X3=-1 X2=-1 X1=-1	X3=-1 X2=-1 X1=1	X3=-1 X2=1 X1=-1	X3=-1 X2=1 X1=1	X3=1 X2=-1 X1=-1	X3=1 X2=-1 X1=1	X3=1 X2=1 X1=-1	X3=1 X2=1 X1=1	X3=0 X2=0 X1=0	X3=0 X2=0 X1=-1,62	X3=0 X2=0 X1=1,62	X3=0 X2=-1,62 X1=0	X3=0 X2=1,62 X1=0	X3=1,62 X2=0 X1=0	X3=1,62 X2=0 X1=0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	40.05	55.25	35,85	42.65	38.05	38.45	38,65	30,65	40	36,29668	42,12868	45.5161	35.7961	45,67	34,33
2	39,8	54,4	37	44	37.4	38	39.8	32.8	41	37,39712	43,55312	44.24	37,76	45.45824	34,44224
3	42.15	55.95	37.55	44.15	40.35	40,95	40,15	33.55	42	39.084	44.916	47.43737	37.71737	46.05097	36,00697
4	38.06	52.06	38,06	44,06	38,46	38,86	38.46	30.86	43	32.5343	37,7188	46,86986	40,38986	47.18673	36,81873
5	47,36	55.16	43.16	42,16	38,36	46,16	J3.96	37.96	44	40.72112	46,22912	49,57312	39.52912	48.42746	37,73546
6	45.95	59,55	36,75	50.35	45.15	39,55	41,55	35,95	45	40.71024	47,19024	51.10254	40.73454	49.58136	37,26936
7	42,22	59,42	37.02	47.02	49,42	47,02	49,42	39,82	47	42.81975	48,97575	52.9143	42.3703	45,6878	44,56258
8	47,88	65,08	48,88	58,48	47,08	45,48	53,68	44,48	52	47,71024	54,19024	52,86605	52,86605	56.55058	45,6878
9	54.94	67,94	49.34	55,54	54,74	48.54	54,34	41,34	54	52.924	52.924	60,10254	49.73454	58,25736	46,59336
10	55,49	72.69	50.39	59,99	55,19	52.79	55,49	45,49	56	52.03424	57,86624	61,9143	51.8703	61.994	50,006
11	60.1	77.5	53.5	64,5	58,7	.55.7	58.5	49.1	61	56.4478	62,9273	66.346	55.654	65.70448	52,09648
12	62.95	80,15	56.55	67.75	61,75	58.95	61.35	52,55	63	59.598	66,402	69,36498	58.99698	67,80492	54,52092
13	62,84	80,24	60,04	71.04	64,64	61.24	61,84	52,04	65	60.74102	66,89702	71,01474	61,29474	69,9977	56,0657
14	72	79	64.8	65,8	60.4	67.4	59.6	60,6	67	62.71024	69.19024	73.71976	62,37976	71.70448	58,09648
15	70,8	85.2	61,2	75,6	70	64	66.4	60,4	70	65,2853	72.0898	76.52698	65,83498	74.5117	61,5517
16	68.03	81.23	62.23	68,63	71.03	73.43	70,03	65.63	71	66,7799	73.9079	77.76771	66.75171	67.85072	67,85072
17	71,83	85,43	72.61	79,81	66,61	68.61	72.23	67,83	74	69.56541	77,01741	75.28596	75,28596	78.07916	64,14716
18	79,64	88.24	73.44	76.04	74,84	72.24	73.04	64,44	76	75,31766	75,31766	82,9822	71,6422	66,7336	66,7336
19	80.55	93.55	74.91	80,71	74.71	77,71	73.95	69.75	78	73.7799	80.9079	34.76771	73.75171	84.804	71.196
20	76.21	89.21	69,81	76,41	70,21	72,81	68.61	64.81	75	70.51292	77.96492	80.832	69,168	78.97872	64,72272
21	46.13	61.53	37.53	47.33	40.33	40.53	39.73	34.33	44	39.95	48.05	51.38493	39.39693	43.72716	33.49916
22	47,37	61,57	42.65	52.05	45.57	45.37	40.85	35.85	47	43.01156	50.46356	54.10564	42.57124	51.6656	37,0356
23	57	64	49,8	50.8	45.4	52.4	44.6	45.6	52	47.71024	54.19024	58.71976	47.37976	56.70448	43,09648
24	55,8	70.2	46.2	60.6	55	49	51.4	45.4	55	50.2858	57.0898	61,52698	50.83493	59.5117	46,5517
25	59.03	72,23	53.23	59.63	62,03	64.43	61.03	56.63	62	57.7799	64,9079	68,76771	57,75171	58.85072	58.85072

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
26	77,67	93.27	78.67	87,07	72.47	74.07	78,67	73,07	80	75.11019	83,21019	81.28596	81.28596	85.67648	70,12448
27	79.64	88.24	73.44	76.04	74.84	72.24	73.04	64.44	76	75.31766	75.31766	82.9822	71.6422	80,0176	66,7336
28	80,55	93.55	74,91	80.71	74.71	77.71	73.95	69.75	78	73,7799	S0.9079	84.76771	73.75171	84,804	71.196
29	76,21	89,21	69,81	76,41	70,21	72,81	68.61	64,81	75	70,51292	77.96492	80,832	69,168	78,97872	64.2272
30	81,13	96,53	72,53	82.33	75,33	75,53	74,73	69,33	79	74.95	83.05	86,38493	74,39693	83,72716	68.49916
31	76.64	92.24	72,04	81.24	77,04	76,64	72,44	65.64	77	72.62244	79.75044	84.49898	71.86298	82.10624	69.79424
32	72	79	64,8	65.8	60.4	67.4	59.6	60,6	67	62.71024	69.19024	73.71976	62,37976	71.70448	58.09648
33	70,8	85.2	61.2	75.6	70	64	66.4	60.4	70	65.2858	72.0898	76,52698	65,83498	74,5117	61,5517
34	68,03	81.23	62.23	68.63	71.03	73.43	70,03	65,63	71	66,7799	73.9079	77.76771	66.75171	67,85072	67.85072
35	47.88	65.08	48.88	58.48	47.08	45.48	53.68	44.43	52	47.71024	54.19024	52.86605	52.86605	56.55058	44.56253
36	79,64	88.24	73.44	76.04	74,84	72.24	73.04	64.44	76	75.31766	75.31766	82,9822	71,6422	80.0176	66.7336
37	40,05	55.25	35.85	42.65	38.05	38.45	38.65	30.65	40	36.29668	42.12868	45.5161	35.7961	45.67	34.33
38	39,8	54,4	37	44	37.4	38	39.8	32.8	41	37.39712	43,55312	44,24	37.76	45.45824	34.44224
39	42.15	55.95	37,55	44,15	40.35	40,95	40,15	33.55	42	39.084	44.916	47,43737	37.71737	46.05097	36.00697
40	62.84	80.24	60.04	71.04	64.64	61,24	61.84	52,04	65	60.74102	66,89702	71,01474	61,29474	69.9977	56,0657
41	84.77	92.77	78.57	80.17	72.97	80,97	71.97	73,57	80	75.29844	83.07444	86.76771	75.75171	85.61492	70,71092
42	55.8	70.2	46.2	60.6	55	49	51.4	45.4	55	50.2858	57.0898	61.52698	50.83498	59.5117	46.5517
43	80.55	93,55	74.91	80.71	74.71	77.71	73.95	69.75	78	73.7799	80.9079	84.76771	73.75171	84.804	71,196
44	68.03	81.23	62.23	68.63	71.03	73,43	70.03	65,63	71	66.7799	73.9079	77.76771	66.7517!	67.85072	67.85072
45	56.22	73.82	56.22	67,42	54.62	51.82	61.02	51,82	60	55.2858	62.0898	61.04976	61.04976	64.91897	50,98697
46	66,61	79,77	59.93	66,77	65.17	58.33	64,97	51,81	65	63.76653	63,76653	71,47449	60,78249	69,56872	56,28472
47	55,49	72.69	50.39	59.99	55.19	52.79	55.49	45,49	56	52.03424	57,86624	61.9143	51.8703	61,994	50,006
48	76.21	89.21	69,81	76,41	70.21	72,81	68.61	64.81	75	70.51292	77,96492	80.832	69.168	78.97872	64.72272
49	62.95	80.15	56.55	67,75	61,75	58.95	61,35	52.55	63	59.598	66.402	69,36498	58.99698	67.80492	54.52092
50	38.06	52.06	38.0«	44.06	38.46	38.86	38.46	30,86	43	32.5348	37.7188	46.86986	40.38986	47,18673	36.81873
51	47.36	55.16	43.16	42.16	38,36	46,16	38.96	37.96	44	40.72112	46.22912	49.57312	39.52912	48.42746	37.7356
52	70,8	85.2	61.2	75.6	70	64	66.4	60.4	70	65.2858	72.0898	76.52698	65.83498	74.5117	61.5517
53	59.03	72.23	53.23	59.63	62.03	64.43	61.03	56,63	62	57.7799	64.9079	68.76771	57,75171	58.85072	58.85072
54	77,67	93,27	78 67	87,07	72.47	74,07	78,67	73.07	80	75.11019	83,21019	81,28596	81,23596	85,67648	70,12448

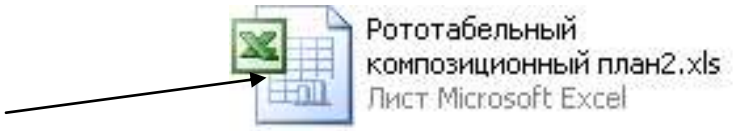
Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
55	81,12	90.32	75,72	77,72	76.12	74.12	73,52	66,32	78	77.3439	77,3439	84,57947	73.88747	81,75516	68.47116
56	40.05	55,25	35,35	42,65	38,05	38,45	38,65	30.65	40	36,29668	42.12368	45,5161	35,7961	45,67	34,33
57	76.21	89,21	69.81	76,41	70,21	72.31	63,61	64.31	75	70.51292	77,96492	80.332	69.168	78,97872	64,72272
58	62,95	80,15	56,55	67,75	61,75	58,95	61,35	52,55	63	59.598	66,402	69,36498	58.99698	67,80492	54,52092
59	76,64	92,24	72,04	81,24	77,04	76,64	72,44	65,64	77	72.62244	79,75044	84,49898	71,86293	32,10624	69,79424
60	72	79	64,8	65.3	60,4	67,4	59.6	60,6	67	62,71024	69,19024	73,71976	62.37976	71,70448	58.09643
61	45,95	59,55	36,75	50,35	45,15	39,55	41,55	35,95	45	40,71024	47,19024	51,10254	40,73454	49,58136	37.26936
62	68,03	31,23	62.23	o8,63	71,03	73,43	70,03	65,63	71	66.7799	73,9079	77,76771	66,75171	67,85072	67,85072
63	71,83	35,43	72,61	79.81	66.61	68,61	72:23	67,83	74	69,56541	77,01741	75,23596	75,23596	78,07916	64.14716
64	79.64	33.24	73,44	76,04	74.34	72,24	73,04	64,44	76	75,31766	75.31766	32,9822	71.6422	80.0176	66,7336
65	55,49	72.69	50,39	59,99	55,19	52,79	55.49	45,49	56	52.03424	57,86624	61,9143	51.3703	61,994	50.006
66	39,8	54.4	37	44	37,4	38	39.8	32,8	41	37,39712	43,55312	44.24	37,76	45,45824	34.44224
67	46.13	61,53	37.53	47,33	40,33	40.53	39.73	34.33	44	39,95	43,05	51.38493	39.39693	48.72716	33.49916
68	3849	52,29	38,49	43.39	38,49	39,09	38,49	30,69	43	32,95924	37.31924	47,0581	40,2541	47,40122	36,70922
69	57	64	49.3	50,3	45,4	52,4	44.6	45.6	52	47.71024	54.19024	58.71976	47,37976	56,70443	43,09648
70	55,95	70,35	46.35	60,75	55,15	49,15	51,55	45,55	55	50,67946	57.48346	61,52693	50,33498	59,5117	46,5517
71	54,73	72,93	43,13	59,53	61.93	59.33	61,73	52,33	60	55,25502	62,33302	66.76771	55.75171	56,85072	56,85072
72	60,45	77.65	60,25	71,05	53,35	56,05	65.45	56.25	64	59,4473	65,9273	65,3122	65.3122	68,6737	55,3897
73	79,64	88.24	73,44	76.04	74,34	72,24	73,04	64,44	76	75,31766	75.31766	82,9822	71.6422	80,0176	66.7336
74	80,55	93.55	74.91	30,71	74,71	77.71	73,95	69,75	78	73.7799	30.9079	84.76771	73.75171	34,304	71.196
75	76.21	39,21	69,31	76,41	70,21	72.31	63,61	64,31	75	70,51292	77,96492	30,332	69,168	78.973/2	64.72272
76	81,13	96.53	72.53	32,33	75,33	75,53	74,73	69,33	79	74,95	83,05	86,33493	74,39693	83,72716	63.49916
77	38,06	52,06	38,06	44.06	38,46	38,86	38,46	30,86	43	32.5343	37,7188	46.86986	40,38986	47,18673	36.31873
78	57	64	49.3	50,3	45,4	52.4	44,6	45,6	52	47,71024	54,19024	58,71976	47.37976	56,70448	43,09643
79	45,95	59,55	36,75	50,35	45,15	39,55	41,55	35,95	45	40.71024	47.19024	51,10254	40,73454	49,58136	37.26936
80	68,03	81,23	62,23	68,63	71,03	73,43	70,03	65,63	71	66,7799	73,9079	77,76771	66,75171	67,85072	67,85072

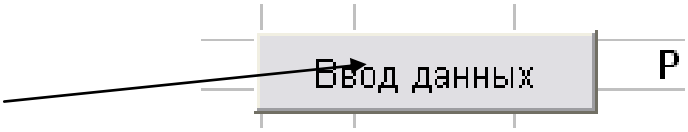
Примечание. В девятом столбце табл. 4 приведены (при $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0$) средние по шести опытам значения целевой функции.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3

1. Открыть Файл «Рототабельный композиционный план2.xls»



2. Нажать клавишу «Ввод Данных»



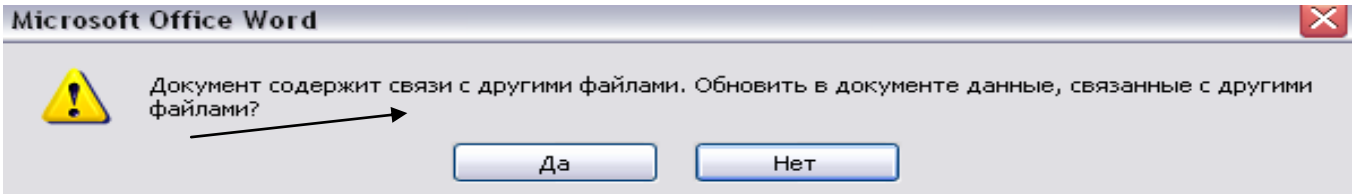
3. В открывшемся окне ввести данные своего варианта (взятые из методического пособия) по порядку и нажать клавишу «Рассчитать данные».

4. После чего рассчитаются коэффициенты модели (a0, a1, a2 и т. д.).
5. Далее окно можно закрыть клавишей «Выход».
6. После того как все расчеты сделаны, Студент,

- **не имеющий возможности распечатать на принтере** вычисления, переписывает рассчитанные значения и оформляет отчет на бумаге с указанием всех используемых в данной работе формул;

- **имеющий возможность распечатать на принтере** вычисления открывает файл «Р.К.П. (отчет)» (который находится в этой же папке)!!!!при этом файл «Рототабельный композиционный план2.xls» должен быть открыт!!!

7. При открытии файла может быть задан вопрос «Документ содержит связь с другими файлами. Обновить в документе данные?». Ответить «ДА».



8. Проверить в файле – сходятся ли подставленные данные с рассчитанными ранее!

$$a_0 = \frac{A}{N}\left[\lambda^2 (k+2)(0y) - 2\lambda c \sum_{j=1}^{k} (jjy)\right] = 56{,}0003$$

λ	0,857
A	0,454
a0	56,000
a1	1,773
a2	-3,053
a3	-3,643
a11	-0,372
a12	0,315
a13	-0,001
a12	-1,901
a13	-4,903
a23	1,351

Если данные не сходятся, то:

- проверить в нужном ли порядке открывались файлы (сначала «Рототабельный композиционный план2.xls», после этого «Р.К.П. (отчет)»;

- проверить, находятся ли используемые файлы в одной папке

- Неизменено ли имя файла «Рототабельный композиционный план2.xls» (имя должно быть именно такое);

- проверить правильность выполнения инструкции;

- попробовать закрыть файл Отчета и открыть заново;

- проделать все пункты 1–8 заново.

9. Сделать выводы о проверке по критериям Стьюдента, Фишера, Кохрена.

10. Если все верно, то распечатать документ!

Примечание. Примерное содержание файла отчета содержится в прил.1.

ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 3

	Матрица планирования				Матрица вычислений												
	Номер опыта	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}$	$\hat{y}$	$(\bar{y}-\hat{y})^2$	$\frac{\sum_1^m (y_i-\hat{y})^2}{m-1}$
Ядро плана	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	13	12,8	13,2	13,00	13,000	0,00000007	0,0400
	2	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	9,1	8,9	9	9,00	8,999	0,00000030	0,0100
	3	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	13,1	13	12,9	13,00	12,997	0,00000636	0,0100
	4	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	12,8	13	13,2	13,00	13,000	0,00000007	0,0400
	5	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	10,7	11,3	11	11,00	11,001	0,00000052	0,0900
	6	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	6,9	7	7,1	7,00	7,000	0,00000019	0,0100
	7	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	10,7	11	11,3	11,00	10,998	0,00000236	0,0900
	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	10,8	11,2	11,00	11,001	0,00000052	0,0400
Звездные точки	9	-1,682	0	0	2,82912	0	0	0	0	0	14,51	14,5	14,49	14,50	14,506	0,00003412	0,0002
	10	1,682	0	0	2,82912	0	0	0	0	0	11,1	11,2	11,12	11,14	11,143	0,00001224	0,0028
	11	0	-1,682	0	0	2,82912	0	0	0	0	8,3	8,36	8,3	8,32	8,320	0,00000010	0,0012
	12	0	1,682	0	0	2,82912	0	0	0	0	11,68	11,74	11,62	11,68	11,683	0,00000704	0,0036
	13	0	0	-1,682	0	0	2,82912	0	0	0	11,6	11,76	11,68	11,68	11,683	0,00000704	0,0064
	14	0	0	1,682	0	0	2,82912	0	0	0	8,3	8,34	8,32	8,32	8,320	0,00000010	0,0004
Центр плана	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,3	10,3	9,4	10,00	9,998	0,00000401	0,2700
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,2	9,8	10,1	10,03	9,998	0,00124857	0,0452
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	10,1	9,8	10,00	9,998	0,00000401	0,0300
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,9	9,9	10,2	10,00	9,998	0,00000401	0,0300
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,7	9,9	10,3	9,97	9,998	0,00098167	0,0948
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,8	9,8	10,4	10,00	9,998	0,00000401	0,1200
														213,64	213,640	0,00231728	0,935

Для нахождения коэффициентов воспользуемся следующими формулами:

$$(0y) = \sum_{i=1}^{n=20} y_i = \boxed{213,64} \ ;$$

$$(jy) = \sum_{i=1} x_{ji} \cdot y_i \ ;$$

$$(1y) = \sum_{i=1}^{8+2} x_{1i} \cdot y_i = \boxed{-13,6515} \ ;$$

$$(2y) = \sum_{i=1}^{8+2} x_{2i} \cdot y_i = \boxed{-13,65152} \ ;$$

$$(3y) = \sum_{i=1}^{8+2} x_{3i} \cdot y_i = \boxed{-13,65152} \ ;$$

$$(jjy) = \sum_{i=1} x_{ji}^{\ 2} \cdot y_i \ ;$$

$$(11y) = \sum_{i=1}^{8+2} x_{1i}^{\ 2} \cdot y_i = \boxed{160,5387} \ ;$$

$$(22y) = \sum_{i=1}^{8+2} x_{2i}^{\ 2} \cdot y_i = \boxed{144,5825} \ ;$$

$$(33y) = \sum_{i=1}^{8+2} x_{3i}^{\ 2} \cdot y_i = \boxed{144,5825} \ ;$$

$$(juy) = \sum_{i-1} x_{ji} \cdot x_{ui} \cdot y_i \ ;$$

$$(12y) = \sum_{i-1}^{8} x_{1i} \cdot x_{2i} \cdot y_i = \boxed{8{,}0000} \ ;$$

$$(13y) = \sum_{i-1}^{8} x_{1i} \cdot x_{3i} \cdot y_i = \boxed{0{,}0000} \ ;$$

$$(23y) = \sum_{i-1}^{8} x_{2i} \cdot x_{3i} \cdot y_i = \boxed{0{,}0000} \ \cdot$$

Для любого плана коэффициенты нормальных уравнений находятся по формулам:

$$c = \frac{N}{\sum_{i}^{N} x_{ji}^{\ 2}} = \boxed{1{,}4643} \ ;$$

$$\lambda = \frac{kN}{(k+2)n_1} = \boxed{0{,}8571} \ ;$$

$$A = \frac{1}{2\lambda\left[(k+2)\lambda - k\right]} = \boxed{0{,}4537} \ ;$$

$$a_0 = \frac{A}{N}\left[\lambda^2 (k+2)(0y) - 2\lambda c \sum_{j=1}^{k} (jjy)\right] = \boxed{9{,}9980} \ ;$$

$$a_j = \frac{c}{N}(jy) \ ;$$

$$a_1 = \frac{c}{N}(1y) = \boxed{-0{,}9995} \ ;$$

;

$$a_2 = \frac{c}{N}(2y) = \boxed{-0{,}9995}\ ;$$

$$a_3 = \frac{c}{N}(3y) = \boxed{-0{,}9995}\ ;$$

$$a_{jj} = \frac{A}{N}\left\{c^2\left[(k+2)\lambda - k\right](jjy) + c^2(1-\lambda)\sum_{j=1}^{k}(jjy) - 2\lambda c(0y)\right\}\ ;$$

$$a_{11} = \frac{A}{N}\left\{c^2\left[(k+2)\lambda - k\right](11y) + c^2(1-\lambda)\sum_{j=1}^{k}(jjy) - 2\lambda c(0y)\right\} = \boxed{0{,}9991}\ ;$$

$$a_{22} = \frac{A}{N}\left\{c^2\left[(k+2)\lambda - k\right](22y) + c^2(1-\lambda)\sum_{j=1}^{k}(jjy) - 2\lambda c(0y)\right\} = \boxed{0{,}0012}\ ;$$

$$a_{33} = \frac{A}{N}\left\{c^2\left[(k+2)\lambda - k\right](33y) + c^2(1-\lambda)\sum_{j=1}^{k}(jjy) - 2\lambda c(0y)\right\} = \boxed{0{,}0012}\ ;$$

$$a_{ju} = \frac{c^2}{N\lambda}(juy)\ ;$$

$$a_{12} = \frac{c^2}{N\lambda}(12y) = \boxed{1{,}0006}\ ;$$

$$a_{13} = \frac{c^2}{N\lambda}(13y) = \boxed{0{,}0000}\ ;$$

$$a_{23} = \frac{c^2}{N\lambda}(23y) = \boxed{0{,}0000}\ .$$

С учетом коэффициентов математическая модель выглядит следующим образом:

$$\boldsymbol{y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2 + a_{33} \cdot x_3^2 +}$$

$$\boldsymbol{+ a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3}\ ,$$

;

$$y= 9,9980 + -0,9995 \cdot x_1 + 0,9995 \cdot x_2 + -0,9995 \cdot x_3 +$$

$$+ 0,9991 \cdot x_1^2 + 0,0012 \cdot x_2^2 + 0,0012 \cdot x_3^2 + 1,0006 \cdot x_1 \cdot x_2 +$$

$$+ 0,0000 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0000 \cdot x_2 \cdot x_3 .$$

Проверка значимости коэффициентов модели по критерию Стьюдента (табл. 8.4):

Ошибка воспроизводимости $S_в$

$$S_в^2 = \frac{\sum_1^N \frac{\sum_1^m (y_i - \hat{y})^2}{m-1}}{N} = \frac{0,9346426}{20} = 0,0467321 ;$$

$$S_{a_0}^2 = \frac{2A\lambda^2 - (k+2)}{N} S_в^2 = 0,0101253 ;$$

$$S_{a_j}^2 = \frac{c}{N} S_в^2 = 0,0034215 ;$$

$$S_{a_{jj}}^2 = \frac{A[(k+1)\lambda - (k-1)]c^2}{N} S_в^2 = 0,0032474 ;$$

$$S_{a_{ju}}^2 = \frac{c^2}{\lambda N} S_в^2 = 0,0058452 .$$

Критические значение коэффициента *t* при числе степеней свободы *f* = 20–10=10 и *p*=95 % *t*=2,23

Находим расчетные значения *t* для коэффициентов

$$\frac{a_0}{S_{a_0}} = 99{,}35946;\quad \frac{a_1}{S_{a_1}} = -17{,}08739;\quad \frac{a_2}{S_{a_2}} = 17{,}08739;$$

$$\frac{a_3}{S_{a_3}} = -17{,}08739;\quad \frac{a_{11}}{S_{a_{11}}} = 17{,}533087;\quad \frac{a_{22}}{S_{a_{22}}} = 0{,}0216028;$$

$$\frac{a_{33}}{S_{a_{33}}} = 0{,}0216028;\quad \frac{a_{12}}{S_{a_{12}}} = 13{,}08807;\quad \frac{a_{13}}{S_{a_{13}}} = 0;\quad \frac{a_{23}}{S_{a23}} = 0.$$

Вывод о значимости коэффициентов:

Если $|t_{\text{расч}}|<t_{\text{табл}}$, то коэффициент не значим, значит коэффициенты a_{22}, a_{33}, a_{13}, a_{23} не значимы.

Проверка адекватности модели по критерию Фишера

$$S^2_{АД} = \frac{\sum_1^N (\overline{y_i} - \hat{y}_i)^2}{N - \frac{(k+2)(k+1)}{2}} = \frac{}{20 - \frac{(3+2)(3+1)}{2}} = 0{,}0001854.$$

Расчетные значения критерия Фишера

$$F_{\text{расч}} = \frac{S^2_{AD}}{S^2_{\text{в}}} = \frac{0{,}0001854}{0{,}0467321} = 0{,}0039669,$$

число степеней свободы находится по табл. 8.1

$$f_1 = N - (k+1) = 20 - (3+1) = 16,$$
$$f_2 = (m-1)N = (3-1)20 = 40,$$
$$P = 95\ \% = 0{,}95,$$
$$F_{\text{табл}} = 2.$$

Вывод

Так как $F_{\text{расч}}=0{,}003<F_{\text{табл}}=2$, следовательно, модель адекватна.

Проверка результатов эксперимента на воспроизводимость по критерию Кохрена

Выбирается опыт, в котором дисперсия существенно отличается от остальных.

В нашем случае это дисперсия 0,270006.

$$G_p = \frac{S^2}{S_в^2} = \frac{0{,}270006}{0{,}0467321} = 5{,}7777383 \ .$$

По табл. 8.3 находится значение критерия Кохрена:
при P=0,95: f_1=19; f_2=k+1=4, $G_{табл}$=0,42 .

Вывод

В нашем случае G_p=5,77>$G_{табл}$=0,42, значит модель не однородна, т. е. имеется значимый неучтенный фактор, или в одном из опытов допущена ошибка при измерении входной и выходной величины.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4
ПАРНАЯ РЕГРЕССИЯ

Выполните корреляционный анализ полученных результатов, приведенных в табл. 4.1. Получите уравнение модели, дисперсии результатов. Постройте поле корреляции. Определите корреляционное отношение. Для получения регрессионного уравнения модели вида $y = a_0 + a_1 x$ воспользуйтесь методом наименьших квадратов.

Таблица 4.1

Номер пары данных	Номер варианта									
	1		2		3		4		5	
	X	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*
1	13,50	0,10	1,35	1,06	43,26	12,22	12,23	87,75	12,22	43,05
2	12,66	0,11	1,26	1,04	59,96	15,40	11,26	85,53	15,56	59,98
3	14,78	0,15	1,47	1,22	30,05	11,11	15,53	93,34	11,05	31,24
4	20,23	0,30	2,02	3,08	66,65	15,53	14,45	90,05	15,52	66,66
5	11,52	0,14	1,15	1,23	50,02	10,02	11,11	84,42	10,23	51,27
6	12,84	0,12	1,28	1,26	44,49	12,29	13,36	89,24	12,26	44,45
7	14,53	0,13	1,45	1,30	55,56	12,23	12,22	86,02	12,98	53,34
8	15,44	0,14	1,54	1,42	42,29	11,16	16,52	92,31	8,26	42,15
9	16,78	0,18	1,67	1,89	48,86	14,45	13,33	85,55	14,48	48,89
10	19,33	0,21	1,93	2,03	68,89	18,86	12,23	87,77	18,85	68,87
11	17,25	0,17	1,72	1,79	58,86	15,56	12,20	86,05	15,52	59,93
12	16,55	0,20	1,65	1,23	38,85	13,33	11,54	87,79	13,32	38,58
13	14,82	0,15	1,41	1,56	52,25	13,37	10,03	85,54	13,25	46,62
14	15,55	0,13	1,54	1,33	41,18	11,11	14,44	90,31	9,63	41,18
15	18,33	0,17	1,83	1,75	46,68	14,45	13,33	88,88	14,44	43,38
16	19,22	0,25	1,92	2,56	62,23	12,22	15,55	92,03	12,28	55,59
17	13,55	0,11	1,15	1,05	42,28	14,48	14,42	90,05	14,42	42,24
18	12,68	0,12	1,28	1,23	66,66	17,77	11,17	83,69	17,75	66,64
19	14,76	0,12	1,45	1,30	55,05	15,25	13,35	89,89	15,52	54,48
20	20,23	0,31	1,54	1,49	60,02	15,52	12,22	86,63	15,56	58,86
21	11,52	0,10	1,67	1,81	62,33	15,54	15,52	92,02	12,23	61,15
22	12,89	0,12	1,93	2,06	45,58	12,26	13,38	85,52	9,05	33,33
23	14,52	0,13	1,72	1,74	63,31	16,65	12,22	87,58	17,78	67,79
24	15,44	0,14	1,65	0,23	56,20	14,45	12,22	88,88	10,05	52,25
25	16,77	0,18	1,48	1,55	30,05	8,88	11,01	87,87	12,25	45,56
26	16,55	0,23	1,53	1,36	42,28	10,06	10,06	85,53	12,25	53,34
27	14,87	0,16	1,83	1,74	49,99	12,25	14,42	90,05	15,64	61,05
28	15,42	0,13	1,92	2,22	50,25	16,66	13,33	85,48	8,89	41,15
29	18,33	0,17	2,06	2,29	41,15	11,32	12,23	88,25	12,25	58,85
30	16,77	0,19	1,15	1,29	52,26	10,08	13,33	85,85	10,04	42,00

Продолжение табл. 4.1

Номер пары данных	Номер варианта									
	6		7		8		9		10	
	X	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*
1	15,55	62,63	46,60	14,45	12,80	55,50	43,50	12,50	41,12	11,50
2	12,25	45,56	41,12	9,69	12.29	44.42	59.89	15.45	52.32	10.29
3	16,63	63,02	52,28	13,34	10.25	50.06	31.13	11.25	67.75	1 7.75
4	14,47	56,64	38,84	13,34	15.56	66.63	66.56	15.58	43 3 5	9.69
5	7,09	31,14	58,86	15,56	11.14	31.25	51.2 1	11.46	61.25	12.28
6	16,66	65,52	68,84	18,85	15.56	59.98	44.48	12.50	57.75	13.35
7	10,23	42,23	48,85	14,42	12.25	43.20	55.59	14.56	41.24	8.95
8	12,28	49,96	42,02	8,96	15.50	63.35	42.28	9.99	61.50	1 5.54
9	16,64	51,02	55,55	12,24	12.40	45.58	48.89	14.45	53.35	12.25
10	10,08	41,12	44,48	11,02	16.64	63.38	68.85	14.48	45.58	13.34
11	10,02	48,89	50,06	15,50	14.48	56.68	68.88	18.50	51.24	13.35
12	17,75	64,78	30,28	13,34	7.75	30.08	58.86	15.45	62.35	15.58
13	9,63	33,33	59,98	15,56	16.63	65.58	38.89	12.02	45.00	15.56
14	12,23	61,27	43,23	12,25	10.21	42.25	52.26	13.35	45.52	12.28
15	13,34	57,78	49,96	12,25	12.40	49.89	41.15	10.25	63.35	16.64
16	8,86	41,12	30,05	7,05	16.30	51.12	45.56	14.50	56.37	14.46
17	15,55	61,25	65,23	16,56	11.12	41.21	62.36	12.15	41.25	10.24
18	12,22	53,39	42,24	10,25	13.34	52.28	42.25	14.48	52.32	13.34
19	12,27	45,56	49,49	12,50	17.75	67.77	55.50	14.70	58.15	15.56
20	13,34	51,12	50,36	16,65	9.95	33.36	61.25	15.50	68.98	18.89
21	14,14	46,63	40,08	11,12	12.23	61.23	61.50	15.54	48.57	14.45
22	90,2	41,12	52,28	10,24	13.50	58.78	41.12	10.25	42.26	10.25
23	13,33	52,28	68,68	17,75	8.89	41.21	57.87	13.35	55.50	12.25
24	13,34	42,28	33,33	10,25	12.50	53.36	61.15	12.25	44.49	12.23
25	15,59	58,84	61,12	12,25	13.39	51.00	33.35	10.54	51.23	11.12
26	18,88	68,87	57,50	13,50	15.45	55.60	67.75	17.75	66.65	15.54
27	14,42	48,48	40,06	8,89	17.78	66.60	52.50	10:20	31.28	9.96
28	8,25	39,96	49,50	12,45	14.45	42.45	42.28	9.99	59.96	15.54
29	12,23	55,55	40,05	11,12	12.28	63.23	51.25	15.56	43.75	12.25
30	12,28	49,92	41,06	9,56	14.50	46.45	49.00	12.25	63.35	15.56

Продолжение табл. 4.1

Номер пары данных	Номер варианта									
	11		12		13		14		15	
	X	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*
1	46,50	14,50	61,15	15,50	52,50	13,35	15,50	6,20	12,56	87,56
2	41.12	9.99	53.20	15,25	38.69	12.50	12.25	4.50	11.12	85.45
3	52.26	13.35	45.00	12.25	58.80	15.50	16.35	6.30	15.45	93.26
4	38.89	13.34	50.08	13.35	68.87	18.89	14.25	5.55	14.45	91.25.
5	58.58	15.50	62.25	12.25	48.50	14.45	11.12	3.23	11.28	84.15
6	68.89	18.85	46.63	14.45	42.20	12.24	16.50	6.52	13.65	89.90
7	48.48	14.53	41.15	9.25	55.50	12.24	11.24	4.20	12.25	86.36
8	42.12	12.28	52.28	13.34	44.42	12.28	12.25	4.90	15.45	92.32
9	55.50	12.29	38.45	8.88	51.24	10.02	16.63	5.25	13.25	85.85
10	49.96	12.28	58.59	15.50	65.66	15.50	10.25	4.21	12.45	87.78
11	51.24	11.20	68.57	18.45	31.25	11.20	10.23	4.23	12.45	88.00
12	66.35	15.59	44.44	14.46	59.95	15.50	17.58	6.70	11.12	87.00
13	31.24	11.12	42.25	8.89	43.25	12.25	10.25	3.30	10.54	85.00
14	59.96	15.40	55,45	12.25	41.15	10.25	12.25	6.36	14.45	91.02
15	43.25	12.50	44,40	12.25	52.50	11.20	13.32	5.70	13.36	88.80
16	56.50	15.00	50.05	10.00	67.00	17.47	8.58	4.25	14.54	91.24
17	31.25	7.84	66.35	12.00	33.50	10.65	15.45	6.10	11.45	84.46
18	65.58	16.64	31.20	11.25	61.25	12,24	12.35	5.30	13.15	89.89
19	42.45	10.25	59.96	15.56	57.57	13.31	12.25	4.59	12.25	86.86
20	49.96	12.25	43.25	12,50	41.24	9.99	13.23	5.25	15.14	92.95
21	51.24	16.16	62.35	15.56	61.25	15.54	14.45	4.62	13.50	85.00
22	41.12	10.25	45,56	12.25	53.35	12.25	13,25	5,20	12.12	87.00
23	52.28	12.23	63.35	16.50	45.00	12.50	13.36	3.89	12.25	88.50
24	67.89	17.00	56.36	14.40	51.12	13.60	15.25	5.86	11.10	87.54
25	33.36	10.24	65.65	16.20	61.24	15.54	18.45	6.85	10.02	85.80
26	61,12	12.25	42.10	10.20	55.00	15.56	14.40	4.80	14.45	90.00
27	58.58	13.50	49.59	12.25	66.50	17.75	12.23	5.50	13.50	88,00
28	40.20	8.96	51.21	16.63	42.25	14.45	16.60	5.25	15.54	91.54
29	61.00	15.50	41.00	11.25	62.00	12.25	10.12	4.10	11.54	84.74
30	53.36	12.25	52.26	11.25	46.65	14.45	17.70	6.78	13.35	89.00

Окончание табл. 4.1

Номер пары данных	Номер варианта									
	16		17		18		19		20	
	X	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*	*X*	*Y*
1	65.50	16.65	14.50	56.00	53.59	12.30	43.00	12.00	13.11	0.10
2	42.25	10.50	16.30	65.00	45.00	12.25	59.00	15.00	12.71	0.11
3	49.58	12.25	10.25	42.00	51.30	13.25	30.00	11.00	14.25	0.15
4	51,00	16.56	12.26	49.89	61.25	15.54	66.00	15.00	20.36	0.3
5	41.24	10.25	16.63	51,24	55.50	15.00	50,00	10.00	11.54	0.14
6	52,50	10.26	17.70	67.89	66.60	17.75	44,00	12.00	12.48	0.12
7	67,87	17.47	13.50	57.50	42.50	14.70	42.00	11.00	14.99	0,13
8	33,36	10.25	15.62	61.20	62.00	12.50	58.00	15.00	15.82	0.14
9	61.25	12.25	12.23	53.25	46.25	14.45	38.00	12.00	16.30	0.18
10	57.78	13.33	12.25	45.56	52.00	13.38	52.00	18.00	16.2 1	0.21
11	41,25	9.69	13.50	54.26	62.35	15.00	46.00	14.00	17.29	0.17
12	61.24	15.56	1 7.70	66.00	45.28	12.14	62.00	12.00	16.62	0.20
13	53.50	12.50	14.50	42.50	63,32	16.25	42.00	14.00	14.40	0.14
14	45.60	13.36	12.50	62.30	56.00	14.45	60.00	15.00	15.91	0.15
15	51.24	13.00	14.50	46.00	65.25	16.00	57,00	13.00	1 8.85	0.18
16	58.26	15.50	13.30	52.58	42.25	10,25	60.00	12.00	19.73	0.19
17	68.00	18.90	15.56	56.96	49.25	12.24	67.00	17.00	13.12	0.13
18	48.80	14.45	18.84	68.10	50.12	16.36	52.00	11.00	12.14	0.12
19	42.50	9.69	14.40	48.58	41.12	11.12	50.00	16.00	14.28	0.14
20	55,50	12.80	12.25	55.00	52.10	10.02	49.00	12.00	20.17	0.20
21	44.50	12.24	15.50	63.00	67.80	17.84	65.00	16.00	11.72	0.10
22	51,15	12.20	16.30	63.20	61.25	12.30	56.00	14.00	12.33	0.12
23	66,60	15.50	14.40	56.30	58.89	13.50	51.00	11.00	14.48	0.15
24	31.30	12.25	16.50	65.00	61,00	15.60	44.00	12.00	15.41	0.14
25	43,40	13.35	12.25	49.58	45.00	12.25	48.00	14.00	16.45	0.16
26	61,00	16.60	17.70	67.50	55.50	15.60	58.00	15.00	16.47	0.15
27	55,90	16.50	12.25	61.20	58.00	15.30	65.00	16.00	14.80	0.14
28	42,01	14.50	13.25	57.48	68.40	18.00	62.00	15.00	15.74	0.1 5
29	63.35	13.58	15.56	61.40	48.50	14.20	48.00	12.00	18.31	0.19
30	62.00	15.40	13.35	52.24	42.00	8.90	63.00	16.00	16.1 1	0.16

Для выявления степени связи между y и x воспользуемся корреляцинным отношением

$$Z = \sqrt{\frac{\sigma_Э^2 - \sigma_А^2}{\sigma_Э^2}}, \qquad (4.1)$$

где $\sigma_Э^2, \sigma_А^2$ – соответственно дисперсия результатов эксперимента и адекватности.

Для определения дисперсии эксперимента, ось χ необходимо разбить на несколько, обычно на (k=5), интервалов. При этом длину интервала находим из формулы:

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{5} \quad . \qquad (4.2)$$

Таким образом, границами интервалов будут: первого – $x_{min} - x_{min}+\Delta x$; второго – $x_{min}+\Delta x - x_{min}+2\Delta x$; третьего – $x_{min}+3\Delta x$ и т. д.

Определяется выборочное среднее значение целевой функции в каждом интервале:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}, \qquad (4.3)$$

где n – число дублированных опытов в i-ом интервале (i=1,... k., число элементов в строке);

j - номер элемента в этом интервале, j = 1,… n (число элементов в столбце).

Дисперсия результатов эксперимента находится из уравнения

$$\sigma_э^2 = \sum_{i=1}^{K} \left(\frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \left(y_{ij} - \bar{y}_i \right)^2 \right). \qquad (4.4)$$

Дисперсия адекватности модели находится из формулы:

$$\sigma_А^2 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^{K} \left(\bar{y}_i - \hat{y}_i \right)^2, \qquad (4.5)$$

где $\hat{y}_i$ – значение выходной величины, рассчитанной по уравнению регрессии для i-го интервала.

После определения корреляционного отношения делается вывод о степени связи входной и выходной величин (y и x).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 4

Открыть файл «Парная регрессия.xls»:

1. Заполнить столбцы «*X*» и «*У*» данными своего варианта, взятыми из данного учебного пособия.
2. После чего открывается файл «Парная регрессия (Отчет).doc».
3. Сверить данные в отчете с введенными в начале работы (шаг 2). Если данные не совпадают, откройте файла отчета заново (при этом файл с введенными ранее (шаг 2) данными должен быть открыт).
4. Сделать вывод по работе.
5. Распечатать документ.

ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 4

Парная регрессия

№ п/п	X	$\bar{y}$	YX	x^2	$\hat{y}$	$(\bar{y}_{cp} - \hat{y})^2$	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
1	1,32	1,06	1,431	1,823	1,266	0,251	0,042
2	1,26	1,04	1,310	1,588	1,154	0,271	0,013
3	1,47	1,22	1,793	2,161	1,415	0,116	0,038
4	2,02	2,08	4,202	4,080	2,098	0,270	0,000
5	1,15	1,23	1,415	1,323	1,017	0,109	0,045
6	1,28	1,26	1,613	1,638	1,179	0,090	0,007
7	1,45	1,3	1,885	2,103	1,390	0,068	0,008
8	1,54	1,42	2,187	2,372	1,502	0,020	0,007
9	1,67	1,89	3,156	2,789	1,663	0,108	0,051
10	1,93	2,03	3,918	3,725	1,986	0,220	0,002
11	1,72	1,79	3,079	2,958	1,725	0,053	0,004
12	1,65	1,5	2,475	2,723	1,639	0,004	0,019
13	1,48	1,56	2,309	2,190	1,427	0,000	0,018
14	1,54	1,33	2,048	2,372	1,502	0,053	0,030
15	1,83	1,75	3,203	3,349	1,862	0,036	0,013
16	1,92	2	3,840	3,686	1,974	0,193	0,001
17	1,15	1,05	1,208	1,323	1,017	0,261	0,001
18	1,28	1,23	1,574	1,638	1,179	0,109	0,003
19	1,45	1,3	1,885	2,103	1,390	0,068	0,008
20	1,54	1,49	2,295	2,372	1,502	0,005	0,000
21	1,67	1,81	3,023	2,789	1,663	0,062	0,022
22	1,93	2,06	3,976	3,725	1,986	0,249	0,005
23	1,72	1,74	2,993	2,958	1,725	0,032	0,000
24	1,65	1,23	2,030	2,723	1,639	0,109	0,167
25	1,48	1,55	2,294	2,190	1,427	0,000	0,015
26	1,53	1,36	2,081	2,341	1,489	0,040	0,017
27	1,83	1,74	3,184	3,349	1,862	0,032	0,015
28	1,92	2,22	4,262	3,686	1,974	0,435	0,061
29	2,06	2,29	4,717	4,244	2,148	0,532	0,020
30	1,15	1,29	1,484	1,323	1,017	0,073	0,074
Σ	47,62	46,82	76,868	77,641	46,820	3,871	0,705

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N} y_i = a_0 \cdot N + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{N} x_i \\ \sum_{i=1}^{N} y_i x_i = a_0 \cdot \sum_{i=1}^{N} x_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{N} x_i^2 \end{cases};$$

После подстановки значений сумм получим:

$$\begin{cases} 46{,}82 = a_0 \cdot 30 + a_1 \cdot 47{,}62 \\ 76{,}8676 = a_0 \cdot 47{,}62 + a_1 \cdot 77{,}6 \end{cases};$$

После решения системы получим

$$a_0 = -0{,}410868 \text{ и } a_1 = 1{,}2420419,$$

т. е. регрессионное уравнение принимает вид

$$y = -0{,}410868 + 1{,}2420419 \cdot X.$$

График этого уравнения является теоретической линией регрессии. Согласно этому уравнению заполняем столбец $\hat{y}$ – теоретическое значение выходной величины.

Построим поле корреляции и теоретическую линию регрессии на одном графике

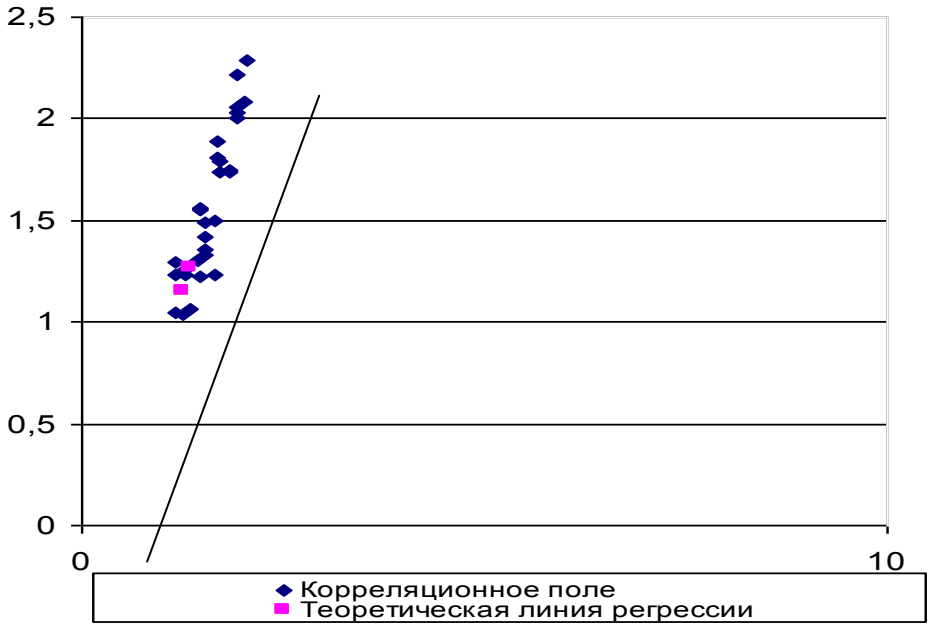


Рис. 4.1. Корреляционное поле
и (теоретическое уравнение регрессии)

Среднее значение $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N} =$ 46,82 :30 = 1,5606667 .

Дисперсия значения $\sigma_Д^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - \bar{y})^2}{N} =$ 3,870587 / 30 = 0,12902 .

Дисперсия адекватности $\sigma_A^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - \hat{y})^2}{N-1} =$ 0,705053 / 29 = 0,024312 .

Корреляционное отношение

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_Д^2 - \sigma_A^2}{\sigma_Д^2}} = \sqrt{\frac{0,12902 - 0,024312}{0,12902}} = 0,900867 .$$

Вывод

Корреляционное отношение больше 0,9, что свидетельствует о наличии существенной связи между *X* и *У*.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5
ПАРНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ

По данным табл. 5.1 построить зависимость $y=f(x)$, определить наиболее подходящий вид кривой и определить коэффициенты модели.

Уравнения $y=f(x)$ могут иметь вид:

$$y = A \cdot e^{Bx};\ \ y = A \cdot e^{-Bx};\ \ y = A \cdot B^{x};\ \ y = A \cdot B^{-x};\ \ y = A + \frac{B}{x};\ \ y = A + \frac{B}{x^2};$$

$$y = A + \frac{B}{x^3};\ \ y = A + B\sqrt{x};\ \ y = A + B\sqrt[3]{x};\ \ y = A + B\sqrt[4]{x};\ \ y = A + B \cdot x^2;$$

$$y = A + B \cdot x^3.$$

Таблица 5.1

Исходные данные для парной нелинейной регрессии

№ п/п	x_i / y_i	10	-5	-4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	9	10	20
1			0,41	0,87	1,84	3,04	5,03	8,25	10,36							
2			0,24	0,48	1,98	3,96	8,02	16,2	32,5							
3						6,03	9,01	13,4	20,1	30,0	44,5	66,5				
4					0,27	0,90	2,99	10	33	108,5	360					
5				0,025	0,42	1,73	7,02	28,4	115,1	469						
6				164	18	6,01	1,99	0,66	0,22	0,074						
7				146	24,1	9,85	4,03	1,63	0,66	0,27						
8			312	147	27,1	13,4	5,98	2,69	1,34							
9				88	26,6	14,5	8,03	4,41	2,41	1,33	0,73					
10		240,1	65,3	39,8	21,8	16,2	12,02	8,88								
11				0,59	1,29	2,01	3,03	4,5	6,75	10,2						
12				0,25	1,01	2,01	3,99	8,01	16,01	31,9						
13				0,13	0,96	1,99	5	12,5	31,2	77,1						
14				0,26	0,78	2,33	6,99	21,01	63,02	189						
15				0,04	0,49	1,72	6,09	21,5	73,5	252						
16				71,5	28,2	17,6	10,9	6,87	4,3	2,68						
17				105	32,4	18,1	9,99	5,55	3,08	1,73						
18					43,5	19,8	9,01	4,1	1,66	0,84	0,38					
19					46	19,2	7,98	3,34	1,39	0,57	0,24					
20					81,2	31,2	11,9	4,23	1,77	0,68	0,26					
21								-11,1	0,99	5	7,01	8,21	9	10,34	10,6	11,8
22								42	70,1	98	126,1	154,3	162,4			

Продолжение табл. 5.1

№ п/п	x_i / y_i	10	-5	-4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	9	10	20
23								-14,9	0,01	5,01	7,5	9,02	10,01			
24						2,01		-19,9	-2,01	4,01	7	8,81	10,01			
25								-23,01	-3	3,71	7,01	9,01	10,41			
26		-4,95	-4,8	-4,69	-3,75	-0,01										
27								22,01	13,01	11,34	10,75	10,48	10,33	10,15		
28		-14,75	-14,01	-13,44	-8,76	10,1										
29								59,99	30	24,47	22,5	21,6	21,4	20,9		
30								40	4,01	-2,68	-5	-6,08	-6,66	-7,61	-7,52	
31								258	34,01	11,5	6	4,05	3	2,48	2,26	2,03
32								508	60	15	4	0,1	-2	-3,04	-3,48	-3,9
33								774	102	34,5	18,01	12,1	9	7,45	6,84	6,1
34								1016	120	30,01	7,99	0,2	4	-6,08	-6,96	
35								74	26	14,75	12	11,02	10,5	10,24	10,13	
36							-4,99	-2	-0,78	0,16	1	1,74	2,38	4		
37							6,01	2	0,32	-0,88	-2	-2,96	-3,76	-6		
38							-7,01	-2	0,1	1,6	3,01	4,2	5,3	6		
39							8,02	2,01	-0,52	-2,26	-4	-5,44	-6,76	-10		
40							-8,99	-2	0,94	2,97	5,01	6,68	8,2	12		
41					10,8	17	10	3	1,2	0						
42					-9,55	-8	-2	4	5,55	6,6						
43					17,3	16	11,01	6	4,7	3,78						
44					-8,02	-7	-3,01	1,01	2,02	2,8						

Окончание табл. 5.1

№ п/п	x_i / y_i	10	-5	-4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	9	10	20
45					15,87	15	12,01	9,01	8,23	7,66						
46							-1,01	9,01	10,9	12,2	13,2	14				
47							2	-3	-3,95	-4,6	-5,1	-5,5				
48							-2,99	2	2,95	3,6	4,1	4,5				
49							4	-6	-7,9	-9,2	-10,2	-11				
50							-4,99	15,1	19,2	21,3	23,2	25				
51		-397,5	-97,5	-63,5	-5,5	-1,5	2,51	-1,5								
52		303,5	78,5	51,5	15,5	6,5	3,51	6,5								
53		-195,5	-45,5	-27,5	-3,5	2,5	4,49	2,5								
54		605,5	155,5	101,5	29,5	11,5	5,49	11,5								
55		-793,5	-193,5	-121,5	-25,5	-1,5	6,51	-1,5								
56									-3	-22	-59	-120	-211			
57									12	53	124	246	428			
58									-21	-78	-189	-373	-645			
59									30	106	254	498	862			
60									-39	-134	-319	-624	-1079			

ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 5

Пример 1. Определить вид зависимости и коэффициенты нелинейной регрессии, а также корреляционное отношение по данным, приведенным ниже в табл. 5.2 (в каждой точке было произведено по три опыта и получено три различных значения целевой функции *y*).

Таблица 5.2

xi	*yi*1	*yi*2	*yi*3
1	1,98	2,0	2,02
1,5	8,33	8,27	8,3
2	22,75	22,8	22,85
2,5	50,2	49,8	50,0

Решение:

1. Определим средние значения целевой функции $\bar{y}_i$ в каждой строке и построим ориентировочно линию регрессии $y = f(x)$ (рис. 5.1)

$$\bar{y}_1 = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} = (1{,}98 + 2{,}0 + 2{,}02/3) = 2{,}(\ ;$$

$$\bar{y}_2 = (8{,}31 + 8{,}29 + 8{,}3/3) = 8{,}3 \quad ; \qquad (5.1)$$

$$\bar{y}_3 = (22{,}79 + 22{,}8 + 22{,}81/3) = 22{,}8 \ ;$$

$$\bar{y}_4 = (50{,}2 + 49{,}8 + 50{,}0/3) = 50{,}0 \quad .$$

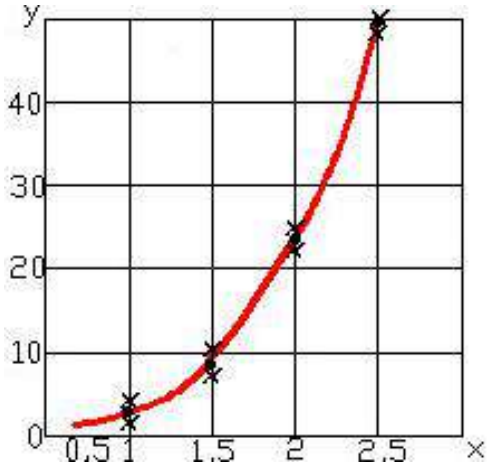


Рис. 5.1. Корреляционное поле и линия регрессии

В первом приближении линию регрессии можно описать степенным уравнением вида

$$y = A \cdot X^{B} \quad . \tag{5.2}$$

Сравнивая средние значения целевой функции в строках, видно, что показатель степени В в уравнении (5.2) больше 3, но меньше 4, так как при увеличении $x1=1$ до $x3=2$, ($y = A \cdot X^{B}$) возрастает больше чем в 8 раз, но меньше чем в 16 раз.

2. Произведем линеаризацию уравнения (5.2) в виде $y = a_0 + a_1 \cdot x$, для чего прологарифмируем его и обозначим

$$\lg y = \lg A + B \lg x \quad ; \tag{5.3}$$

$$\lg y = Z;\ \lg A = a_0;\ B = a_1;\ \lg x = x_1 \quad .$$

Таким образом, получим линейное уравнение вида

$$Z = a_0 + a_1 \cdot x_1 \quad . \tag{5.4}$$

Для вычислений коэффициентов регрессии целесообразно составить новую таблицу:

Таблица 5.3

№ п/п	Xi	y			$\bar{y}_i$	$Xi1$	Zi	$Z_i \cdot X_{i1}^2$	X_{i1}^2	$\hat{y}_i$	$\sum_1^3 \left(\frac{y_i + \bar{y}_i}{3}\right)^2$	$\left(\bar{y}_i + \hat{y}_i\right)^2$
		$yi1$	$yi2$	$yi3$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1,98	2,0	2,02	2,0	0	0,3	0	0	2,0	0,00026	0
2	1,5	8,33	8,27	8,3	8,3	0,177	0,92	0,163	0,031	8,32	0,0006	0,0004
3	2	22,75	22,8	22,85	22,8	0,3	1,357	0,406	0,09	22,9	0,00166	0,0100
4	2,5	50,2	49,8	50,0	50,0	0,4	1,70	0,680	0,16	49,9	0,01333	0,0100
Σ						0,877	4,277	1,249	0,281		0,01585	0,0204

3. Запишем систему уравнений

$$\begin{cases} \sum_1^4 Z_i = N \cdot a_0 + a_1 \sum_1^4 X_{i1} \\ \sum_1^4 Z \cdot X_{i1} = a_0 \sum_1^4 X_1 + a_1 \sum_1^4 X_{i1}^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 4{,}28 = 4a_0 + 0{,}877a_1 \\ 1{,}25 = 0{,}877a_0 + 0{,}281a_1 \end{cases} . \tag{5.5}$$

Решая систему уравнений (5.5), получим: $a_1 = 3{,}51$; $a_0 = 0{,}3$.

Определим значения неизвестных в уравнении (5.3), B = 3,51;

$$a_0 = \ln A \Rightarrow A = 2 \cdot$$

Таким образом, регрессионное уравнение (1) имеет вид:

$$y = 2 \cdot X^{3{,}51} \quad . \qquad (5.6)$$

По уравнению (5.5) определяем для каждого значения X расчетные значения и построим ориентировочно линию регрессии $y = f(x)$ (рис. 5.2)

$$\bar{y}_1 = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \quad (29{,}6+29.9+30{,}5)/3 = 30{,}0 ;$$

$$\bar{y}_2 = (20{,}1+19{,}9+20{,}0)/3 = 20{,}0 ;$$

$$\bar{y}_3 = (15{,}3+14{,}8+14{,}9)/3 = 15{,}0 ;$$

$$\bar{y}_4 = (13{,}9+13{,}7+14{,}4)/3 = 14{,}0 ;$$

$$\bar{y}_5 = (10{,}8+10{,}9+11{,}3)/3 = 11{,}0 .$$

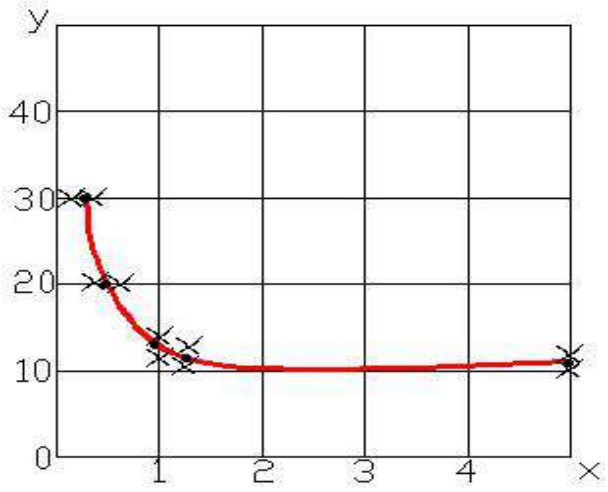


Рис. 5.2. Корреляционное поле и линия регрессии

Из графика видно, что с увеличением x целевая функция y уменьшается и становится практически горизонтальной. Если вычесть из каждого значения целевой функции число 10 (к которому она

приближается при увеличении *x*), то при увеличении *x в* два раза *y* уменьшается также в два раза. Таким образом, в первом приближении линию регрессии можно описать уравнением вида значения $\hat{y}$ и занести их в 11-й столбец табл. 5.3.

4. Определим дисперсию результатов эксперимента ($\sigma_Э^2$) и дисперсию адекватности (σ_A^2):

$$\sigma_Э^2 = \sum_{i=1}^{4}\left[\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{4}\left(y_{ij} - \bar{y}_i\right)^2\right] = 158{,}5\cdot 10^{-4}$$
$$\sigma_A^2 = \frac{1}{k}\sum_{1}^{4}\left(\bar{y}_i - \hat{y}\right)^2 = \frac{0{,}0204}{4} = 51\cdot 10^{-4} \quad . \qquad (5.7)$$

4. Находим корреляционное отношение

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_\sigma^2 - \sigma_A^2}{\sigma_\sigma^2}} = \sqrt{\frac{158{,}5\cdot 10^{-4} - 51\cdot 10^{-4}}{158{,}5\cdot 10^{-4}}} \approx 0{,}825 \quad . \qquad (5.8)$$

Вывод

Между целевой функцией *x* и входным параметром *y* имеется существенная связь.

Пример 2. Определить вид зависимости и коэффициенты нелинейной регрессии, а также корреляционное отношение по данным, приведенным ниже в таблице (в каждой точке было произведено по три опыта и получено три различных значения целевой функции *y*).

Таблица 5.4

xi	*yi*1	*yi2*	*yi*3
0,25	29,6	29,9	30,5
0,5	20,1	19,9	20,0
1,0	15,3	14,8	14,9
1,25	13,9	13,7	14,4
5,0	10,8	10,9	11,3

Решение:

1. Определим средние значения целевой функции $\bar{y}_i$ в каждой строке

$$y = A + \frac{B}{X} \quad . \tag{5.9}$$

2. Произведем линеаризацию уравнения (5.9), для чего обозначим

$$a_0 = A; \qquad a_1 = B; \qquad \frac{1}{x} = Z \quad .$$

Таким образом, получим линейное уравнение вида

$$y = a_0 + a_1 \cdot Z \quad . \tag{5.10}$$

Для вычислений коэффициентов регрессии целесообразно составить новую таблицу.

Таблица 5.5

№ п/п	Xi	y			$\bar{y}_i$	Zi	$Z_i \cdot y_{i1}^2$	Z_{i1}^2	$\hat{y}_i$	$\sum_1^3 \left(\frac{y_i + \bar{y}_i}{3}\right)^2$	$\left(\bar{y}_i + \hat{y}_i\right)$
		$yi1$	$yi2$	$yi3$							
1	0,25	29,6	29,9	30,5	30,0	4,0	120	16,0	30,0	0,14	0,00
2	0,5	20,1	19,9	20,0	20,0	2,0	40	4,0	20,0	0,0066	0,00
3	1,0	15,3	14,8	14,9	15,0	1,0	15	1,0	15,0	0,0466	0,00
4	1,25	13,7	13,9	14,4	14,0	0,8	11,2	0,64	14,0	0,0866	0,00
5	5,0	10,8	10,9	11,3	11,0	0,2	2,2	0,04	11,0	0,0466	0,00
Σ						8,0	188,4	21,68	0,281	0,3264	0,00

Запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum_1^4 \bar{y}_i = N \cdot a_0 + a_1 \sum_1^5 Z_{i1} \\ \sum_1^4 \bar{y}_i \cdot X_{i1} = a_0 \sum_1^5 Z_i + a_1 \sum_1^5 Z_{i1}^2 \end{cases};$$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} 90 = 5a_0 + 8{,}0a_1 \\ 188{,}4 = 8{,}0a_0 + 21{,}68a_1 \end{cases} . \tag{5.11}$$

Решая систему уравнений (5.11), получим $a_1 = 5{,}0;\ a_0 = 10{,}0$.

Таким образом, регрессионное уравнение (5) имеет вид:

$$y = 10 + \frac{5}{x} \quad . \qquad (5.12)$$

По уравнению (5.12) определяем для каждого значения *xi* расчетные значения $\hat{y}_i$ и заносим их в 10-й столбец таблицы.

3. Определим дисперсию результатов эксперимента ($\sigma^2_Э$) и дисперсию адекватности (σ^2_A)

$$\sigma^2_Э = \sum_{i=1}^{5}\left[\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{5}\left(y_{ij} - \bar{y}_i\right)^2\right] = 0{,}3264$$

$$\sigma^2_A = \frac{1}{k}\sum_{1}^{5}\left(\bar{y}_i - \hat{y}\right)^2 = \frac{0{,}00}{4} = 0{,}00 \quad .$$

4. Находим корреляционное отношение

$$n = \sqrt{\frac{\sigma^2{}_э - \sigma^2{}_a}{\sigma^2{}_э}} = \sqrt{\frac{0{,}3264^2 - 0{,}00^2}{0{,}3264^2}} = 1$$

Вывод

Между целевой функцией *x* и входным параметром *y* имеется существенная связь.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6
ИНДИВИДУАЛЬНАЯ РАСЧЕТНАЯ РАБОТА

По данным табл. 6.1–6.4 и рис. 1, составить эквивалентную расчетную схему динамической системы, определить частоту собственных колебаний, рассчитать параметры распределения случайной нагрузки на рабочем органе, смоделировать процесс функционирования динамической системы, построить гистограмму распределения нагрузок в упругом элементе динамической системы и определить вероятность безотказной работы элементов (валов) трансмиссии [4, 5, 8 – 11].

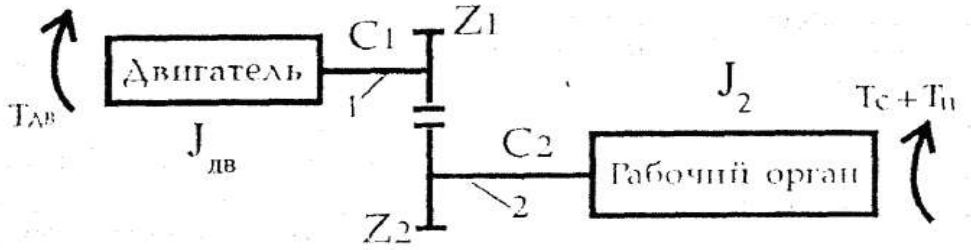


Рис. 6.1. Кинематическая схема горной машины:
– ведущий вал с коэффициентом жесткости C_1:
– ведомый вал с коэффициентом жесткости C_2

Крутящий момент, $T_{дв}$, (см. рис. 1) передается от двигателя через ведущий вал *1*, зубчатую передачу $z_1 - z_2$ (см. табл. 6.1–6.4), на ведомый вал *2* и рабочий орган.

К рабочему органу приложен постоянный момент сопротивления $T_п$ и случайный момент сопротивления $T_с$. Амплитуда случайного момента сопротивления $T_с$ может распределяться по законам: нормальному, равномерному, Вейбулла, Релея, а длительность действия этого момента изменяется случайным образом по равномерному закону.

. Таблица 6.1

Исходные данные для индивидуальной расчетной работы $\omega_{дв}$ =150 рад/с

Номер варианта	$J_{дв}$	$J2$	$Z1$	$Z2$	$T_{дв}$	$T_с$	$\sigma_в$
1	31	41	17	35	200	200	720
2	32	42	18	36	250	230	750
3	33	43	19	37	300	240	780
4	34	44	20	38	350	250	810
5	35	45	21	39	400	260	840
6	36	46	22	41	450	270	850
7	37	47	23	47	520	290	880
8	38	48	24	56	570	300	910
9	39	49	25	57	620	310	940
10	40	50	26	58	670	330	970
11	41	51	27	59	720	340	1000
12	42	52	28	60	770	350	1030
13	43	53	29	61	820	370	1060
14	44	54	30	62	870	410	1080
15	45	55	29	63	900	430	1100
16	46	56	28	64	210	200	ИЗО
17	47	57	27	65	260	220	1160
18	48	58	26	66	310	240	1190
19	49	59	25	67	360	260	1220
20	50	60	24	68	410	280	1250
21	11	59	23	69	460	300	1280
22	12	58	22	70	510	320	1310
23	13	57	21	71	560	340	1340
24	14	46	20	47	610	350	1370
25	15	55	19	48	660	370	1400
26	16	54	18	49	710	390	1420
27	17	53	17	40	760	410	1450
28	18	52	21	48	810	450	1480
29	19	51	22	49	860	470	1510
30	21	50	20	50	900	500	1540

Таблица 6.2

Исходные данные для индивидуальной расчетной работы $\omega_{дв}$ =100 рад/с

Номер варианта	$J_{дв}$	$J2$	$Z1$	$Z2$	$T_{дв}$	$T_с$	$\sigma_в$
1	22	52	24	51	220	210	720
2	23	53	25	52	270	220	750
3	24	54	26	54	320	240	780
4	25	55	27	55	370	260	810
5	26	56	28	59	420	270	830
6	27	57	29	60	470	280	860
7	28	58	30	61	520	300	890
8	29	59	31	64	570	320	920
9	31	60	32	67	620	330	950
10	32	61	33	68	670	340	980
11	33	62	34	69	820	360	1100
12	34	63	35	74	870	400	1130
13	35	64	36	75	200	200	1160
14	36	65	37	76	250	220	1130
15	37	66	38	77	320	230	1220
16	38	67	39	80	370	250	1250
17	39	68	40	62	420	270	1280
18	40	69	17	37	470	290	1310
19	41	70	18	38	520	310	1340
20	42	71	19	40	570	330	1370
21	50	60	39	68	370	290	1270
22	25	42	40	69	420	310	1300
23	46	77	40	70	470	330	1330
24	23	38	41	71	520	370	1370
25	31	52	27	47	620	410	1430
26	21	35	28	48	670	430	160
27	29	48	28	49	720	470	1500
28	36	60	23	40	770	490	1530
29	45	75	28	48	820	510	1560
30	10	10	20	60	1000	500	1000

Таблица 6.3

Исходные данные для индивидуальной расчетной работы $\omega_{дв}$ =250 рад/с

Номер варианта	$J_{дв}$	$J2$	$Z1$	$Z2$	$T_{дв}$	$T_с$	$\sigma_в$
1	33	48	23	62	420	310	1300
2	36	39	24	47	470	330	1330
3	41	90	25	63	520	370	1370
4	15	45	26	45	570	390	1400
5	45	15	27	39	620	410	1430
6	11	70	28	57	670	430	1460
7	22	80	29	64	720	470	1500
8	29	48	30	80	770	490	1530
9	24	49	31	65	820	510	1560
10	30	37	32	47	870	530	1600
11	16	54	18	49	710	390	1420
12	17	53	17	40	760	410	1450
13	18	52	21	48	810	450	1480
14	19	51	22	49	860	470	1510
15	21	50	23	50	900	500	1540
16	31	41	17	35	200	200	720
17	32	42	18	36	250	230	750
18	33	43	19	37	300	240	780
19	34	44	20	38	350	250	810
20	35	45	21	39	400	260	840
21	22	52	24	51	220	210	720
22	23	53	25	52	270	220	750
23	24	54	26	54	320	240	780
24	25	55	27	55	370	260	810
25	26	56	28	59	420	270	830
26	31	52	27	47	620	410	1430
27	21	35	28	48	670	430	1600
28	29	48	28	49	720	470	1500
29	36	60	23	40	770	490	1530
30	45	75	28	48	820	510	1560

Таблица 6.4

Исходные данные для индивидуальной расчетной работы $\omega_{дв}$ =200 рад/с

Номер варианта	$J_{дв}$	$J2$	$Z1$	$Z2$	$T_{дв}$	$T_с$	$\sigma_в$
1	10	10	17	40	200	200	700
2	12	14	18	39	250	220	730
3	14	16	19	41	300	240	760
4	20	10	20	63	350	260	790
5	17	80	21	54	400	280	820
6	13	45	22	43	450	300	850
7	14	7	23	45	500	320	880
8	16	18	24	54	550	340	910
9	18	24	25	47	600	360	940
10	19	36	26	61	650	380	970
11	21	42	27	58	700	400	1000
12	8	50	28	43	750	420	1030
13	6	30	29	47	800	440	1060
14	31	45	30	71	850	450	1090
15	36	60	17	50	900	460	1120
16	23	40	18	46	950	470	1150
17	25	47	19	47	220	210	1180
18	27	30	20	48	270	230	1210
19	29	21	21	49	320	270	1240
20	35	42	22	51	370	290	1270
21	33	48	23	62	420	310	1300
22	36	39	24	47	470	330	1330
23	41	90	25	63	520	370	1370
24	15	45	26	45	570	390	1400
25	45	15	27	39	620	410	1430
26	11	70	28	57	670	430	1460
27	22	80	29	64	720	470	1500
28	29	48	30	80	770	490	1530
29	24	49	31	65	820	510	1560
30	30	37	32	47	870	530	1600

1. Последовательность выполнения индивидуальной расчетной работы

1) Составляется эквивалентная расчетная схема – рис. 6.2.

2) Выбирается вал приведения (как правило, тихоходный вал). Определяется приведенный к тихоходному валу момент инерции двигателя:

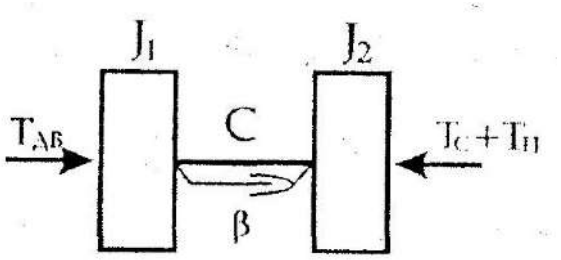


Рис. 6.2. Эквивалентная расчетная схема

$$J_1 - J_{\text{дв}} \cdot U^2, \qquad (6.1)$$

где $J_{\text{дв}}$ – собственный момент инерции двигателя, кг·м^2;

U – передаточное число зубчатой передачи, равное отношению Z_2 / Z_1 .

3) Определяются диаметры ведущего d_1 и ведомого d_2 валов (полученные числа округляются до стандартных) , мм

$$d_1 = 10\sqrt[3]{\frac{T_{\text{дв}}}{0{,}2[\tau]}}, \qquad (6.2)$$

где $T_{\text{дв}}$ – номинальный движущий момент, развиваемый двигателем, Н·м;

$[\tau] = 0{,}1\sigma_{\text{в}}$ – пониженные допускаемые напряжения накручение, МПа;

$$d_2 = 10\sqrt[3]{\frac{T_2}{0{,}2[\tau]}}, \qquad (6.3)$$

где $T_2 = T_{\text{дв}} \cdot U$ – номинальный движущий момент на ведомом валу.

4) Определяются собственные коэффициенты жесткости ведущего C_1 с и ведомого C_2 с валов

$$C_{1c} = \frac{G\pi d_1^4}{l_1 \cdot 32}, \qquad (6.4)$$

где G – модуль сдвига равный $8 \cdot 10^{10}$ Па;

l_l – длина рабочей части ведущего вала, равная l_l=4d_1 (диаметр вала, м).

$$C_{2c} = \frac{G\pi d_2^4}{l_2 \cdot 32}, \tag{6.5}$$

5) Определяется приведенная к ведомому валу жесткость ведущего вала

$$C_1 = C_{1C} \cdot U^2, \tag{6.6}$$

6) Находится эквивалентная суммарная жесткость упругого элемента

$$C = \frac{C_1 \cdot C_{2C}}{C_1 + C_{2C}}, \tag{6.7}$$

7) Находятся параметры распределения внешних нагрузок: амплитуды и частоты.

Форма случайной нагрузки, действующей на ведомую массу, имеет вид полуволны синусоиды

$$T_C = T_i \sin \omega_i t, \tag{6.8}$$

где T_i – амплитуда случайной переменной нагрузки, Н·м.

Время действия случайной нагрузки (т. е. частота переменной нагрузки) распределено по равномерному закону. Максимальная частота (т. е. минимальное время действия) находится по формуле

$$\omega_{max} = 1{,}5\omega_c, \tag{6.9}$$

где ω_c – собственная частота колебаний динамической системы, рад/с.

$$\omega_c = \sqrt{\frac{C(J_1 + J_2)}{J_1 * J_2}} \ . \tag{6.10}$$

Минимальная частота (т. е. максимальное время действия нагрузки) находится из формулы

$$\omega_{min} = 0{,}5\omega_c \ . \tag{6.11}$$

Коэффициент демпфирования, который характеризует интенсивность уменьшения амплитуды колебаний, находится из формулы, Н·с·м

$$\beta = \frac{\psi \cdot c}{2\pi\pi_c}, \qquad (6.12)$$

где ψ – коэффициент поглощения, для одноступенчатых зубчатых передач принимается равным 0,2.

Выборочное среднее переменной нагрузки принимается равным постоянному моменту сопротивления ($T_c = T_п$), максимальное значение принимается равным ($T_{cmax} = 2T_п$), а минимальное значение (T_{cmin}=0).

Если переменная внешняя нагрузка распределена по нормальному закону, то ее среднее квадратичное отклонение находят из формулы

$$\sigma_{т.п} = \frac{2T_c}{6} = \frac{T_c}{3}. \qquad (6.13)$$

На рис. 3 приведен график изменения внешней переменной нагрузки.

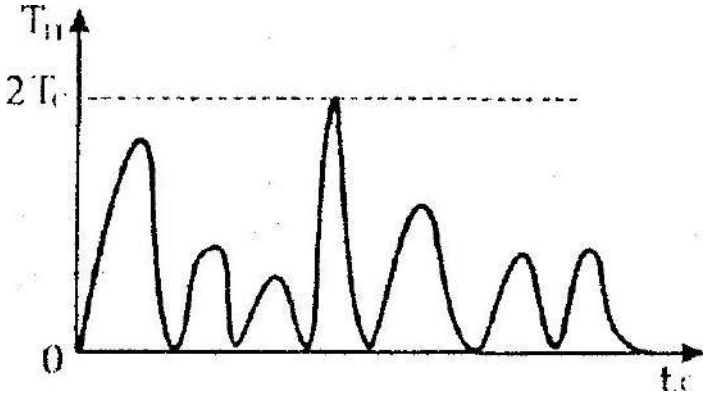


Рис. 6.3. График изменения внешней нагрузки

При изменении внешней переменной нагрузки по закону Вейбулла необходимо задать ее выборочное среднее.

8) Определяем минимальной шаг интегрирования (он должен обеспечивать необходимую точность расчетов)

$$\Delta t = \frac{t_{\min}}{100}, \qquad (6.14)$$

где $t_{\min}$ – минимальный полупериод измерения внешней нагрузки, с.

$$t_{\min} = \frac{\pi}{\omega_{\max}} . \qquad (6.15)$$

9) Задается минимальное число циклов изменения внешней нагрузки (N=2000).

10) Полученные исходные данные вводятся в ПЭВМ и производится расчет загруженности упругого элемента – валов.

2. Расчет вероятности безотказной работы (ВБР) валов

1) По гистограмме распределения динамических нагрузок в упругом элементе находится выборочное среднее $\overline{p}$ и дисперсия σ_p^2 напряжений.

$$\overline{p} = \frac{\overline{T}}{0.2d_2^3} , \qquad (6.16)$$

где $\overline{T}$ – выборочное среднее динамического момента в упругом звене.

$$\overline{T} = \frac{\sum \overline{T}_i n_i}{\sum n_i} , \qquad (6.17)$$

где $\overline{T}_i$ – среднее значение динамического момента в i-ом интервале;

n_i – количество значений в i-ом интервале.

$$\sigma_{\text{p}}^2 = \frac{\sum (p_1 - \overline{p})^2}{\sum n_i}, \qquad (6.18)$$

$$p_i = \frac{T_i}{0{,}2d_2^3} . \qquad (6.19)$$

2) Выборочное среднее значение $\overline{\tau}$ предела выносливости (сопротивления) принимается в два раза больше, чем пониженное допускаемое напряжение кручения ($\overline{\tau}=2(\tau)$), а коэффициент вариации (υ) прочностных свойств материала валов по данным практики составляет 0.1÷0.3.

3) Находится характеристика безопасности (квантиль нормального распределения функции неразрушения) и по интегралу вероятности находится ВБР (табл. 6.5)

$$\gamma = -\frac{\bar{\tau} - \bar{p}}{\sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_\tau^2}}, \tag{6.20}$$

$$\sigma_\tau^2 = (\upsilon \cdot \bar{\tau})^2, \tag{6.21}$$

где σ_τ^2 – дисперсия прочностных свойств материала валов

Таблица 6. 5

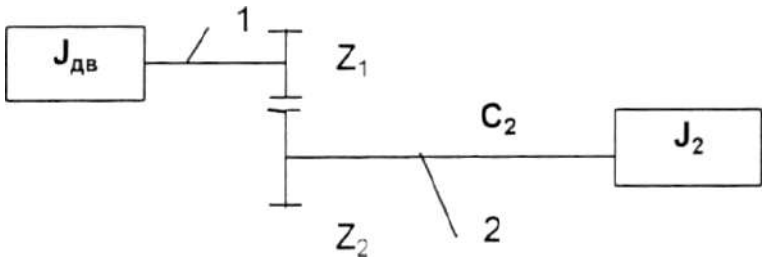
γ	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,5	-2,0	-3,0	-4,0
***P*(γ)**	0,5	0,58	0,66	0,73	0,79	0,84	0,93	0,98	0,998	0,999

По величине рассчитанной ВБР делается вывод о степени нагруженности и работоспособности детали. Если ВБР $p(t) \geq 0{,}95$ оказывается ниже требуемой, то производится изменение конструктивных параметров вала и расчет повторяется.

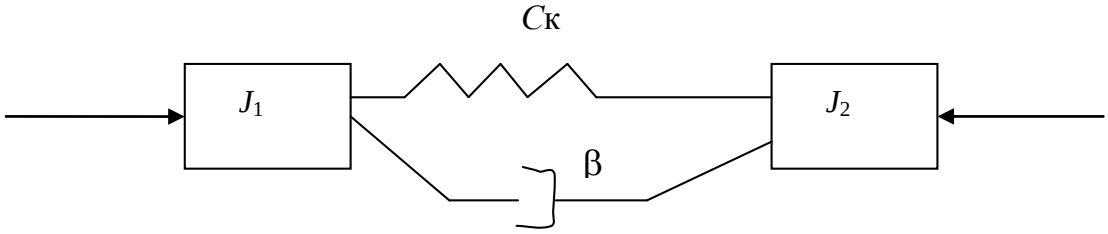
ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 6 (ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЕ)

1. По заданным данным и схеме горной машины, составить эквивалентную расчетную схему динамической системы, определить частоту собственных колебаний, рассчитать параметры распределения случайной величины нагрузки на рабочем органе, смоделировать процесс функционирования динамической системы, построить гистограмму распределения нагрузок в упругом элементе динамической системы и определить вероятность безотказной работы валов.

$J_{дв}$ кг м^2	J_2 кг м^2	Z_1	Z_2	$\delta_в$	ω, Н, ряд\с	T_{min}, Н·м	$T_{ср}$, Н·м	
32	61	33	68	980	100	0	340	670



Крутящий момент передается от двигателя через ведущий вал *1*, зубчатую передачу Z_rZ_2, имеющую передаточное число U, ведомый вал *2* на рабочий орган. К рабочему органу приложен постоянный момент сопротивления $T_{пс}$ и случайный момент сопротивления T_c. Амплитуда случайного момента T_c может распределятся по законам: нормальному равномерному, Вейбула, Релея; а длительность этого момента изменяется случайным образом по равномерному закону.



2. Выбирается вал привидения (тихоходный вал). Определяем приведенный к тихоходному валу момент инерции двигателя:

$$J_i = J_{\text{дв}}(Z_2/Z_1)^2 = 32(68/33)^2 = 135{,}88 = 136 \text{ кг м}^2 \ .$$

где $J_{\text{АВ}}$ – собственный момент двигателя (кг·м);

$Z_1/Z_2 = U$ – передаточное число зубчатой передачи.

U = 2, 06.

$$d_1 = 10\sqrt[3]{* \text{Тдв} / 0{,}2\ (\tau)}\ ;$$
$$(\tau) = 0{,}1 \cdot \delta_{\text{В}} = 0{,}1 \cdot 980 = 98\ (\text{МПа})\ ;$$
$$d_1 = \overline{10}\sqrt[3]{(0{,}2 \cdot 98)} = 32{,}45 = 32 \text{ мм} = 0{,}032 \text{ м}\ .$$

1. Определяем диаметры ведущего (d_1) и ведомого (d_2) валов:

$$d_1 = 10\sqrt[3]{* \text{Тдв} / 0{,}2\ (\tau)}\ ;$$
$$(\tau) = 0{,}1 \cdot \delta_{\text{В}} = 0{,}1 \cdot 980 = 98\ (\text{МПа})\ ;$$
$$d_1 = \overline{10} * \sqrt[3]{(0{,}2 \cdot 98)} = 32{,}45 = 32 \text{ мм} = 0{,}032 \text{ м};$$
$$d_2 = 10\sqrt[3]{\text{T}_2 / 0{,}2\ (\tau)}\ ;$$
$$T_{nc} = T_2 = T_{\text{дв}} \cdot U = 670 \cdot 2{,}06 = 1381 \quad \text{Н·м};$$
$$D2 = \sqrt[3]{1381}/(\ 0{,}2 \cdot 98\ ) = 41{,}30 \approx 41 \text{ мм} \approx 0{,}041 \text{ м},$$

где $T_{\text{дв}}$ – номинальный движущий момент, развиваемый двигателем;

Н·м – пониженные допускаемые напряжения на кручение, МПа;

δв – предел прочности материала, МПа;

T_2 – номинальный движущий момент на ведомом валу, равен постоянному сопротивлению, Н·м.

Длина ведущего (L_1) и ведомого (L_2) валов:

$$L_1 = 4 \cdot d_1 = 4 \cdot 0{,}032 = 128 = 129 \text{ мм или } 0{,}130 \text{ м};$$
$$L_2 = 4 \cdot d_2 = 8 \cdot 0{,}041 = 0{,}328 = 330 \text{ мм или } 0{,}330 \text{ м}.$$

2. Определяем собственные жесткости ведущего (C_{1c}) ведомого (C_{2c}) валов:

$$C_{1c} = G \cdot \text{тг} \cdot d_1^4 / (L_1 * 32)$$
$$G = 8 \cdot 10^{10} \text{Па} \qquad 8\text{E+10} - \text{модуль сдвига, Па}$$
$$C_{1c} = 8 \cdot 10^{10} \cdot 3{,}14(\ 0{,}032)^4 / (0{,}130 \cdot 32) = 67085 \text{ Н·м}$$

$$C_{2c}=G\cdot\pi\cdot d_2^4/(L_2\cdot 32)$$

$$C_{2c}=8\cdot 10^{10}\cdot 3{,}14(0{,}041)^4/(0{,}330\cdot 32)=69118{,}4\ \text{Н}\cdot\text{м}.$$

3. Определяем приведенные жесткости ведущего (C_1,) и ведомого валов (C_2):

$$C_1 = C_{1c}\cdot U^2 = 67085(2{,}06)^2 = 284851\ \text{Н}\cdot\text{м};$$

$$C_2=C_{2c}=69118{,}4\ \text{Н}\cdot\text{м}.$$

4. Определяем эквивалентную суммарную жесткость упругого элемента (С):

$$C=(C_1\cdot C_{2c})/(C_1+C_{2c})=(284851\cdot 69118{,}4)/(284851+69118{,}4)=$$
$$=55621{,}9\ \text{Н}\cdot\text{м}.$$

5. Определяем частоту переменной нагрузки ($\omega_{max;}\ \omega_{min}$)

$$\omega_{max}=1{,}5\cdot\omega_c\quad\omega_{min}=0{,}5\cdot\omega_c;$$

$$\omega_c=\sqrt{\frac{C(I_1+I_2)}{I_1*I_2}}=\sqrt{55621(136+61)/(136\cdot 61)}=36{,}3;$$

$$\omega_{max}=1{,}5\cdot 36{,}3=54{,}5\ \text{рад\с};$$

$$\omega_{min}=0{,}5\cdot 36{,}3=18{,}2\ \text{рад\с};$$

где ω_c – собственная частота динамических колебаний системы, рад/с.

6. Определяем коэффициент демпфирования (β):

$$B=(\psi\cdot c)/(2\cdot\pi\cdot\omega_c);$$

$$\psi=0{,}2;$$

$$\beta=(0{,}2\cdot 55621{,}9)/(2\cdot 3{,}14\cdot 36{,}3)=48{,}7\ \text{Н}\cdot\text{м}/\text{с}.$$

Выборочное среднее переменной нагрузки принимается равной постоянному моменту сопротивления:

$$T_c = T_n = 340 \ \text{Н·м};$$

$$T_n = 2T_C = 2 \cdot 340 = 680 \ \text{Н·м};$$

Среднее отклонение:

$$\delta_{т.п} = 2T_c / 6 = 2 \cdot 340 / 6 = 113{,}3.$$

7. Определяем минимальный шаг интегрирования:

$$\Delta_t = T_{min} / N;$$

$$N = 100,$$

где N – частота циклов нагрузки, выбирается произвольно;

T_{min} – период изменений внешней нагрузки.

$$T_{min} = 2\pi / \omega_{max} = 2\pi / 54{,}5 = 0{,}1152 / \Delta t = 0{,}1152 / 100 = 0{,}001152 \text{ с}.$$

8. Определяем выборочное среднее (τ)

$$\tau = 2\tau] = 2 \cdot 98 = 196 \ \text{МПа}.$$

Исходные данные для расчета динамических нагрузок (для распределения Релея) (см. Программу задачи № 7)?

Исходные данные

1. Число циклов нагрузки	N	1000
2. Минимальное значение частоты собственных колебаний, рад/с	$X_{\min}$	18,2
3. Максимальное значение частоты собственных колебаний, рад/с	$X_{\max}$	54,5
4. Ведущая масса, кг /м^2	m_1	136
5. Ведомая масса, кг /м^2	m_2	61
6. Коэффициент жесткости, Н·м	C_1	55622
7. Коэффициент демпфирования, **Н ·с м**	b	48,7
8. Средняя нагрузка, Н·м	$T_{\text{ср}}$	340
9. Максимальная нагрузка, Н·м	$T_{\max}$	680
10. Минимальная нагрузка, Н·м	$T_{\min}$	0
11. Шаг интегрирования по времени, с	τ	0,00115
12. Максимальный движущий момент, Н·м	$M_{\text{дв}}$	670
13. Номинальная скорость вращения двигателя, рад/с	$\omega_{\text{Н}}$	100
14 Число зубьев ведущей шестерни	Z_1	33
15. Число зубьев ведомой шестерни	Z_2	68

Результаты расчета динамических нагрузок

Номер интервала	1	2	3	4	5	6
Интервал, Н·м	-655,07	-355,28	-55,50	244,28	544,07	843,85
	-355,28	-55,50	244,28	544,07	843,85	1143,63
Число попаданий в интервал, N_{i}	305	5349	19201	19034	5806	305
Частность, P_i	0,0061	0,10698	0,38402	0,38068	0,11612	0,0061
Середина интервала, T_i	-505,1759	-205,3923	94,3913	394,1749	693,9585	993,7421
$T_i \cdot P_i$	-3,0816	-21,9729	36,2481	150,0545	80,5825	6,0618
$(T_i – \acute{K})^2 P_i$	-3,0816	-21,9729	36,2481	150,0545	80,5825	6,0618

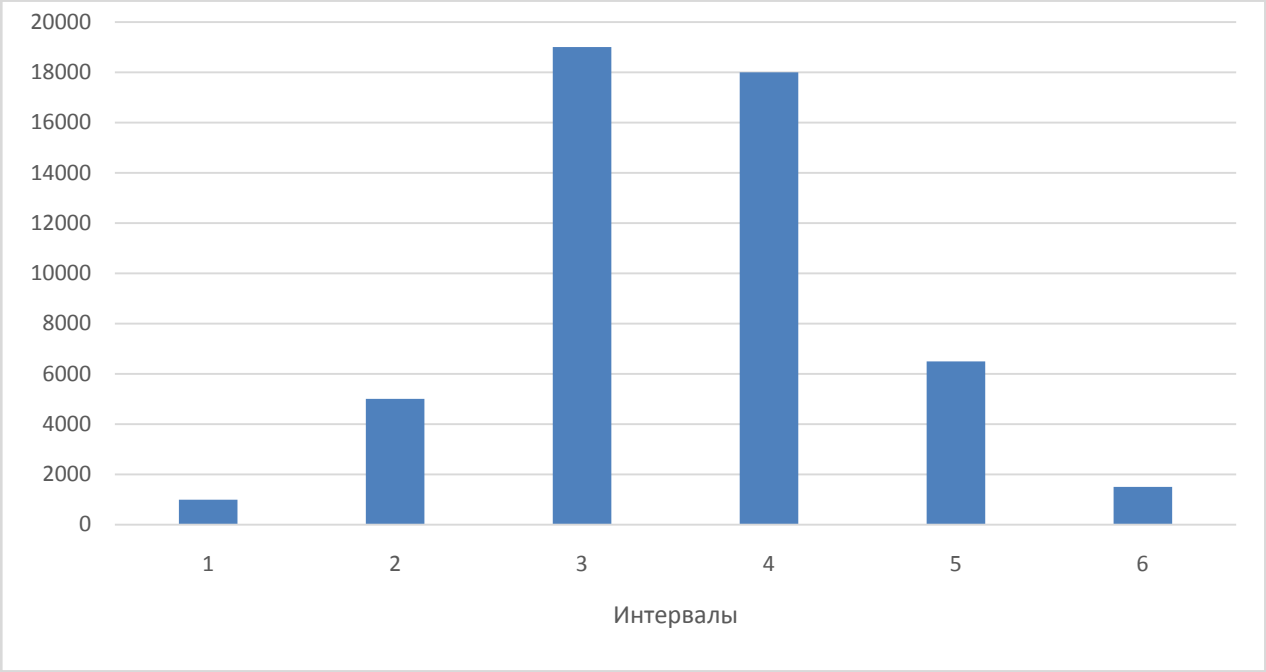


Рис. 6.4. Гистограмма распределения случайной величины

По гистограмме распределения динамических нагрузок в упругом элементе находится выборочное среднее $\bar{p}$ и дисперсия σ_ρ^2 напряжений (рис. 6.4).

$$T_1=\frac{-655{,}07+(-355{,}28)}{2}=-505{,}175 \text{ Н·м};\quad \acute{K} = \Sigma\,(T_i \cdot P_i) = 247{,}8925 \text{ Н·м};$$

$$T_2=\frac{-355{,}28+(-55{,}50)}{2} = -250{,}39 \text{ Н·м};$$

$$T_4 = \frac{244{,}28+544{,}07}{2} = 394{,}175 \text{ Н·м};$$

$$T_5 = \frac{544{,}07 + 843{,}85}{2} = 693{,}96 \text{ Н·м};$$

$$T_6 = \frac{843{,}85 + 1143{,}63}{2} = 993{,}605 \text{ Н·м};$$

$$T_p = \frac{-505{,}175 \cdot 305 + (-250{,}39)5349 + 94.39 \cdot 19201 + 394{,}175 \cdot 19034 + 693{,}96 \cdot 5806 + 993{,}605 \cdot 305}{50000} =$$

$$= 86{,}643 \text{ Н·м};$$

где $\delta_{\text{р}}^{\mathbf{2}}$ – дисперсия напряжений в упругом элементе.

$$\delta_{\boldsymbol{\tau}}^{\mathbf{2}} = (V \cdot \tau)^2 = 3457{,}44.$$

$$\delta_p^2 = \frac{(\sum_0^1 T_p - K_n) 2 \frac{n_i}{N}}{\sum_0^1 \frac{n_i}{N}} =$$

$$= \frac{86{,}643 + (-505{,}175)^2 \frac{305}{50000} + \ \ldots \ + (86{,}643 + 993.605)^2 \frac{305}{50000}}{\frac{305}{50000}} =$$

$$= 69133{,}11;$$

$$\gamma = \frac{\acute{K}_p - \acute{K}_\tau}{\sqrt{\delta_{\text{р}}^2 - \delta_\tau^2}} = \frac{86{,}643 - 247{,}8925}{\sqrt{69133.11^2 - 3457{,}44^2}} = -3;$$

$$P(t) = \frac{1 + F(\gamma)}{2} = \frac{1 + 0.995}{2} = 0.9975.$$

Выводы

Рассчитав значения ВБР и сравнив его с (0,95 –1), можно считать, что валы в динамической системе проходят по всем параметрам (жесткости и прочности).

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 7
РАСЧЕТ СКРЕПЕРНОЙ ЛЕБЁДКИ

Определить вероятность отказа тягового троса скреперной лебедки при транспортировании горной массы из камеры к рудоспуску. Асинхронный электродвигатель мощностью $\boldsymbol{P}_{\text{дв}}$ (кВт) приводит через редуктор во вращение барабан, на который наматывается трос диаметром $\boldsymbol{d}_{\text{тр}}$ (мм), площадью сечения $\boldsymbol{F}_{\text{тр}}$ (мм^2). Трос длиной $\boldsymbol{l}_{\text{тр}}$ (м) тянет скрепер с горной массой $\boldsymbol{m_0 + m}_{\text{гр}}$ ($\boldsymbol{m}_{\text{гр}}$ – масса руды, $\boldsymbol{m_0}$ – масса скрепера). Электродвигатель имеет маховый момент $\boldsymbol{GD}$ (кг·м^2) и скорость вращения $\boldsymbol{n}_{\text{дв}}$ (об/мин.) (см. табл. 7.1–7.3). Учитывая соотношения масс механизма, эквивалентную расчетную схему скреперной лебедки (см. рис. 7.1)можно представить в виде двухмассовой односвязной системы:

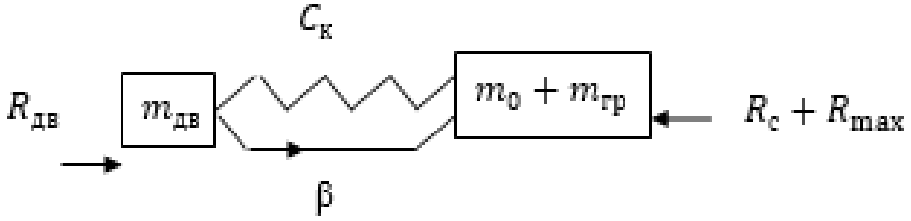


Рис. 7.1. Эквивалентная динамическая схема лебёдки

где $R_{\text{дв}}$ – приведенное к тросу движущее усилие (Н) находится из формулы:

$$R_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{дв}}}{V_{\text{к}}}, \quad \omega_{\text{дв}} = \frac{2\pi n_{\text{дв}}}{60},$$

где $M_{\text{н}}$ – номинальный момент двигателя, Н·м;

$\omega_{\text{дв}}$ – номинальная угловая скорость двигателя, рад/с;

$V_{\text{к}}$ – скорость движения скрепера (намотки каната), м/с.

$$M_{\text{н}} = \left(m_0 + m_{\text{гр}}\right) g \cdot K \cdot \frac{V_{\text{к}}}{\omega_{\text{дв}}},$$

где $m_{\text{гр}} = v_{\text{с}} \cdot \rho$ – масса руды в скрепере, кг;

ρ – плотность разрыхленной горной массы (руды), кг/м^3 (табл. 7.3);

K – коэффициент сопротивления передвижению (включает сопротивление черпанию) скрепера, равный 1,2÷1,8.

Мощность двигателя (для определения махового момента) находится из формулы

$$P_{\text{дв}} = \left(m_0 + m_{\text{гр}}\right) g K V_{\text{к}} \ .$$

По табл. 7.1 и 7.2. выбирается двигатель.

Жесткость каната (Н/м) находится из формулы: (Е-Па; F-м^2; l-м)

$$C_{\text{к}} = \frac{E \cdot F_{\text{тр}}}{l} \ ,$$

где $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па (модуль Юнга);

l – длина троса, м (табл. 7.3).

Диаметр троса и площадь его сечения (мм^2) находятся из формулы

$$F_{\text{тр}} \approx K_{\text{п}} \frac{R_{\text{к}}}{[\sigma_{\text{в}}]} \ ,$$

где $[\sigma_{\text{в}}]$ – временное сопротивление троса, МПа ($[\sigma_{\text{в}}] = 1400 \div 1600$ МПа);

$K_{\text{п}}$ – коэффициент запаса прочности ($K_{\text{п}} = 2 \div 3$).

Усилие в тросе $R_{\text{к}}$ находится из формулы

$$R_{\text{к}} = \left(m_0 + m_{\text{гр}}\right) g K.$$

Среднее усилие сопротивления движению скрепера находится из уравнения:

$$R_{\text{с}} = R_{\text{к}}.$$

Максимальное усилие сопротивления движению скрепера находится из формулы

$$R_{\max} = R_{\text{с}} = R_{\text{к}}.$$

Масса двигателя ($m_{\text{дв}}$), приведенная к тросу лебедки, находится из формулы

$$m_{\text{дв}} = 0{,}25 G D^2 \frac{\omega_{\text{дв}}^2}{V_{\text{к}}^2} \ ,$$

где GD^2 – маховый момент двигателя (табл. 7.1).

Угловую скорость собственных колебаний динамической системы можно определить из уравнения

$$\omega_c^2 = \frac{C_к(m_{дв}+m_0+m_{гр})}{[m_{дв}(m_0+m_{гр})]}.$$

Максимальная и минимальная частоты изменения внешней нагрузки находятся из формул

$$\omega_{\min} = 1{,}1\omega_c\,,$$
$$\omega_{\max} = 1{,}2\omega_c\,.$$

Коэффициент демпфирования (β) находится из уравнения

$$\beta = \frac{0{,}2C_к}{2\pi\omega_c}\,.$$

Находим:

$$V_р = \frac{\sigma_р}{\bar{р}};$$
$$V_а = 0{,}15 \div 0{,}25;$$
$$\gamma = \frac{n_з - 1}{\sqrt{v_p^2 + n_з^2 \cdot v_а^2}},$$

где $n_з$ – коэффициент запаса прочности.

Таблица 7.1

Характеристика двигателей

Маховый момент GD^2, кг·м^2				
мощность $P_{дв}$, кВт	$n_{дв}$, об/мин., 2900	$n_{дв}$, об/мин., 1450	$n_{дв}$, об/мин., 970	$n_{дв}$, об/мин., 710
10	0,015	0,28	0,85	1,0
17	0,3	0,55	1,6	2,0
22	0,45	1,0	2,0	3,6
30	0,55	1,2	3,6	4,7
40	1,1	2,1	4,7	8,6
55	1,3	2,7	8,6	11,0
75	2,5	4,9	11,0	–
100	3,0	6,4	–	–

Таблица 7.2

Характеристика элементов скреперных лебедок

Диаметр троса, мм	Разрывное усилие, $R_р$, кН	Емкость ковша, м^3	Масса ковша, кг
9,9	47	0,16	300
12,5	72	0,25	350
14	87	0,4	470
17,5	139	0,6	750
20	181	1,0	1180
22,5	235	1,6	1900
25	280	1,3	1500

Таблица 7.3

Исходные данные к задаче № 7

Номер вари-анта	K	V_c, м^3	ρ, т/м^3	r, мм	$V_к$, м/с	$n_{дв}$, об/мин	$P(\gamma)$	v	$l_к$
1	1,8	0,16	2,4	250	1,8	2900	0,7÷0,75	0,12	10
2	1,7	0,25	2,2	280	1,7				
3	1,6	0,4	2,3	300	1,6				
4	1,5	0,6	2,0	320	1,4		0,75÷0,8		
5	1,4	1,0	1,8	350	1,45				
6	1,3	0,16	2,2	220	1,55	1450	0,78÷0,82	0,14	12
7	1,2	0,25	2,1	230	1,28				
8	1,1	0,4	2,0	250	1,25				
9	1,15	0,6	1,9	270	1,4		0,82÷0,86		
10	1,25	1,0	1,6	310	1,9	1450	0,82÷0,86	0,14	12
11	1,35	0,8	1,4	360	1,8				
12	1,45	0,16	2,5	270	0,75	970	0,86÷0,89	0,16	14
13	1,55	0,25	2,4	280	0,85				
14	1,65	0,4	2,8	290	0,95				
15	1,75	0,6	2,0	330	1,05		0,89÷0,93		
16	1,85	1,0	1,8	370	1,15				
17	1,4	1,6	1,7	410	1,25				
18	1,95	0,16	3,0	200	1,45	710	0,91÷0,96	0,18	16
19	1,7	0,25	2,9	220	1,35				
20	1,25	0,4	2,8	240	1,65				
21	1,4	0,6	2,6	290	1,55				

Продолжение табл. 7.3

Номер вари-анта	K	V_c, м^3	ρ, т/м^3	r, мм	$V_к$, м/с	$n_{дв}$, об/мин	$P(\gamma)$	ν	$l_к$
22	1,45	1,0	2,9	250	1,85	2900	0,94÷0,98	0,2	11
23	1,8	0,2	2,4	250	1,85				
24	1,8	0,22	2,4	250	1,85				
25	1,7	0,28	2,2	280	1,75		0,73÷0,79		14
26	1,7	0,32	2,2	280	1,75				
27	1,7	0,36	2,2	280	1,75				
28	1,6	0,42	2,3	300	1,65				
29	1,6	0,48	2,3	300	1,65				
30	1,6	0,52	2,3	300	1,65		0,78÷0,87	0,25	19
31	1,6	0,56	2,3	300	1,65				
32	1,5	0,64	2,0	320	1,45				
33	1,5	0,68	2,0	320	1,45				
34	1,5	0,74	2,0	320	1,45				
35	1,5	0,78	2,0	320	1,45		0,87÷0,96		
36	1,5	0,82	2,0	320	1,45				
37	1,4	0,9	1,8	350	1,5				
38	1,4	0,94	1,8	350	1,5				
39	1,4	0,96	1,8	350	1,5		0,87÷0,96	0,25	19
40	1,3	0,2	2,3	220	1,65	1450	0,65÷0,78	0,11	12
41	1,3	0,22	2,3	220	1,65				
42	1,2	0,28	2,2	230	1,38				
43	1,2	0,32	2,2	230	1,38				
44	1,2	0,36	2,2	230	1,38		0,67÷0,84	0,13	14
45	1,1	0,42	2,1	250	1,35				
46	1,1	0,48	2,1	250	1,35				
47	1,1	0,52	2,1	250	1,35				
48	1,1	0,56	2,1	250	1,35				
49	1,15	0,64	2,0	270	1,5				
50	1,15	0,68	2,0	270	1,5		0,75÷0,91	0,15	16
51	1,15	0,74	2,0	270	1,5				
52	1,15	0,78	2,0	270	1,5				
53	1,15	0,82	2,0	270	1,5	1450	0,75÷0,91	0,15	16
54	1,25	0,9	1,7	310	2,0				
55	1,25	0,94	1,7	310	2,0		0,8÷0,92		13
56	1,25	0,96	1,7	310	2,0				
57	1,35	0,84	1,5	360	1,9				
58	1,35	0,88	1,5	360	1,9				
59	1,35	0,93	1,5	360	1,9				

Окончание табл. 7.3

Номер вари-анта	K	V_c, м^3	ρ, т/м^3	r, мм	$V_к$, м/с	$n_{дв}$, об/мин	$P(\gamma)$	ν	$l_к$
60	1,45	0,2	2,65	270	0,9	970	0,9÷0,94	0,17	11
61	1,45	0,22	2,65	270	0,9				
62	1,55	0,28	2,55	280	1,0				
63	1,55	0,32	2,55	280	1,0				
64	1,55	0,36	2,55	280	1,0				
65	1,55	0,42	2,95	290	1,1		0,81÷0,87	0,19	10
66	1,55	0,48	2,95	290	1,1				
67	1,55	0,52	2,95	290	1,1				
68	1,55	0,56	2,95	290	1,1				
69	1,75	0,64	2,15	330	1,2				
70	1,75	0,68	2,15	330	1,2				
71	1,75	0,74	2,15	330	1,2				
72	1,75	0,78	2,15	330	1,2		0,88÷0,96	0,21	15
73	1,75	0,82	2,15	330	1,3				
74	1,85	0,9	1,95	370	1,3				
75	1,85	0,94	1,95	370	1,3				
76	1,85	0,96	1,95	370	1,3				
77	1,95	0,2	3,25	200	1,7	710	0,92÷0,99	0,23	13
78	1,95	0,22	3,25	200	1,7				
79	1,7	0,28	3,15	220	1,6				
80	1,7	0,32	3,15	220	1,6				
81	1,7	0,36	3,15	220	1,6				
82	1,25	0,42	3,05	240	1,9	710	0,92÷0,99	0,23	13
83	1,25	0,48	3,05	240	1,9		0,95÷0,99	0,24	17
84	1,25	0,52	3,05	240	1,9				
85	1,25	0,56	3,05	240	1,9				
86	1,4	0,64	2,85	290	1,8				
87	1,4	0,68	2,85	290	1,8				
88	1,4	0,74	2,85	290	1,8				
89	1,4	0,78	2,85	290	1,8				
90	1,4	0,82	2,85	290	1,8				

Пример решения задачи № 7

Исходные данные:

K=1,4; $V_с$=1,0 м^3; P=1,8 т/м^3; $D_{тр}$=9,9 мм; r=350 мм; $V_к$=1,45 м/с; $n_{дв}$=2900 об/мин; $\omega_{дв}$=303,53 с$^{-1}$; V=0,12; $L_к$=10 м; m_0=1180 кг.

Решение:

1. Приведенное к тросу движущее усилие

$$R_{дв} = \frac{M_н \omega_{дв}}{V_к} = \frac{195{,}5 \cdot 303{,}53}{1{,}45} = 40927{,}32 \text{ Н}.$$

2. Номинальный момент двигателя

$$M_н = (m_0 + m_{гр}) g \cdot K \frac{V_k}{\omega_{дв}} = (1180 + 1800) 9{,}8 \cdot 1{,}4 \frac{1{,}45}{303{,}53} = 195{,}5 \text{ Н}.$$

3. Мощность двигателя

$$P_{дв} = (m_0 + m_{гр}) g \cdot K \cdot V_к = (1180 + 1800) 9{,}8 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}45 = 59 \text{ кВт}.$$

4. Жесткость каната $С_к$ (Н/м):

$$C_к = \frac{E \cdot F_{тр}}{l} = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 0{,}000058}{10} = 1169000 \text{ Н·м}.$$

5. Диаметр троса и площадь его сечения

$$F_{тр} = K_п \frac{R_к}{\sigma_в} = 2 \frac{40927}{1400} = 58{,}46 \text{ мм}^2;$$

$$R_c = R_k = 40927 \text{ Н};$$

$$R_{max} = R_c = R_k = 40927 \text{ Н}.$$

6. Масса двигателя, приведенная к тросу

$$m_{дв} = 0{,}25 \cdot GD^2 \frac{\omega_{дв}^2}{V_к^2} = 0{,}25 \cdot 3{,}6^2 \frac{303.53^2}{1{,}45^2} = 141975{,}12 \text{ кг}.$$

7. Угловая скорость собственных колебаний динамической системы:

$$\omega_с^2 = \frac{C_к (m_{дв} + m_0 + m_{гр})}{m_{дв} (m_0 + m_{гр})} = \frac{1{,}169 \cdot 10^6 (141975 + 1180 + 1800)}{141975 (1180 + 1800)} = 400{,}51 \text{ с}^{-1}.$$

8. Коэффициент демпфирования:

$$\beta = \frac{0{,}2 \cdot C_к}{2 \cdot \pi \cdot \omega_c} = \frac{0{,}2 \cdot 1{,}169 \cdot 10^6}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 20} = 1861.$$

9. При заданных значениях получились следующие результаты (см. рис.7.2):

Результаты расчетов

Номер интервала	Интервал		Число попаданий в интервал
1	-3663	-2298	1338
2	-2298	-933	21519
3	-933	432	76389
4	432	1797	77176
5	1797	3162	22169
6	3162	4526	1409

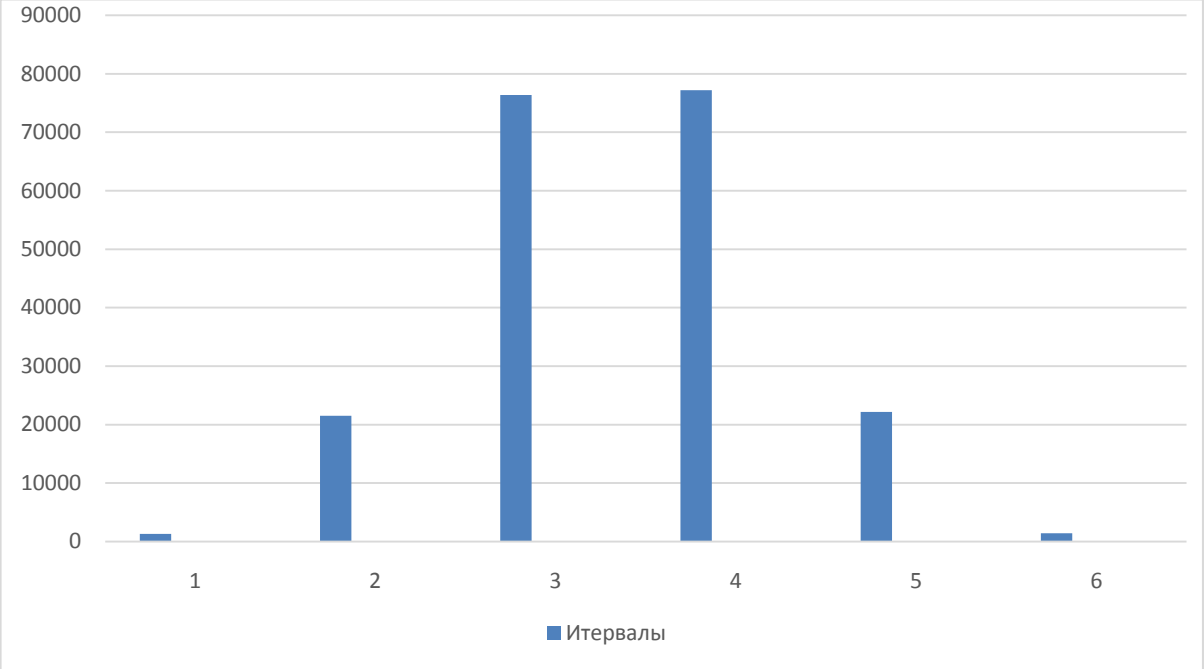


Рис. 7.2. Гистограмма распределения случайной величины

Для каждого интервала необходимо найти выборочное среднее динамического момента в упругом звене. Проведем этот и все следующие расчеты при помощи Excel:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i} = 0{,}1381.$$

Находим выборочное среднее для каждого интервала

$$p_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{ср}}}{0{,}2 \cdot d_2^3} = 0{,}0068.$$

Находим дисперсию напряжений для каждого интервала и результирующую:

$$\sigma_{\text{р}}^2 = \frac{\sum (p_i - p_{\text{ср}})^2}{\sum n_i} = 448{,}5984.$$

Находится ВБР

$$\gamma = \frac{\tau_{\text{ср}} - p_{\text{ср}}}{\sqrt{\sigma_{\tau}^2 + \sigma_{\text{р}}^2}} = -1{,}52.$$

Тогда

$$\gamma^2 = 1{,}52^2 = 2{,}31.$$

10. Находим:

$$\gamma^2 = \frac{(n_3 - 1)^2}{V_p^2 + n_3^2 * V_a^2} = \frac{n_3^2 - 2n_3 + 1}{V_p^2 + n_3^2 * V_a^2};$$

$$n_3^2 - 2n_3 + 1 = V_p^2 + n_3^2 \cdot V_a^2;$$

$$n_3^2 - 2n_3 - \gamma^2 n_3^2 V_a^2 = V_{\text{р}}^2 \gamma^2 - 1;$$

$$n_3^2 - 2n_3 - 2{,}31 \cdot 0{,}2 \cdot n_3^2 = V_{\text{р}}^2 \gamma^2 - 1;$$

$$0{,}44 n_3^2 - 2n_3 + 0{,}98 = 0;$$

$n_3 = 4{,}11$ или $n_3 = 1{,}14$ – искомая величина.

Таблица 8.1

Таблица значений критерия Фишера

Число степеней свободы df	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,000157	0,000628	0,0393	0,0158	0,0642	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635
2	0,0201	0,0404	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,542	7,813	9,837	11,341
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,969	7,779	9,488	11,668	13,277
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086
6	0,872	1,134	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812
7	1,239	1,564	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475
8	1,646	2,032	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090
9	2,088	2,532	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666
10	2,558	3,059	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209
11	3,053	3,609	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	18,675	22,618	24,725
12	3,571	4,178	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217
13	4,6107	4,765	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688
14	4,660	5,368	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141
15	5,229	5,985	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578
16	5,812	6,614	7,962	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000
17	6,408	7,255	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409
18	7,015	7,906	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805
19	7,633	8,567	10,117	11,651	13,716	15,352	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191
20	8,260	9,237	10,851	12,443	14,578	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566
21	8,897	9,915	11,591	13,240	15,445	17,182	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932
22	9,542	10,600	12,338	14,041	16,314	18,101	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289
23	10,196	11,293	13,091	14,848	17,187	19,021	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638
24	10,856	11,992	13,848	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980
25	11,524	12,697	14,611	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,337	37,652	41,566	44,314
26	12,198	13,409	15,379	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642
27	12,879	14,125	16,151	18,114	20,703	22,719	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963
28	13,565	14,847	16,928	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278
29	14,256	15,574	17,708	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588
30	14,953	16,306	18,493	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892

Таблица 8.2

Исходные данные для расчета исследуемого процесса

Номер опыта	x_i	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}	k_i				
1	-1	12	–	–	–	–	1	12	0	12	0
2	0	10,3	10,0	9,8	9,9	10,5	5	10,1	0,34	10	0,05
3	1	7,8	7,9	8,0	7,9	–	4	7,9	0,02	8	0,04
4	3	3,9	4,1	4,1	4,3	–	4	4,1	0,08	4	0,04
5	4	2,1	1,7				2	1,9	0,08	2	0,02
∑							16	36	0,52	36	0,15

После обработки таблицы получено $\check{y} = 10 - 2x$ уравнение

$$S_a^2 = 0{,}15, \qquad S_y^2 = \left(0 + \frac{0{,}34}{5-1} + \frac{0{,}02}{4-1} + \frac{0{,}08}{4-1} + \frac{0{,}08}{2-1}\right) = 0{,}198 \;;$$

$$F = \frac{S_a^2/\varphi_1}{S_y^2/\varphi_2} = \left(\frac{0{,}15/3}{0{,}198/11}\right) = 2{,}78 \leq F_{\text{кр}(3;11;5\%)} = 3{,}59 \;.$$

При $\varphi_1 = n - 2 = 5 - 2 = 3$, $\varphi_2 = \sum k - n = 16 - 5 = 11$.

Так как F=2,78<Fкр=3,59, то полученное уравнение адекватно описывает реальный процесс

2. Критерий Кохрена

По критерию Кохрена проверяется однородность дисперсий, т. е. возможность воспроизводства эксперимента в другой промежуток времени. Расчетное значение критерия Кохрена равно отношению максимальной дисперсии в одной точке к сумме дисперсий всего эксперимента. Если расчетное значение критерия при заданном уровне значимости должно быть меньше критического ($G_{\text{табл}}$), то дисперсии однородны. В противном случае опыты поставлены некорректно, т. е. имеется неслучайный фактор, влияющий на результат (табл. 8.2, 8.3).

$$G = \frac{S_{imax}^2}{s_y^2} \leq G_{\text{кр}(\varphi_1;\varphi_2;\text{р})}$$

где $\varphi_1 = k - 1$ – число степеней свободы;

k_i – число опытов в каждой точке;

S_{imax}^2 – max из дисперсий в одной из точек эксперимента

$\varphi_2 = n$ – число точек эксперимента.

Максимальная дисперсия в одной из точек (в данном эксперименте она во второй точке) находится из формулы

$$S_{max} = \sum_{1}^{k_j} \frac{(y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{k - 1} \quad .$$

Пример

Проверить однородность дисперсии эксперимента, результаты которого приведены в табл. 8.2.

$$G = \frac{0{,}34}{5-1} / 0{,}198 = 0{,}43 > G_{\text{табл}} \quad ;$$

$$\varphi_1 = k = 5 \quad , \quad \varphi_2 = N = 5 \quad , \quad G_{\text{табл}(5;5;5\%)} = 0{,}5 \quad .$$

Вывод. Дисперсии однородны.

Таким образом, полученная $\check{y} = 10 - 2x$ модель может быть использована для прогнозирования ещё не известных результатов процесса, который она описывает.

На рис. 8. 1 приведены экспериментальные точки и уравнение регресси $\check{y} = 10 - 2x$.

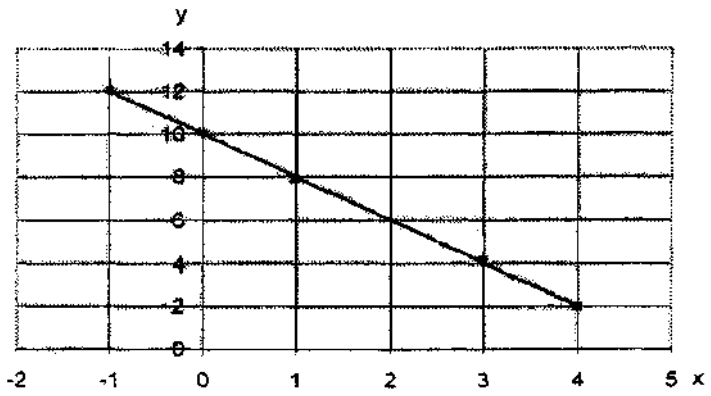


Рис. 8.1. Экспериментальная зависимость

Таблица 8.3

Значение критерия Кохрена при доверительной вероятности 95 %

№ п/п	*f*					
	1	2	3	16	36	∞
2	2	0.99	0.94	0.83	0.73	0.66
3	3	0.97	0.80	0.65	0.55	0.48
4	4	0.91	0.68	0.54	0.44	0.37
5	5	0.84	0.60	0.46	0.36	0.31
6	6	0.78	0.53	0.40	0.31	0.26
7	7	0.73	0.48	0.35	0.28	0.23
8	8	0.68	0.44	0.32	0.27	0.20
9	9	0.64	0.40	0.29	0.22	0.18
10	10	0.60	0.37	0.27	0.20	0.16
15	15	0.47	0.28	0.19	0.14	0.11
20	20	0.39	0.22	0.15	0.11	0.09
30	30	0.29	0.16	0.11	0.08	0.06
60	60	0.17	0.09	0.06	0.04	0.03
∞	0	0	0	0	0	0

Примечание. *f* – /число степеней свободы сравниваемой дисперсии;
n – число сравниваемых дисперсий

3. Критерий Стьюдента

По критерию Стьюдента определяется значимость коэффициентов уравнений регрессии и корреляционного отношения (табл. 8.4).

Если число опытов в каждой точке эксперимента равно единице, то значимость корреляционного отношения (η), т. е. его отличие от нуля, оценивается при помощи критерия Стьюдента по формуле

$$t = \frac{\eta\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{1-\eta^2}} \geq t_{(n-2;p)} ,$$

где *n* – число экспериментальных точек;

n–2 – число степеней свободы;

p – уровень значимости (1 – *p* = *q* – вероятность того, что корреляционное отношение значимо отличается от нуля), обычно *q* = 0,95;

$t_{(n-2;p)}$ – табличное значение критерия Стьюдента.

Таблица 8.4

Критические значения критерия *t*-Стьюдента

df	*P*				df	*P*				df	*P*			
	0,10	**0,05**	**0,01**	**0,001**		**0,10**	**0,05**	**0,01**	**0,001**		**0,10**	**0,05**	**0,01**	**0,001**
1	6,314	12,70	63,65	636,61	**31**	1,696	2,040	2,744	3,633	**61**	1,670	2,000	2,659	3,457
2	2,920	4,303	9,925	31,602	**32**	1,694	2,037	2,738	3,622	**62**	1,670	1,999	2,657	3,454
3	2,353	3,182	5,841	12,923	**33**	1,692	2,035	2,733	3,611	**63**	1,669	1,998	2,656	3,452
4	2,132	2,776	4,604	8,610	**34**	1,691	2,032	2,728	3,601	**64**	1,669	1,998	2,655	3,449
5	2,015	2,571	4,032	6,869	**35**	1,690	2,030	2,724	3,591	**65**	1,669	1,997	2,654	3,447
6	1,943	2,447	3,707	5,959	**36**	1,688	2,028	2,719	3,582	**66**	1,668	1,997	2,652	3,444
7	1,895	2,365	3,499	5,408	**37**	1,687	2,026	2,715	3,574	**67**	1,668	1,996	2,651	3,442
8	1,860	2,306	3,355	5,041	**38**	1,686	2,024	2,712	3,566	**68**	1,668	1,995	2,650	3,439
9	1,833	2,262	3,250	4,781	**39**	1,685	2,023	2,708	3,558	**69**	1,667	1,995	2,649	3,437
10	1,812	2,228	3,169	4,587	**40**	1,684	2,021	2,704	3,551	**70**	1,667	1,994	2,648	3,435
11	1,796	2,201	3,106	4,437	**41**	1,683	2,020	2,701	3,544	**71**	1,667	1,994	2,647	3,433
12	1,782	2,179	3,055	4,318	**42**	1,682	2,018	2,698	3,538	**72**	1,666	1,993	2,646	3,431
13	1,771	2,160	3,012	4,221	**43**	1,681	2,017	2,695	3,532	**73**	1,666	1,993	2,645	3,429
14	1,761	2,145	2,977	4,140	**44**	1,680	2,015	2,692	3,526	**74**	1,666	1,993	2,644	3,427
15	1,753	2,131	2,947	4,073	**45**	1,679	2,014	2,690	3,520	**75**	1,665	1,992	2,643	3,425
16	1,746	2,120	2,921	4,015	**46**	1,679	2,013	2,687	3,515	**76**	1,665	1,992	2,642	3,423
17	1,740	2,110	2,898	3,965	**47**	1,678	2,012	2,685	3,510	**78**	1,665	1,991	2,640	3,420
18	1,734	2,101	2,878	3,922	**48**	1,677	2,011	2,682	3,505	**79**	1,664	1,990	2,639	3,418
19	1,729	2,093	2,861	3,883	**49**	1,677	2,010	2,680	3,500	**80**	1,664	1,990	2,639	3,416
20	1,725	2,086	2,845	3,850	**50**	1,676	2,009	2,678	3,496	**90**	1,662	1,987	2,632	3,402
21	1,721	2,080	2,831	3,819	**51**	1,675	2,008	2,676	3,492	**100**	1,660	1,984	2,626	3,390
22	1,717	2,074	2,819	3,792	**52**	1,675	2,007	2,674	3,488	**110**	1,659	1,982	2,621	3,381
23	1,714	2,069	2,807	3,768	**53**	1,674	2,006	2,672	3,484	**120**	1,658	1,980	2,617	3,373
24	1,711	2,064	2,797	3,745	**54**	1,674	2,005	2,670	3,480	**130**	1,657	1,978	2,614	3,367
25	1,708	2,060	2,787	3,725	**55**	1,673	2,004	2,668	3,476	**140**	1,656	1,977	2,611	3,361
26	1,706	2,056	2,779	3,707	**56**	1,673	2,003	2,667	3,473	**150**	1,655	1,976	2,609	3,357
27	1,703	2,052	2,771	3,690	**57**	1,672	2,002	2,665	3,470	**200**	1,653	1,972	2,601	3,340
28	1,701	2,049	2,763	3,674	**58**	1,672	2,002	2,663	3,466	**250**	1,651	1,969	2,596	3,330
29	1,699	2,045	2,756	3,659	**59**	1,671	2,001	2,662	3,463	**300**	1,650	1,968	2,592	3,323
30	1,697	2,042	2,750	3,646	**60**	1,671	2,000	2,660	3,460	**350**	1,649	1,967	2,590	3,319

Значимость коэффициентов регрессии (a_i) также оценивается при помощи критерия Стьюдента:

$$t = \frac{a_i}{|S_a|} \geq t_{(n-2;p)} ,$$

где $S_y^2 = \sum_{1=1}^{n} \frac{(y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1}$ – дисперсия эксперимента;

$S_a = \frac{S_y}{\sqrt{n}}$ – среднее квадратическое отклонение оценки коэффициента a_i.

Если число опытов в каждой точке разное и равно k_i, число экспериментальных точек равно n, а общее число экспериментов во всех точках $N = \sum_{1}^{n} k_i$, то дисперсия эксперимента находится из формулы

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} \frac{(y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1}$$

Дисперсия оценки коэффициентов модели

$$S_a^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(\bar{y}_i - \hat{y})^2}{n}$$

Условие значимости соответствующего коэффициента a_i модели записывается в виде

$$t \geq t_{(n-2;p)}.$$

Пример

Определить значимость корреляционного отношения зависимости $\check{y} = 10 - 2x$, полученной после статистической обработки результатов эксперимента, приведенных в табл. 8.2.

Таблица 8.5

Критические значения критерия Стьюдента

Число степеней свободы	Уровень значимости 5 %	Уровень значимости 1 %
2	0,95	0,99
3	0,873	0,9587
4	0,811	0,917
5	0,754	0,875
6	0,707	0,934
7	0,666	0,798
8	0,632	0,765
9	0,602	0,735
10	0,576	0,708
20	0,423	0,537
50	0,273	0,354
100	0,195	0,254

$$S_y^2 = \left(\frac{0,34}{5} + \frac{0,02}{4} + \frac{0,08}{4} + \frac{0,08}{2}\right) = 0,198 \text{ , } S_a^2 = \left(\frac{0,01}{5} + \frac{0,01}{5} + \frac{0,01}{5} + \frac{0,01}{5}\right) = 0,008 \text{ .}$$

Корреляционное отношение находится по формуле

$$\eta = \sqrt{\frac{0,198 - 0,008}{0,198}} = 0,98 \text{ .}$$

Расчетное значение критерия Стьюдента находится из формулы

$$t = \frac{0,98\sqrt{(5-2)}}{\sqrt{1-0,98^2}} = 8,4 \text{ .}$$

Табличные значения критерия Стьюдента для вероятности 95 % приведены в табл. 8.5. При n–2=3, q = 95 %, $t_{кр}$<t, следовательно, корреляционное отношение значимо отличается от нуля.

Значимость коэффициентов модели $\check{y} = 10 - 2x$ т. е. $\check{y} = a_0 - a_1 x$ находится из формул:

$$S_a^2 = \frac{0{,}15}{5} = 0{,}03 \quad ,$$

$$S_a = 0{,}173,$$

$$t_0 = \frac{a_0}{|S_a|} = \frac{10}{0{,}173} \approx 57{,}9 > t_{(3;5\%)} = 0{,}873 \quad .$$

$$t_1 = \frac{a_1}{|S_a|} = \frac{2}{0{,}173} \approx 11{,}6 > t_{(3;5\%)} = 0{,}873 \quad ,$$

Так как табличные значения критерия Стьюдента при n – 2 = 3, q=95 %, $t_{кр}$=0,873 больше, чем расчетные, то оба коэффициента значимы.

4. Критерий Пирсона

Проверка соответствия полученного распределения теоретическому закону производится следующим образом:

1. Определяются значения интегральной функции на границе интервала $F(x_i)$.

2. Для данного интервала находится число случайных чисел:

$$n_i = \big(F(x_{i+1}) - F(x_i)\big)N, \qquad (1)$$

где N – суммарное количество смоделированных случайных чисел;

$F(x_i)$ – значение интегральной функции формулы [1] при $x = x_i$.

3. Определяется расчетная величина критерия Пирсона по формуле

$$\chi^2 = \sum \frac{\left(n_i - n_ф\right)^2}{n_i}, \qquad (2)$$

где $n_ф$ – фактические частоты (количество случайных чисел в соответствующем интервале).

4. Находится число степеней свободы

$$K = S - 1, \qquad (3)$$

где S – число интервалов распределения ($S_{\min} = 6$).

5. По табл. 8.6 для заданного уровня надежности $(p = 0{,}9 - 0{,}95)$ находится критическое значение критерия Пирсона $\chi^2_{\text{табл}}$. Если $\chi^2_{\text{табл}} > \chi^2$, то полученное распределение случайных величин соответствует выбранному закону распределения.

Таблица 8.6

Таблица χ^2 распределения

Число степеней свободы, *n*	Вероятность, *p*						
	0,001	0.005	0,01	0,02	0,025	0,05	0,1
1	0,0000016	0,000039	0,00016	0,00063	0,00098	0,004	0,016
2	0,002	0,010	0,020	0,040	0,051	0,103	0,211
3	0,024	0,072	0,115	0,185	0,216	0,352	0,584
4	0,091	0,207	0,297	0,429	0,484	0,711	1,064
5	0,210	0,412	0,554	0,752	0,831	1,145	1,610
6	0,381	0,676	0,872	1,134	1,237	1.635	2,204
7	0,598	0,989	1,239	1,564	1,690	2,167	2,833
8	0,857	1,344	1,646	2,032	2,180	2,733	3,490
9	1,152	1,735	2,008	2,532	2,700	3,325	4,168
10	1,479	2,156	2,558	3,059	3,247	3,940	4,865
11	1,834	2,603	3,053	3,609	3,816	4,575	5,578
12	2,214	3,074	3,571	4.178	4,404	5,226	6,304
13	2,617	3,565	4,107	4,765	5,009	5,892	7,042
14	3,041	4,075	4,660	5,368	5,629	6,571	7,790
15	3,483	4,601	5,229	5,985	6,262	7,261	8,547
16	3,942	5,142	5,812	6,614	6,908	7,962	9,312
16	3,942	5,142	5,812	6,614	6,908	7,962	9,312
17	4,416	5,697	6.408	7,255	7,564	8,672	10,085
18	4,905	6,265	7.015	7,096	8,231	9,390	10,865
19	5,407	6,844	7,633	8,567	8,907	10,117	11,651
20	5,921	7,434	8,260	9,237	9,591	10,851	12,443
21	6,447	8,034	8,897	9,915	10,283	11,591	13,240
2?	6,983	8,643	9,542	10,600	10,982	12,338	14,041
23	7,529	9,260	10,196	11,293	11,688	13,091	14,848

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Афанасьев А. И., Потапов В. Я. Математическая обработка результатов эксперимента: учеб. пос. Екатеринбург, УГГУ, 2016. 133 с.

Баловнев В. И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин. М.: Машиностроение, 1974. 231 с.

Барский Л. А., Козин В. З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. 486 с.

Веников В.А., Веников Г. В. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1984. 438 с.

Веников В. А. Теория подобия и моделирования к задачам электроэнергетики. М: Высшая школа, 1966. 486 с.

Гальянов А. В. Математическая обработка результатов измерений: учеб. пос. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 316 с.

Козин В. З., Пелевин А. Е. Теория инженерного эксперимента: учебн. пос. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 166 с.

Решетов Д. Н., Иванов А. С., Фадеев В. З. Надежность машин. М.: Высшая школа. 1988. 237 с.

Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1969. 511 с.

Федоров Д. И., Бондаревич Б. А. Надежность рабочего оборудования землеройных машин. М.: Машиностроение, 1981. 278 с.

Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 552 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ……. 3
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН ПО КРИТЕРЮ ПИРСОНА…….. 4
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2. РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ (СВ) …… 7
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3. РОТОТАБЕЛЬНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ПЛАН……. 9
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3…… 13
ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 3…… 15
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4. ПАРНАЯ РЕГРЕССИЯ…….. 22
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 4…… 28
ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 4…… 29
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5. ПАРНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ…… 32
ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 5…… 36
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6 (ИНДИВИДУАЛЬНАЯ РАСЧЕТНАЯ РАБОТА)…… 42
ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 6 …….. 52
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 7. РАСЧЕТ СКРЕПЕРНОЙ ЛЕБЁДКИ……. 59
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 8. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ …….. 68
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ…….. 78

Учебное издание

Анатолий Ильич Афанасьев
Валентин Яковлевич Потапов
Петр Андреевич Костюк

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Учебно-методическое пособие для практических занятий и контрольных работ по дисциплине «Математическая обработка результатов эксперимента» для студентов специализации «Горные машины и оборудование» направления 21.05.04 – «Горное дело»

Редактор *В. В. Баклаева*

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16
Печать на ризографе. Гарнитура Times New Roman.
Печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 4,65. Тираж 180 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Направление подготовки
21.05.04 Горное дело

Направленность (профиль):
«Горные машины и оборудование»
квалификация выпускника: **специалист**

Автор: Потапов В.Я.

Одобрена на заседании кафедры
Горной Механики
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)
Макаров Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 179 от 18.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…6

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

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 устудентов 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 знании 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 лекций, практическихзанятий 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 - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов 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 «*Математическая обработка результатов эксперимента* » обращают 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 сдаче *зачета(экзамена)*.

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 «*Математическая обработка результатов эксперимента* » являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету(экзамену).

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Тема 1 Основные виды экспериментальных исследований

1. Что является целью качественного эксперимента?
2. Цель масштабного, аналогово, полунатурного и математического моделирований
3. Что такое случайная величина?
4. Что такое случайная величина?
5. Запишите дифференциальную функцию распределения, т.е. плотность вероятности $f(x)$ равномерно распределенной величины?
6. Запишите дифференциальную функцию распределения, т.е. плотность вероятности $f(x)$ нормально распределенной величины?
7 Запишите дифференциальную функцию распределения, т.е. плотность вероятности $f(x)$ экспоненциально распределенной величины?
8. Вид интегральной функции распределенной величины по закону Вейбулла?
9. Вид интегральной функции распределенной величины по закону Рэлея?
10. По какому критерию производится проверка соответствие полученного на ПВЭМ распределения теоретическому?

Тема 2 Основы теории подобия

1. Перечислите основные величины используемые в теории подобия?
2. Запишите размерность скорости через размерности основных величин?
3. Перечислите виды подобия?
4. Сформулируйте **перваю теорему подобия** (теорема Ньютона или Ньютона—Бертрана).
5. Сформулируйте ***вораю теорема подобия-*** Букингема.
6. Сформулируйте ***третья теорема подобия*** именуется также обратной теоремой подобия или теоремой Кирпичева — Гухмана.
7. Поясните основные задачи теории подобия?
8. Виды математического подобия.
9. Запишите критерий Фруда через подобие при движении тела в жидкости?

10. Основные уравнения подобие вентилятора?

Тема 3 Регрессионный анализ

1. По какой формуле находится математическое ожидание x случайной величины ?
2. Какая формулы позволяет найти дисперсия D случайной величины?
3.Что такое корреляция, парная корреляция?
4. Какими показателями производится оценка тесноты связи между двумя случайными величинами?
5.Расскажите, какие существуют виды корреляционных зависимостей между случайными величинами?
6.Что такое корреляционное отношение и его свойства?
7. Назовите условия использования множественной корреляции?
8.Какой геометрический смысл у коэффициентов линейной функции $\overline{y_i} = a_0 + a_1 x_1$?
9.Расскажите , как определяются коэффициенты нелинейной модели методом наименьших квадратов $\overline{y_i} = a_0 + a_1 x_i + a_{11} x_i^2$?
10. Расскажите , как определяются коэффициенты линейной модели методом наименьших квадратов $\overline{y_i} = a_0 + a_1 x_1$?

Тема 4 Основы теории планирования эксперимента

1. Расскажите , на чем основаны методы планирования экспериментов ?
2. Что позволяет оценивать полный факторный эксперимент (ПФЭ)?
3. Как формируются интервала варьирования для упрощения записи условий эксперимента и обработки экспериментальных данных в ПФЭ?
4. Составьте матрицу ПФЭ 2^2 ?
5. Составьте матрицу ПФЭ 2^3 ?
6. Расскажите о свойствах матрицы ПФЭ?
7. Какой вид имеет матрица центрально-композиционного планирования?
8. Какие критерии используются для оценки математических моделей?
9. По какому критерию проверяется адекватность математических моделей?
10. Что проверяется по критерию Кохрена?

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 К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных

источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

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.

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 К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольная работа – это письменная работа, выполняемая студентами самостоятельно, преимущественно по общим математическим и естественно-научным, а также специальным дисциплинам, в которой, как правило, решаются конкретные задачи.

Цель контрольной работы – оценка качества усвоения студентами отдельных, наиболее важных разделов, тем и проблем изучаемой дисциплины, умения решать конкретные теоретические и практические задачи.

Контрольная работа, как правило, имеет аналитическую или описательную части, может решать проблемные ситуации путем проведения численного моделирования или расчетов, в том числе с использованием ПК. По типу они могут иметь характер задач, расчётов, алгоритмов, программ и т.п.

Контрольные работы выполняются студентами самостоятельно в соответствие с учебным планом.

Структура контрольной работы зависит от специфики изучаемой дисциплины. В общем виде контрольная работа должна содержать: титульный лист, введение, основную часть и заключение.

Во введении приводится формулировка контрольного задания, кратко излагается цель контрольной работы, место и роль рассматриваемого вопроса (проблемы) в изучаемой учебной дисциплине.

Основная часть контрольной работы должна, как правило, содержать основные определения, обоснования и доказательства, описание методики расчёта (формулы), а также иметь ссылки на используемые источники информации. Материал работы и ее отдельные положения должны быть взаимосвязаны. Основная часть может также включать анализ теории вопроса по теме контрольной работы. Здесь же приводятся исходные данные и значения параметров в соответствии с заданием на контрольную работу. После этого излагается ход рассуждений, описывается последовательность расчётов, приводятся промежуточные доказательства и результаты решения всей поставленной задачи.

В заключении формулируются краткие выводы по выполненной контрольной работе, а в её конце приводится список использованных источников информации.

Контрольные работы обучающихся выполняются согласно учебному графику и сдаются преподавателю за месяц до защиты контрольной работы. Преподаватель делает отметку о приеме работы в графике сдачи контрольных работ.

Ведущий преподаватель после проверки на титульном листе ставит оценку («зачтено» или «не зачтено») и подписывается. Выявленные в ходе проверки преподавателем замечания фиксируются на полях работы. Контрольные работы, выполненные с нарушением установленных требований, а также их ксерокопии к рассмотрению не принимаются.

Типичными ошибками, допускаемыми обучающихся при подготовке контрольной работы, являются:

– содержание работы не соответствует цели и поставленным задачам контрольной работы;

– нарушение требований к оформлению контрольной работы;

– использование информации без ссылок на источник;

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету(экзамену)*по дисциплине *«Математическая обработка результатов эксперимента»* 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 *«Математическая обработка результатов эксперимента»*.

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(экзамене)*особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подоб-

ные 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(экзамене)*(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(экзамену)* 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.т.н., доцент

_____ Н.В. Макаров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

Б1.В.Д В.01.02 ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 9

Горные машины и оборудование

квалификация выпускника: **горный инженер**

форма обучения: очная, заочная

Автор: Автор: Потапов В.Я., профессор, д.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Горной механики
(название кафедры)
Протокол № 8 от № 170 от 04.05.2019
(Дата)

Екатеринбург 2019

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….…….....3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..4
Содержание контрольной работы…….....5
Пример выполнения работы.....5
Выполнение работы над ошибками……...…7
Критерии оценивания контрольной работы …….7
Образец титульного листа …….….8

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины: дать представление об основных методах и подходах для проведения эксперимента и моделирования случайных процессов и динамических систем горных машин, о теоремах и критериях подобия, научить решать широкий класс задач, подготовить понятийную базу для освоения различных курсов по специальности, сформировать общекультурные общепрофессиональные и профессионально специализированные навыки

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

общекультурные

способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);

общепрофессиональные

умением пользоваться компьютером как средством управления и обработки информационных массивов (ОПК-7)

профессионально-специализированные

способностью выбирать способы и средства мониторинга технического состояния горных машин и оборудования для их эффективной эксплуатации (ПСК-9.3)

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- овладеть теоретическими и методическими основами проведения экспериментальных исследований;
- приобретение знаний по основам статистической обработки результатов экспериментальных исследований и оценки их достоверности.
- формирование у обучающихся способностей непосредственного участия в технологическом перевооружении действующих производств

Методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по специальности *21.05.04 Горное дело.*

Письменная контрольная работа является обязательной формой *промежуточной аттестации.* Она отражает степень освоения студентом учебного материала по дисциплине Б1.В.Д В.01.02 Основы научных исследований

результатов эксперимента. А именно, в результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

-основные теоремы подобия процессов;

-законы распределения случайных величин;

-статистические проверки гипотез;

-основы теории планирования эксперимента и математические модели;

-основы имитационного моделирования.

уметь:

-находить критерии подобия процессов горных машин;

-моделировать на ПЭВМ случайные события;

-находить коэффициенты регрессии математических моделей.

владеть:

-измерениями механических величин, характеризующих рабочие процессы горных машин;

-моделированием рабочих процессов основных горных машин;

-основными программами ПЭВМ, описывающими рабочие процессы горных машин.

-навыками самостоятельного овладения новыми знаниями, используя современные образовательные технологии, активные и интерактивные методы обучения

Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в печатном виде, 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 Математическая обработка результатов эксперимента представлено двадцать пять вариантов контрольной работы.

Номер варианта контрольной работы определяется для студентов в соответствии с начальными буквами их фамилий в алфавитном порядке (см. таблицу №1).

Таблица №1

№	y_i	-10	-5	-4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	9	10	20
1			0,41	0,87	1,84	3,04	5,03	8,25	10,4							
2			0,24	0,48	1,98	3,96	8,02	16,2	32,5							
3						6,03	9,01	13,4	20,1	30.0	44,5	66,5				
4					0,27	0,9	2,99	10	33	109	360					
5				0,03	0,42	1,73	7,02	28,4	115	469						
6				164	18	6,01	1,99	0,66	0,22	0,07						
7				146	24,1	9,85	4,03	1,63	0,66	0,27						
8			312	147	27,1	13,4	5,98	2,69	1,34							
9				88	26,6	14,5	8,03	4,41	2,41	1,33	0,73					
10		240	65,3	39,8	21,8	16,2	12	8,88								
11				0,59	1,29	2,01	3,03	4,5	6,75	10,2						
12				0,25	1,01	2,01	3,99	8,01	16	31,9						
13				0,13	0,96	1,99	5	12,5	31,2	77,1						
14				0,26	0,78	2,33	6,99	21,01	63	189						
15				0,04	0,49	1,72	6,09	21,5	73,5	252						
16				71,5	28,2	17,6	10,9	6,87	4,3	2,68						
17				105	32,4	18,1	9,99	5,55	3,08	1,73						
18					43,5	19,8	9,01	4,1	1,66	0,84	0,38					
19					46	19,2	7,98	3,34	1,39	0,57	0,24					
20					81,2	31,2	11,9	4,23	1,77	0,68	0,26					
21								-11,1	0,99	5	7,01	8,21	9	10,3	11	11,8
22								42	70,1	98	126	154	162			
23								-14,9	0,01	5,01	7,5	9,02	10			
24								-19,9	2,01	4,01	7	8,81	10			
25								-23	-3	3,71	7,01	9,01	10			

Содержание контрольной работы

Контрольная работа по теме № 3

Парная нелинейная регрессия

Задание : По данным построить зависимость y=f(x), определить наиболее подходящий вид кривой и определить коэффициенты модели.

Определить вид зависимости и коэффициенты нелинейной регрессии, а также корреляционное отношение по данным, приведенным ниже в таблице (в каждой точке было произведено по три опыта и получено три различных значения целевой функции «y»).

Таблица.1

xi	yi1	yi2	yi3
1	1,98	2,0	2,02
1,5	8,33	8,27	8,3
2	22,75	22,8	22,85
2,5	50,2	49,8	50,0

Решение:

1. Определим средние значения целевой функции $\bar{y}_i$ в каждой строке и построим ориентировочно линию регрессии $y = f(x)$

$$\bar{y}_1 = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} = (1{,}98 + 2{,}0 + 2{,}02/3) = 2{,}0$$
$$\bar{y}_2 = (8{,}31 + 8{,}29 + 8{,}3/3) = 8{,}3 \quad (1)$$
$$\bar{y}_3 = (22{,}79 + 22{,}8 + 22{,}81/3) = 22{,}8$$
$$\bar{y}_4 = (50{,}2 + 49{,}8 + 50{,}0/3) = 50{,}0$$

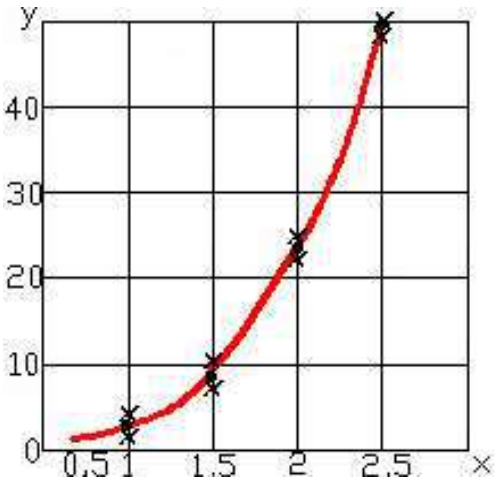


Рис. 1. Корреляционное поле и линия регрессии

В первом приближении линию регрессии можно описать степенным уравнением вида

$$y = A \cdot X^{B} \tag{2}$$

Сравнивая средние значения целевой функции в строках видно, что показатель степени B в уравнении (2) больше 3, но меньше 4, так как при увеличении x1=1 до x3=2, ($y = A \cdot X^{B}$) возрастает больше чем в 8 раз, но меньше чем в 16 раз.

2. Произведем линеаризацию уравнения (2) в виде $y = a_0 + a_1 \cdot x$, для чего прологарифмируем его и обозначим

$$\lg y = \lg A + B \lg x$$
$$\lg y = Z;\ \lg A = a_0;\ B = a_1;\ \lg x = x_1 \tag{3}$$

Таким образом, получим линейное уравнение вида

$$Z = a_0 + a_1 \cdot x_1 \tag{4}$$

Для вычислений коэффициентов регрессии целесообразно составить новую таблицу 2:

№	Xi	y			$\bar{y}_i$	Xi1	Zi	$Z_i \cdot X_{i1}^2$	X_{i1}^2	$\hat{y}_i$	$\sum_1^3 \left(\frac{y_i + \bar{y}_i}{3}\right)^2$	$\left(\bar{y}_i + \hat{y}_i\right)^2$
		yi1	yi2	yi3								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1,98	2,0	2,02	2,0	0	0,3	0	0	2,0	0,00026	0
2	1,5	8,33	8,27	8,3	8,3	0,177	0,92	0,163	0,031	8,32	0,0006	0,0004
3	2	22,75	22,8	22,85	22,8	0,3	1,357	0,406	0,09	22,9	0,00166	0,0100
4	2,5	50,2	49,8	50,0	50,0	0,4	1,70	0,680	0,16	49,9	0,01333	0,0100
Σ						0,877	4,277	1,249	0,281		0,01585	0,0204

3. Запишем систему уравнений

$$\begin{cases} \sum_1^4 Z_i = N \cdot a_0 + a_1 \sum_1^4 X_{i1} \\ \sum_1^4 Z \cdot X_{i1} = a_0 \sum_1^4 X_1 + a_1 \sum_1^4 X_{i1}^2 \end{cases} \Rightarrow \quad \begin{cases} 4{,}28 = 4a_0 + 0{,}877a_1 \\ 1{,}25 = 0{,}877a_0 + 0{,}281a_1 \end{cases} \tag{5}$$

Решая систему уравнений (5) получим: $a_1 = 3{,}51$; $a_0 = 0{,}3$.
Определим значения неизвестных в уравнении (3) B = 3,51;

$$a_0 = \ln A \Rightarrow A = 2$$

Таким образом регрессионное уравнение (1) имеет вид:

$$y = 2 \cdot X^{3{,}51} \tag{6}$$

В первом приближении, линию регрессии можно описать уравнением вида значения «$\hat{y}$» и заносим их в 11-й столбец таблицы 2.

4. Определим дисперсию результатов эксперимента ($\sigma_Э^2$) и дисперсию адекватности (σ_A^2):

$$\sigma_Э^2 = \sum_{i=1}^{4}\left[\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{4}\left(y_{ij} - \bar{y}_i\right)^2\right] = 158{,}5\cdot 10^{-4}$$
$$\sigma_A^2 = \frac{1}{k}\sum_{1}^{4}\left(\bar{y}_i - \hat{y}\right)^2 = \frac{0{,}0204}{4} = 51\cdot 10^{-4} \quad (7)$$

4. Находим корреляционное отношение

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_\sigma^2 - \sigma_A^2}{\sigma_\sigma^2}} = \sqrt{\frac{158{,}5\cdot 10^{-4} - 51\cdot 10^{-4}}{158{,}5\cdot 10^{-4}}} \approx 0{,}825 \quad (8)$$

Вывод: Между целевой функцией «х» и входным параметром «у» имеется существенная связь.

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

Критерии оценки контрольной работы	*Количество баллов*
Правильность выбора расчетных формул	0-2
Верность выполнения расчетов	0-2
Правильность записи единиц измерения	0-1
Итого	0-5

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»:

5баллов(90-100%) - оценка «отлично»

4 балла(70-89%) -оценка «хорошо»

3 балла (50-69%)- оценка «удовлетворительно»

0-2 балла (0-49%) - оценка «неудовлетворительно»

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра горной механики

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине
ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Горные машины и оборудование

формы обучения: очная, заочная

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа ГМО-18

Преподаватель: Петров Петр Петрович,
к. т. н, доцент

Екатеринбург
2019

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.В.ДВ.02.01 ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

Направление подготовки
21.05.04 Горное дело
Направленность (профиль)/ специализация №9
Горные машины и оборудование

квалификация выпускника: **специалист**
Направление подготовки/ специальность
21.05.04 Горное дело

Направленность (профиль)/ специализация № 9
Горные машины и оборудование
форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: Горшков Э.В., доцент, к.т.н.

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрены методической комиссией факультета
Эксплуатации горного оборудования	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Симисинов Д.И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 7 от 04.06.2019	Протокол №10 от 20.06.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…6

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

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 знании 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 лекций, 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 - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов 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 «Диагностика и мониторинг состояния горных машин» обращают 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 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 «Диагностика и мониторинг состояния горных машин» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Тема1. Классификация дефектов деталей машин. Обнаружение и поиск дефектов.

1.Какие формы проявления неработоспособности горных машин *вы знаете?*
2.Назовите основные причины, приводящие к потере работоспособности горного оборудования в процессе его эксплуатации*?*
3.Классификация видов изнашивания?
4.Методы измерения износа и пути снижения интенсивности изнашивания горных машин?
5.Основные закономерности изнашивания?
6.Допустимый и предельный износ?
7.Дефекты, возникающие в процессе эксплуатации горного оборудования?
8.Причины разрушений и анализ поверхностей разрушения деталей?
9. Меры по предупреждению разрушения деталей машин.
10.Методы и средства обнаружения дефектов.

Тема 2. Основные этапы внедрения технической диагностики в систему ТО и ремонта машин. Роль мониторинга при эксплуатации горного оборудования.

1.Диагностика, как основа ТО и ремонта машин по их фактическому техническому состоянию?
2.Физические основы технической диагностики?
3.Термины и определения технической диагностики?
4.Какие процессы могут быть использованы в качестве диагностического сигнала?
5.Каким требованиям должен удовлетворять выходной сигнал при использовании его в качестве диагностического?
6.Какие задачи должны быть решены при внедрении системы диагностирования на предприятии?
7.Требования к оборудованию, переводимому на техническое диагностирование.
8.Последовательность и методика проведения работ по оснащению оборудования средствами ТД.

9.Когда применяется тестовое и функциональное диагностирование?
8. Классификация диагностических средств и основные требования к ним?
9. Классификация датчиков и область их применения?
10. Что дает использование мониторинга при эксплуатации горного оборудования?

Тема 3. Плановое и причинное диагностирование.

1. Основные операции составляющие технологический процесс диагностирования?
2.Порядок выполнения работ по диагностике при плановом техническом обслуживании?
3.Диагностирование при возникновении неисправностей в процессе эксплуатации?
4. Рекомендации по установлению вида и объема ремонтно-обслуживающих работ по результатам диагностирования?
5.Цели и задачи математического моделирования технологических процессов в горном производстве?
6. Основные этапы моделирования?
7. Каким образом производится оценка адекватности и полезности модели?
8. Основные требования к математическим моделям объекта технического диагностирования?
9.Что позволяет устанавливать и осуществлять использование диагностики и мониторинга?
10. Каким образом может быть решена задача оптимизации параметров горного оборудования путем выбора значений параметров и принятия решений?

Тема 4. Нормирование и нормативы диагностических параметров.

1.Классификация и выбор диагностических параметров.
2.Субъективные и объективные методы диагностирования?
3.Номинальные, предельные и допустимые значения диагностических и структурных параметров?
4.Основной документ в который заносятся результаты диагностирования?
5.Каким образом разрабатываются нормативные данные по диагностике?
6.Совершенствование организации ТО и ремонта машин с применением диагностики.
7.Периодичность диагностирования.
8.Какие факторы оказывают влияние на эффективность использования средств диагностирования?
9.Какова экономическая эффективность от внедрения средств диагностирования горных машин?
10.Пути повышения эффективности диагностирования.

Тема 5. Прогнозирование износа деталей и технического состояния машин.

1. Каким образом осуществляется прогнозирование технического состояния машин?
2.Методика прогнозирования износа деталей машин.
3.Технологические методы обеспечения долговечности машин.
4.Эксплуатационные методы обеспечения долговечности машин.
5.Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя детали.
6.Эксплуатационные методы управления техническим состоянием промышленного оборудования.
7.Восстановление утраченной работоспособности машин в период производства текущих и капитальных ремонтов.
8.Повышение ресурса промышленного оборудования путем применения системы мониторинга.

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 К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на 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 К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольная работа – это письменная работа, выполняемая студентами самостоятельно, преимущественно по общим математическим и естественно-научным, а также специальным дисциплинам, в которой, как правило, решаются конкретные задачи.

Цель контрольной работы – оценка качества усвоения студентами отдельных, наиболее важных разделов, тем и проблем изучаемой дисциплины, умения решать конкретные теоретические и практические задачи.

Контрольная работа, как правило, имеет аналитическую или описательную части, может решать проблемные ситуации путем проведения численного моделирования или расчетов, в том числе с использованием ПК. По типу они могут иметь характер задач, расчётов, алгоритмов, программ и т.п.

Контрольные работы выполняются студентами самостоятельно в соответствие с учебным планом.

Структура контрольной работы зависит от специфики изучаемой дисциплины. В общем виде контрольная работа должна содержать: титульный лист, введение, основную часть и заключение.

Во введении приводится формулировка контрольного задания, кратко излагается цель контрольной работы, место и роль рассматриваемого вопроса (проблемы) в изучаемой учебной дисциплине.

Основная часть контрольной работы должна, как правило, содержать основные определения, обоснования и доказательства, описание методики расчёта (формулы), а также иметь ссылки на используемые источники информации. Материал работы и ее отдельные положения должны быть взаимосвязаны. Основная часть может также включать анализ теории вопроса по теме контрольной работы. Здесь же приводятся исходные данные и значения параметров в соответствии с заданием на контрольную работу. После этого изла-

гается ход рассуждений, описывается последовательность расчётов, приводятся промежуточные доказательства и результаты решения всей поставленной задачи.

В заключении формулируются краткие выводы по выполненной контрольной работе, а в её конце приводится список использованных источников информации.

Контрольные работы обучающихся выполняются согласно учебному графику и сдаются преподавателю за месяц до защиты контрольной работы. Преподаватель делает отметку о приеме работы в графике сдачи контрольных работ.

Ведущий преподаватель после проверки на титульном листе ставит оценку («зачтено» или «не зачтено») и подписывается. Выявленные в ходе проверки преподавателем замечания фиксируются на полях работы. Контрольные работы, выполненные с нарушением установленных требований, а также их ксерокопии к рассмотрению не принимаются.

Типичными ошибками, допускаемыми обучающихся при подготовке контрольной работы, являются:

– содержание работы не соответствует цели и поставленным задачам контрольной работы;

– нарушение требований к оформлению контрольной работы;

– использование информации без ссылок на источник;

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «Диагностика и мониторинг состояния горных машин» 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 «Диагностика и мониторинг состояния горных машин».

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.

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Г. А. Боярских, И. Г. Боярских

НАДЁЖНОСТЬ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Методические указания
к практическим занятиям
и самостоятельной работе студентов
специальности
150402 - «Горные машины и оборудование»
(ГМО) направления
150400 – «Технологические машины
и оборудование»

Екатеринбург
2009

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
“Уральский государственный горный университет”

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета
«___»_____2009 г.
Председатель комиссии
_____проф. В. П. Барановский

Г. А. Боярских, И. Г. Боярских

НАДЁЖНОСТЬ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Методические указания
к практическим занятиям
и самостоятельной работе студентов специальности
150402 - «Горные машины и оборудование» (ГМО)
направления
150400 – «Технологические машины
и оборудование»

3-е изд., испр. и доп.

Издание УГГУ Екатеринбург, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЗАДАЧА № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ **4**

ЗАДАЧА № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ЕДИНИЦЫ НАРАБОТКИ В РЕМОНТНОМ ЦИКЛЕ **7**

ЗАДАЧА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ МАШИНЫ ПО МИНИМАЛЬНОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ЕДИНИЦЫ НАРАБОТКИ ЗА РЕМОНТНЫЙ ЦИКЛ 16

ЗАДАЧА № 4. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ **26**

ЗАДАЧА № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН **36**

ЗАДАЧА 6. КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ **40**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 45

ПРИЛОЖЕНИЕ 46

Таблица П.1. Значение функции 46

Таблица П.2. Значение гамма-функции 46

Таблица П.3 Значение плотности вероятности 47

Таблица П.4 Выбор номенклатуры нормируемых показателей надежности технических устройств 48

Таблица П.5 Выбор нормируемых показателей 48

ТЕСТИРОВАНИЕ УРОВНЯ УСВОЕНИЯ ЛЕКЦИЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНО ИЗУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ 49

ЗАДАЧА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ

Количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта, называется *показателем надежности.*

Большинство объектов горного машиностроения являются восстанавливаемыми и ремонтируемыми.

К невосстанавливаемым объектам относятся те, работоспособность которых в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации. К таким объектам относятся: подшипники качения, зубчатые передачи, буровой инструмент, канаты экскаваторов и буровых машин, пружины, уплотнения, приводные ремни и др. Конечно, почти все эти объекты могут быть отремонтированы в определенных условиях, но восстановление работоспособности машины производится путем замены вышедших из строя элементов другими и поэтому время, необходимое на ремонты этих изделий, не может влиять на надежность машины в целом.

Показателями надежности невосстанавливаемых объектов являются:

- вероятность безотказной работы;
- вероятность отказа;
- частота отказа;
- интенсивность отказа;
- средняя наработка на отказ.

Зависимости между этими показателями даны в статистической форме в табл. 1.1.

Для восстанавливаемых объектов показателями надежности являются:

$P_{(t)} = \dfrac{N_{(t)}}{N_{\text{о}}}$ - вероятность безотказной работы;

$T_{\text{о}} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{ср}i}\Delta n_i}{N}$ - средняя наработка на отказ;

$\omega_{(t)} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}\Delta n_i}{N_{\text{о}} \cdot \Delta t}$ - параметр потока отказа;

$T_{\text{в}} = \dfrac{\sum_{i=1}^{m} t_{\text{в}i}}{m}$ - среднее время восстановления;

$P_{(t_в)} = 1 - e^{\frac{t_{з,}}{t_в}}$ - вероятность восстановления в заданное время;

$K_г = \frac{T_о}{T_о + T_в}$ - коэффициент готовности;

$K_{ти} = \frac{T_{сум}}{T_{сум} + T_{рем} + T_{об}}$ – коэффициент технического использования.

где t_i – наработка до i-го отказа при испытании N объектов;

Δn_i – количество отказов i-го объекта за время Δt;

t_{Bi} – время поиска и устранения i-го отказа;

m – число восстановленных объектов;

$t_з$ – время восстановления, заданное техническими условиями;

$T_{сум}$ – суммарная наработка всех исследуемых объектов;

$T_{рем}$ – суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов;

$T_{об}$ – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов.

$T_о : T_{рем} : T_{ТО} = 1 : 0{,}4 : 0{,}05$

Таблица 1.1

Зависимости между показателями надежности

	$P_{(t)}$	$F_{(t)}$	$f_{(t)}$	$\lambda_{(t)}$
$P_{(t)}$	$\frac{N_{(t)}}{N_о}$	$1 - F_{(t)}$	$\frac{f_{(t)}}{\lambda_{(t)}}$	$\frac{f_{(t)}}{\lambda_{(t)}}$
$F_{(t)}$	$1 - P_{(t)}$	$\frac{n(t)}{N_о}$	$1 - \frac{f_{(t)}}{\lambda_{(t)}}$	$1 - \frac{f_{(t)}}{\lambda_{(t)}}$
$f_{(t)}$	$P_{(t)} \cdot \lambda_{(t)}$	$(1 - F_{(t)}) \cdot \lambda_{(t)}$	$\frac{\Delta n}{\Delta t \cdot N_о}$	$P_{(t)} \cdot \lambda_{(t)}$
$\lambda_{(t)}$	$\frac{f(t)}{P(t)}$	$\frac{f(t)}{1 - F(t)}$	$\frac{f(t)}{P(t)}$	$\frac{N_{(t)} - N_{(t+\Delta t)}}{N_{(t)} \cdot (t+\Delta t)}$
$T_{ср}$	$\frac{P(t)}{f(t)}$	$\frac{1 - F(t)}{f(t)}$	$\frac{P(t)}{f(t)}$	$\frac{1}{\lambda_{(t)}}$

Примечание:

$N_{(t)}$ – число объектов, безотказно проработавших до момента времени (t);

$N_о$ – число объектов, работоспособных в начальный момент времени $t = 0$;

$n_{(t)}$ – количество объектов, отказавших к моменту времени t;

Δt – некоторый малый интервал времени;

Δn – количество объектов, отказавших за время Δt;

$N_{(t+\Delta t)}$ - число объектов, безотказно проработавших до момента $(t + \Delta t)$

Задача для самостоятельного решения

На испытание поставлено N изделий. За интервалы времени вышло из строя $n_{(\Delta t)}$ изделий. Определить для каждого интервала показатели надежности, свести их в таблицу и построить графики показателей надежности в зависимости от времени испытания.

Таблица 1.2

Условия для самостоятельного решения

Вариант	Количество отказавших изделий, Δn_i								
	ширина интервала (Δt_i), ч								N
	500 600	600 700	700 800	800 900	900 1000	1000 1100	1100 1200	1200 1300	
1	4	10	30	51	47	36	23	3	204
2	3	11	31	52	49	37	22	5	210
3	5	12	29	53	49	32	17	3	200
4	5	12	31	54	45	30	18	5	200
5	4	9	32	55	50	28	20	4	202
6	3	12	33	56	45	32	17	4	202
7	4	13	35	57	51	29	16	5	210
8	5	15	37	58	52	21	19	3	210
9	5	14	36	57	51	32	21	4	220
10	5	7	21	65	81	22	5	4	210
11	4	8	21	66	75	22	9	5	210
12	5	9	30	61	58	31	11	5	210
13	3	14	35	60	50	20	12	6	200
14	4	10	28	55	45	35	25	8	210
15	5	12	30	54	45	30	20	4	200
16	4	13	32	55	47	28	17	4	200
17	4	12	31	60	50	26	12	5	200
18	5	13	33	58	54	27	6	4	200
19	6	12	29	52	56	29	11	5	200
20	6	15	35	55	45	25	14	5	200
21	5	16	34	52	46	27	15	5	200
22	4	13	33	53	48	29	16	4	200
23	5	12	28	54	49	28	19	5	200
24	5	14	30	50	49	31	18	3	200
25	3	12	33	57	52	28	10	5	200

Вопросы:

1. Какое свойство надежности отражают рассчитанные в задаче показатели?
2. Какие единицы измерения имеют рассмотренные показатели?

3. Как определить среднюю наработку на отказ по их вероятности в заданном интервале времени наблюдения аналитически и на графиках изменения значений P_t.

4. Какими показателями оценивается надёжность невосстанавливаемых изделий?

ЗАДАЧА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ЕДИНИЦЫ НАРАБОТКИ В РЕМОНТНОМ ЦИКЛЕ

Дифференциальная (Z_{dm}), интегральная (Z_{im}) себестоимость единицы наработки при любом числе *m* межремонтных периодов за ремонтный цикл.

$$Z_{dm} = \frac{K_{di} + T_{di} + Э_{di}}{l_{di}},\ Z_{im} = \frac{\sum_{i=1}^{m} K_{di} + \sum_{i=1}^{m} T_{di} + \sum_{i=1}^{m} Э_{di}}{\sum_{i=1}^{m} l_{di}},$$

где K_d - затраты на капитальный ремонт, отнесенные ко всем межремонтным периодам;

K_{di} - затраты на капитальный ремонт в отдельном межремонтном периоде;

T_{di} - дифференциальные затраты на плановый текущий ремонт;

$Э_{di}$ - дифференциальные эксплуатационные расходы за межремонтный период;

l_{di} - дифференциальные наработки за межремонтный период;

$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$ - интегральная (накопленная) наработка с начала эксплуатации;

m - число межремонтных периодов;

$\sum_{i=1}^{m} K_{di}$ - интегральные (накопленные) затраты на капитальный ремонт с начала эксплуатации;

$\sum_{i=1}^{m} T_{di}$ - интегральные (накопленные) затраты на плановый текущий ремонт;

$\sum_{i=1}^{m} Э_{di}$ - интегральные (накопленные) эксплуатационные расходы за межремонтный период.

По расчетным данным таблицы построить графики зависимостей

$$Z_{di} = f(l_{di});\ {}^{K_{di}}\!/_{l_{di}} = f(l_{di});\ {}^{Э_{di}}\!/_{l_{di}} = f(l_{di});\ {}^{T_{di}}\!/_{l_{di}} = f(l_{di});$$

$$\sum_{i=1}^{n} K_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di} = f(l_{di});\ \sum_{i=1}^{n} Э_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di} = f(l_{di});\ \sum Z_{di} = f(l_{di});$$

см. пример,

$\sum_{i=1}^{n} T_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di} = f(l_{di})$ - рис. 2.2

На основании графической интерпретации результатов расчета произвести технико-экономический анализ изменения указанных функций в виде письменных ответов на следующие вопросы:

а) объём работы или число межремонтных периодов между ближайшими капитальными ремонтами.

б) объём работы между ближайшими текущими ремонтами.

1. Какая из кривых $Z_{d_m} = f(l_{di})$ или $Z_{i_m} = f\left(\sum_{i=1}^{m} l_{di}\right)$ учитывает удельные затраты на эксплуатацию и ремонт в предшествующий период использования оборудования?

2. Соответствует ли заданная периодичность текущих ремонтов изменению себестоимости ремонта составляющих затрат за ремонтный цикл?

3. Что следует считать критерием оптимизации периодичности текущего ремонта?

4. Какие условия изменения себестоимости и составляющих удельных затрат необходимо принять за основу оптимизации межремонтного периода и ремонтного цикла?

5. Какие параметры системы ремонта оборудования оказывают влияние на характер изменения себестоимости ремонта и его составляющих элементов за ремонтный цикл ?

6. Какова величина наработки за ремонтный цикл, есть ли предпосылки для ее изменения?

7. В какой стадии износа (интенсивности отказов) находится оборудование?

Исходные данные

Вариант 1 - станок НКР100, $K_d = 2300$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	200	300	400	440	550
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	2400	2260	1880	1700	1490	1530
l_{di}, *у. е.*	1665	1550	1275	1085	933	930
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	1665	3215	4490	5575	6508	7438

Вариант 2 - погрузочная машина, $K_d = 3600$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	200	300	400	440	550
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	2400	2260	1880	1700	1490	1530
l_{di}, *у. е.*	1665	1550	1275	1085	933	930
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	1665	3215	4490	5575	6508	7438

Вариант 3 - компрессор, $K_d = 4800$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды						
	1	2	3	4	5	6	7
T_{di}, *тыс. руб.*	0	550	650	800	950	1050	2000
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	2300	2100	1900	1650	1300	900	750
l_{di}, *у. е.*	1200	1050	960	800	650	560	480
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	1200	2250	3210	4010	4760	5220	5700

Вариант 4 - буровая каретка, $K_d = 3700$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды						
	1	2	3	4	5	6	7
T_{di}, *тыс. руб.*	0	150	180	195	210	225	260
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1500	1200	1050	900	750	600	450
l_{di}, *у. е.*	3500	3250	3000	2800	2650	2220	1950
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	3500	6750	9750	12550	15200	17420	19370

Вариант 5 – дробилка, $K_d = 4100$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{di}, *тыс. руб.*	0	120	150	210	230	340	460	480
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1800	1600	1450	1360	1220	1150	1050	900
l_{di}, *у. е.*	2100	1900	1650	1500	1250	1150	950	750
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	2100	4000	5650	7150	8400	9550	10500	11250

Вариант 6 - мельница, $K_d = 12300$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{di}, *тыс. руб.*	0	550	700	850	1050	1250	1350	1500
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	5100	5700	5950	6100	6350	6480	6550	6700
l_{di}, *у. е.*	5600	5450	5300	5150	4900	4750	4600	4300
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	5600	11050	16350	21500	26400	31150	35750	40050

Вариант 7 - станок НКР100, $K_d = 2500$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	250	300	350	410	430
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	2300	2500	2750	2900	3000	3200
l_{di}, *у. е.*	1200	1200	1200	1200	1200	1200
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	1200	2400	3600	4800	6000	7200

Вариант 8 - погрузочная машина, $K_d = 3300$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	150	210	220	240	280
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	900	1200	1400	1450	1600	1750
l_{di}, *у. е.*	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	1500	3000	4500	6000	7500	9000

Вариант 9 - компрессор, $K_d = 3600$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды						
	1	2	3	4	5	6	7
T_{di}, *тыс. руб.*	0	400	480	495	520	535	560
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1600	1800	1950	2100	2350	2520	2730
l_{di}, *у. е.*	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000

Вариант 10 - буровая каретка, $K_d = 4000$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	200	230	260	290	310
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1600	1800	1950	2250	2450	2600
l_{di}, *у. е.*	2000	2000	2000	2000	2000	2000
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	2000	4000	6000	10000	12000	14000

Вариант 11 - дробилка, $K_d = 4100$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{di}, *тыс. руб.*	0	150	165	178	190	210	220	245
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1500	1750	1850	1980	2100	2300	2450	2600
l_{di}, *у. е.*	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е.*	1500	3000	4500	6000	7500	9000	10500	12000

Вариант 12 - мельница, $K_d = 12300$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{di}, *тыс. руб.*	0	600	780	850	960	1050	1250	1400
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	5100	5300	5450	5700	5900	6100	6300	6500
l_{di}, *у. е*	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е*	4000	8000	12000	16000	20000	24000	28000	32000

Вариант 13 - погрузочно-доставочная машина, $K_d = 3500$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	350	460	520	730	840
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	2100	2300	2450	2600	2800	3100
l_{di}, *у. е*	1700	1830	1970	2040	2170	2300
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е*	1700	3530	5500	7540	9710	12010

Вариант 14 - погрузочно-доставочная машина, $K_d = 3000$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	250	275	286	295	305
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1500	2450	2580	2670	2820	2910
l_{di}, *у. е*	1900	1900	1900	1900	1900	1900
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е*	1900	3800	5700	7600	9500	11400

Вариант 15 - врубовая машина, $K_d = 2500$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	280	320	345	356	390
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1500	1800	1950	2000	2100	2250
l_{di}, *у. е*	2500	2750	2900	3100	3250	3350
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е*	2500	5250	8150	11250	14500	17850

Вариант 16 - врубовая машина, $K_d = 2700$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды					
	1	2	3	4	5	6
T_{di}, *тыс. руб.*	0	220	235	252	266	279
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1600	1520	1430	1350	1280	1220
l_{di}, *у. е*	3000	3000	3000	3000	3000	3000
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е*	3000	6000	9000	12000	15000	18000

Пример решения задачи

Компрессор, $K_d = 4000$ тыс. руб.

Показатели	Межремонтные периоды						
	1	2	3	4	5	6	7
T_{di}, *тыс. руб.*	0	380	420	430	480	510	530
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1200	1400	1520	1800	2200	2500	2730
l_{di}, *у. е*	1000	1200	1300	1350	1500	1700	1900
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у. е*	1000	2200	3500	4850	6350	8050	9950

Компрессор, $K_d = 4000$ *тыс. руб.*

Показатели	Межремонтные периоды						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
$Z_{im}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	1,77	1,87	1,90	1,94	2,00	2,02	2,02
$Z_{dm}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	1,77	1,950	1,93	2,07	2,17	2,1	2,04
$\frac{K_{di}}{l_{di}}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	0,57	0,476	0,44	0,42	0,38	0,336	0,3
$\frac{T_{di}}{l_{di}}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	0,00	0,32	0,32	0,32	0,32	0,30	0,3
$\frac{Э_{di}}{l_{di}}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	1,20	1,17	1,17	1,33	1,47	1,47	1,44
$\frac{\sum_{i=1}^{m} K_{di}}{\sum l_{di}}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	0,57	0,52	0,49	0,47	0,45	0,425	0,4
$\frac{\sum_{i=1}^{m} Э_{di}}{\sum l_{di}}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	1,20	1,18	1,18	1,22	1,28	1,32	1,34
$\frac{\sum_{i=1}^{m} T_{di}}{\sum l_{di}}, \frac{тыс.руб.}{у.е.}$	0,00	0,17	0,23	0,25	0,27	0,28	0,28
$\sum_{i=1}^{m} T_{di}$, *тыс.руб.*	0	380	800	1230	1710	2220	2750

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
$9\sum_{i=1}^{m} Э_{di}$, *тыс.руб*.	1200	2600	4120	5920	8120	10620	13550
T_{di}, *тыс.руб*.	0	380	420	430	480	510	530
$Э_{di}$, *тыс. руб.*	1200	1400	1520	1800	2200	2500	2730
l_{di}, *у.е.*	1000	1200	1300	1350	1500	1700	1900
$\sum_{i=1}^{m} l_{di}$, *у.е.*	1000	2200	3500	4850	6350	8050	9950
K_d, *тыс.руб*.	571,4	571,4	571,4	571,4	571,4	571,4	571,4
$\sum_{i=1}^{m} K_{di}$, *тыс.руб*.	571,4	1142,4	1713,8	2285,2	2856,6	3428,4	4000

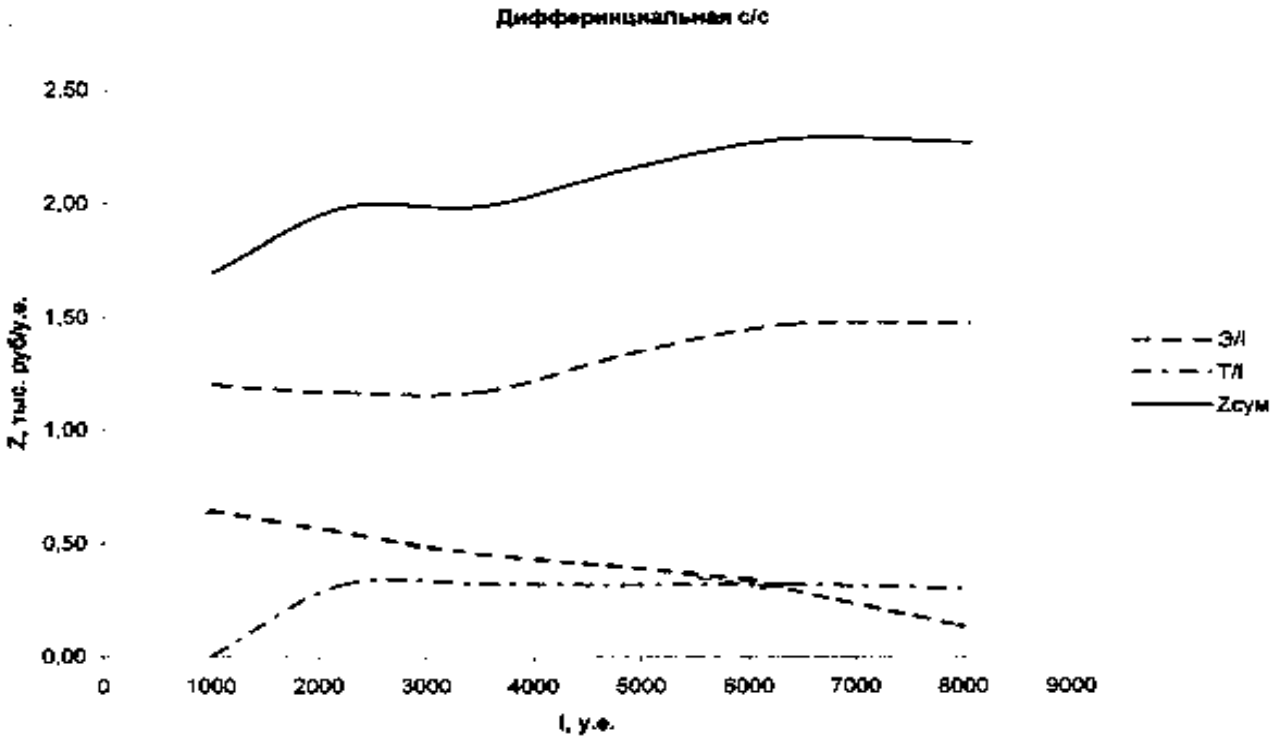


Рис. 2.1. Дифференциальная себестоимость

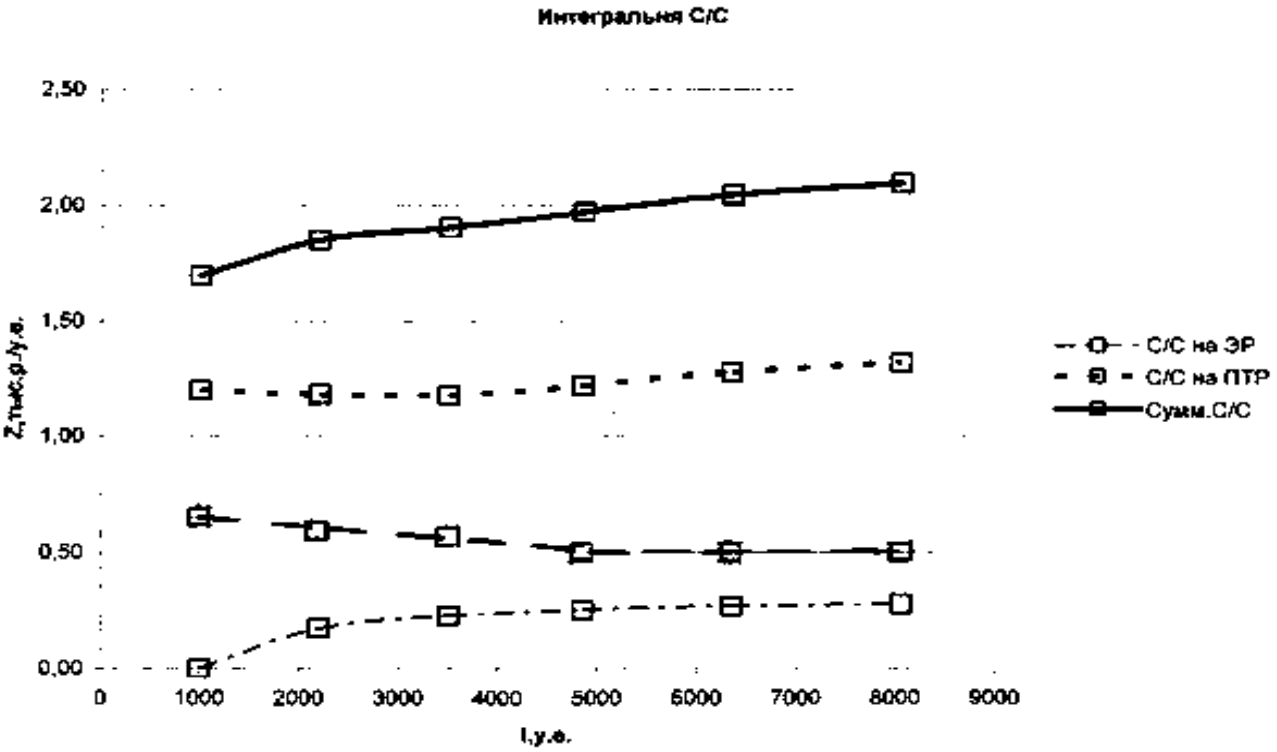


Рис. 2.2. Интегральная себестоимость

ЗАДАЧА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ МАШИНЫ ПО МИНИМАЛЬНОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ЕДИНИЦЫ НАРАБОТКИ ЗА РЕМОНТНЫЙ ЦИКЛ

Размер себестоимости определяется как отношение полной суммы произведенных затрат за вычетом остаточной стоимости машины при каждом данном числе ремонтных циклов за срок ее службы к соответствующей суммарной наработке машины от начала эксплуатации.

Дифференциальная (Z_{di}), интегральная ($\sum_{i=1}^{n} Z_{di}$) себестоимости единицы наработки определяются по формулам

$$Z_{di} = \frac{C_{di} + K_{di} + Э_{di} + T_{di} - O_{di}}{l_{di}} = \frac{C_{di}}{l_{di}} + \frac{K_{di}}{l_{di}} + \frac{Э_{di}}{l_{di}} + \frac{O_{di}}{l_{di}},$$

$$\sum Z_{di} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{di} + \sum_{i=1}^{n} K_{di} + \sum_{i=1}^{n} Э_{di} + \sum_{i=1}^{n} T_{di}}{\sum_{i=1}^{n} l_{di}} =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} C_{di}}{\sum_{i=1}^{n} l_{di}} + \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{di}}{\sum_{i=1}^{n} l_{di}} + \frac{\sum_{i=1}^{n} Э_{di}}{\sum_{i=1}^{n} l_{di}} + \frac{\sum_{i=1}^{n} T_{di}}{\sum_{i=1}^{n} l_{di}},$$

где C_{di} - дифференциальные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж машины за один ремонтный цикл;

T_{di} - дифференциальные затраты на текущие ремонты;

O_{di} - дифференциальная остаточная стоимость машины при

n ремонтных циклах за срок службы;

K_{di} - дифференциальные затраты на один капитальный ремонт в i–ом ремонтном цикле;

$Э_{di}$ - суммарные дифференциальные эксплуатационные затраты, включающие расходы на текущие плановые ремонты в i-й ремонтный цикл;

l_{di} - дифференциальная наработка машины за i-й ремонтный цикл;

C - стоимость новой машины (см. таблицу исходных данных);

$\sum_{i=1}^{n} C_{di}$ - интегральные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж машины;

$\sum_{i=1}^{n} T_{di}$ - интегральные затраты на текущие ремонты;

$\sum_{i=1}^{n} K_{di}$ - интегральные затраты на капитальный ремонт;

$\sum_{i=1}^{n} Э_{di}$ - интегральные эксплуатационные затраты;

$\sum_{i=1}^{n} l_{di}$ - интегральная наработка машины.

Задания для самостоятельного решения

Определить срок службы машины, соответствующий минимуму себестоимости единицы наработки, при заданных условиях (табл. 3.1).

Дополнительные условия:

1. Затраты на капитальный ремонт в 2…4 ремонтных циклах условно принимаются пропорционально величинам наработки в этих циклах или равными K_{d1}.

2. Дифференциальные эксплуатационные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж машины за один ремонтный цикл распределяются по ремонтным периодам пропорционально их продолжительности в годах.

3. Дифференциальные эксплуатационные затраты принимаются из задания или равными $Э_{d1}$.

4. Дифференциальная остаточная стоимость машины в первом ремонтном периоде равна $O_{d1} = C - C_{d1}$, во втором – $O_{d2} = C - C_{d1} - C_{d2}$ и т. д.

5. Затраты на текущий ремонт принимаем равными 25 % от затрат на капитальный ремонт.

Результаты расчета Z_{dm} и Z_{im} по вышеприведенным формулам сводятся в таблицу.

По расчетным данным таблицы построить графики зависимостей

$$Z_{di} = f(l_{di});\ C_{di}/l_{di} = f(l_{di});\ K_{di}/l_{di} = f(l_{di});\ Э_{di}/l_{di} = f(l_{di});$$

$$O_{di}/l_{di} = f(l_{di});\ T_{di}/l_{di} = f(l_{di})$$ – см. пример, рис. 3.1

$$\sum_{i=1}^{n} C_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di} = f(l_{di});\quad \sum_{i=1}^{n} K_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di} = f(l_{di});\quad \sum_{i=1}^{n} Э_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di} = f(l_{di});$$

$$\sum_{i=1}^{n} Z_{di} = f(l_{di});\ T_{di}/l_{di} = f(l_{di});\ \sum_{i=1}^{n} T_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di} = f(l_{di})$$ – см. пример, рис. 3.2

На основании графической интерпретации результатов расчета, произвести технико-экономический анализ изменения указанных функций в виде письменных ответов на следующие вопросы:

1. Какова величина наработки за срок службы, есть ли предпосылки для ее изменения, учитывая характер изменения интегральной себестоимости?
2. Соответствует ли заданная периодичность ремонтных циклов изменению себестоимости ремонта за срок службы?
3. Какие следует выбрать критерии периодичности ремонтных циклов?
4. Какие параметры планирования ремонта оборудования за срок службы оказывают влияние на характер изменения себестоимости ремонта и ее составляющих элементов?
5. Как изменяется доля затрат на эксплуатацию и текущий ремонт по ремонтным циклам, вычисленная по формулам $Д_э = \frac{Э_{di}}{Э_{di} + T_{di} + K_{di}}$ и

$$Д_т = \frac{T_{di}}{T_{di} + Э_{di} + K_{di}} ?$$

6. Сравнить на графиках величины амортизационных отчислений, начисленных следующим способами:

- по пропорциональному способу

$$A_п = \frac{C}{\sum_{i=1}^{n} l_{di}},$$

где C - стоимость машины, $\sum_{i=1}^{n} l_{di}$ -срок службы, год.

п - срок службы (графа 4);

- по регрессивному способу

$$A_р = 1{,}5 \cdot A_n \cdot q^{m-1},$$

где q = 0,7 ÷ 0,85 - знаменатель регрессии (принимается в соответствии с изменением $\sum_{i=1}^{n} Z_{di}$),

m - текущий год амортизации, m = 1, 2, 3, …

- по способу двойной регрессии

$$A_{др} = 2A_п \cdot q^{m-1};$$

- по кумулятивному способу

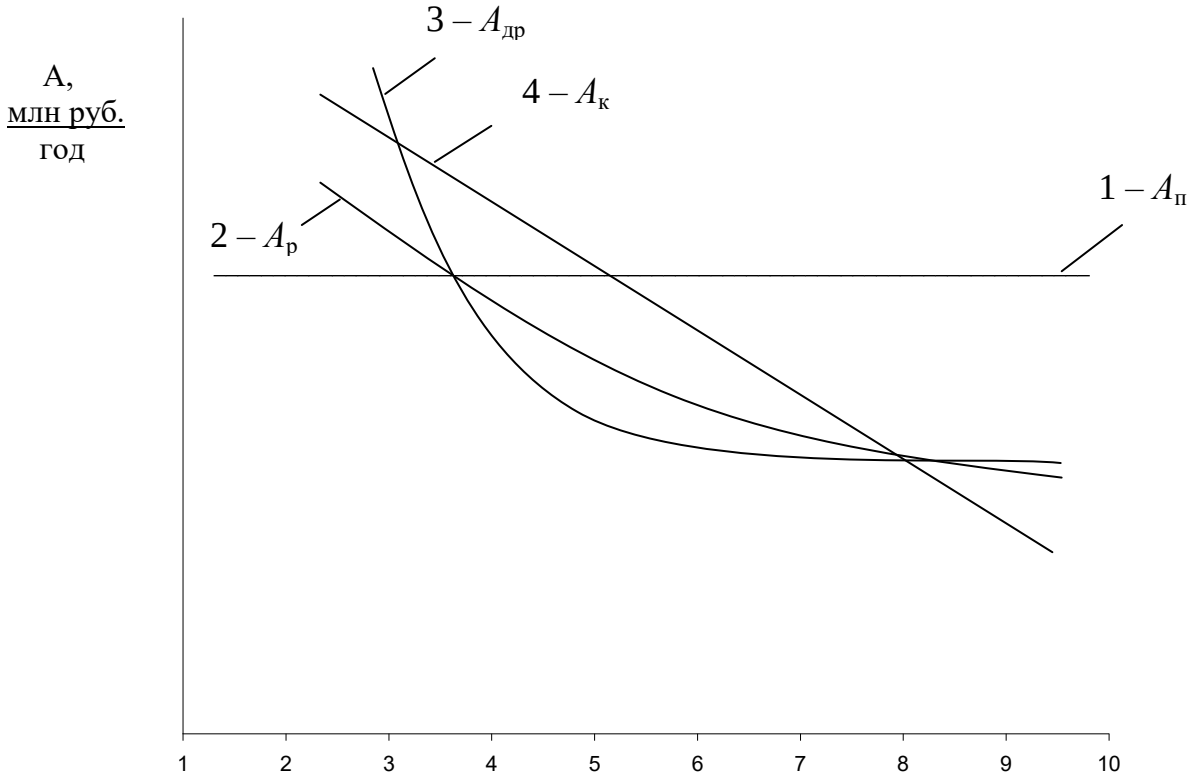
$$A_к = \frac{2C(n-m+1)}{n(n+1)} - 2A_п(1 - \frac{m}{n+1}).$$

По вычисленным величинам амортизационных отчислений АО в каждом ремонтном цикле построить сравнительную таблицу.

№ П/П	СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ	АМОРТИЗАЦИОННЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ В КАЖДОМ РЕМОНТНОМ ЦИКЛЕ, $\frac{\text{млн руб.}}{\text{год}}$							СУММА АО ЗА СРОК СЛУЖБЫ $\sum_{i=1}^{n} Z_{di}$, МЛН РУБ.
		1	2	3	4	5	6	7	
1	ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ, $A_{П}$								
2	РЕГРЕССИВНЫЙ, $A_{Р}$								
3	ДВОЙНАЯ РЕГРЕССИЯ, $A_{ДР}$								
4	КУМУЛЯТИВНЫЙ, $A_{К}$								

Построить графики изменения абсолютных и относительных величин амортизационных отчислений за срок службы в следующем виде:

$\sum_{i=1}^{n} l_{di}$, год



По результатам анализа принять один или сочетание способов амортизации оборудования с учётом технического состояния машины, используя кривую $\sum_{i=1}^{n} Z_{di}$ и знаменатель регрессии q = 0,75 - 0,85.

Исходные данные

1. **Буровой станок НКР-100** - $C = 25$ млн руб., $K_{d1} = 5,5$ млн руб.

2.

Порядковый номер ремонтного цикла (РЦ)	Периодичность РЦ		Ресурс		Эксплуатационные затраты в отдельных ремонтных циклах $Э_{di}$, млн руб.	Затраты на текущие ремонты T_{di}, млн руб.
	l_{di}, год	l_{di}, у. е.	Срок службы $\sum_{i=1}^{n} l_{di}$, год	$\sum_{i=1}^{n} l_{di}$, у. е.		
1	2,0	20000	2,0	20000	10,0	
2	1,5	15000	3,5	35000	7,5	
3	1,5	15000	5,0	50000	7,5	
4	1,0	10000	6,0	60000	5,0	

2. Погрузочная машина - $C = 30$ млн руб. , $K_{d1} = 6,5$ млн руб.

1	2,0	20000	2,0	20000	12,0	
2	1,5	15000	3,5	35000	5,0	
3	1,5	15000	5,0	50000	5,0	
4	1,0	10000	6,0	60000	4,0	

3. Погрузочно-доставочная машина - $C = 35$ млн. руб. , $K_{d1} = 7{,}0$ млн руб.

1	1,5	15000	1,5	15000	13,0	
2	1,5	15000	3,0	30000	6,0	
3	1,5	15000	4,5	45000	7,5	
4	1,0	10000	5,5	55000	5,0	

4. Дробилка - $C = 25$ млн руб. , $K_{d1} = 5{,}0$ млн руб.

1	2,0	20000	2,0	20000	11,0	
2	1,5	15000	3,5	35000	8,0	
3	1,5	15000	5,0	50000	8,0	
4	1,0	10000	6,0	60000	5,0	

5. Врубовая машина - $C = 42$ млн руб. , $K_{d1} = 7{,}0$ млн руб.

1	1,2	12000	1,2	12000	18,0	
2	1,0	10000	2,2	22000	12,0	
3	1,0	10000	3,2	32000	12,0	
4	0,8	8000	4,0	41000	8,0	

6. Мельница шаровая - $C = 120$млн руб., $K_{d1} = 35$млн руб.

1	1,5	15000	1,5	15000	45,0	
2	1,0	10000	2,5	25000	30,0	
3	1,0	10000	3,5	35000	30,0	
4	0,5	5000	4,0	40000	36,0	

7. Экскаватор - $C = 700$ млн руб., $K_{d1} = 250$млн руб.

1	2,0	20000	2,0	20000	260,0	
2	1,5	15000	3,5	35000	150,0	
3	1,0	10000	4,5	45000	100,0	
4	1,0	10000	5,5	55000	100,0	
5	1,0	10000	6,5	65000	100,0	

8. **Буровой станок НКР-100** - $C = 25$млн руб., $K_{d1} = 5{,}5$млн руб.

9.

1	2,0	20000	2,0	20000	10,0	
2	1,5	15000	3,5	35000	6,0	
3	1,5	15000	5,0	50000	6,0	
4	1,0	10000	6,0	60000	5,0	

9. Комбайн - $C = 155$млн руб., $K_{d1} = 35$млн руб.

1	4,0	40000	4,0	40000	70,0	
2	1,5	15000	5,5	55000	45,0	
3	1,0	10000	6,5	65000	40,0	
4	1,0	10000	7,5	75000	40,0	

10. **Буросбоечная установка** - $C = 85$млн руб., $K_{d1} = 18$млн руб.

11.

1	1,5	15000	1,5	15000	40,0	
2	1,0	10000	2,5	25000	30,0	
3	1,0	10000	3,5	35000	30,0	
4	1,0	10000	4,5	45000	30,0	

11. **Буровой станок СБШ-250** - C = 220млн руб., K_{d1} = 45млн руб**.**

1	2,0	20000	2,0	20000	95,0	
2	1,5	15000	3,5	35000	85,0	
3	1,0	10000	4,5	45000	70,0	
4	1,0	10000	5,5	55000	70,0	

12. **Агломерационная машина** - C = 250млн руб., K_{d1} = 38млн руб**.**

1	1,2	120000	1,2	120000	105,0	
2	1,0	100000	2,2	220000	80,0	
3	1,0	100000	3,2	320000	80,0	
4	1,0	100000	4,2	420000	80,0	

13. **Буровой станок СБШ-250** - C = 120млн руб**.**, K_{d1} = 25млн руб**.**.

1	2,0	80000	2,0	80000	52,0	
2	1,5	60000	3,5	140000	38,0	
3	1,5	60000	5,0	200000	38,0	
4	1,0	40000	6,0	240000	30,0	

14. **Дробилка ККД 1200/150** - C = 90млн руб., K_{d1} = 16млн руб.

1	2,0	60000	2,0	60000	40,0	
2	1,5	45000	3,5	105000	35,0	
3	1,0	30000	4,5	135000	30,0	
4	1,0	30000	5,5	165000	30,0	

15. Тяговый агрегат - $C = 30$млн руб., $K_{d1} = 12$млн руб.

1	2,0	20000	2,0	20000	30,0	
2	1,5	15000	3,5	35000	25,0	
3	1,5	15000	5,0	50000	25,0	
4	1,0	10000	6,0	60000	20,0	

16. **Мельница МСЦ-400×500** - C = 70млн руб., $K_{d_{\text{ср.}}} = 12$ млн руб**.**

1	**2,0**	**50000**	**2,0**	**50000**	**15,0**	
2	**1,5**	**37500**	**3,5**	**87500**	–	
3	**1,5**	**37500**	**5,0**	**125000**	–	
4	**1,5**	**37500**	**6,5**	**162000**	–	
5	**1,5**	**37500**	**8,0**	**199500**	–	
6	**1,3**	**32500**	**9,3**	**232000**	–	
7	**1,2**	**30000**	**10,5**	**262000**	–	
8	**1,0**	**25000**	**11,5**	**187000**	–	

17. **Грохот ГЦЛ-3** - $C = 5$ млн руб.**,** $K_{d_{\text{ср.}}} = 1{,}5$ млн руб..

1	**1,0**	**20000**	**1**	**20000**	**2,0**	
2	**1,2**	**24000**	**2,2**	**44000**	–	
3	**1,3**	**26000**	**3,5**	**70000**	–	
4	**1,3**	**26000**	**4,8**	**96000**	–	
5	**1,3**	**26000**	**6,1**	**122000**	–	
6	**1,2**	**24000**	**7,3**	**146000**	–	
7	**2,0**	**20000**	**8,3**	**166000**	–	

Пример решения задачи

1. **Буровой станок НКР-100** - $C = 30000000$ руб., $K_{d1} = 12000000$ руб**.**

Порядковый	Периодичность РЦ	Ресурс	Эксплуатацион-	Затраты

номер ремонтного цикла (РЦ)	l_{di}, год	l_{di}, у. е.	Срок службы $\sum_{i=1}^{n} l_{di}$, год	$\sum_{i=1}^{n} l_{di}$, у. е.	ные затраты в отдельных ремонтных циклах $Э_{di}$, Млн руб.	на текущие ремонты T_{di}, Млн руб.
1	2,0	20000	2,0	20000	20,0	3
2	1,5	15000	3,5	35000	15,0	2,25
3	1,5	15000	5,0	50000	15,0	2,25
4	1,0	10000	6,0	60000	10,0	1,5

Показатели	Номер ремонтов			
	1	2	3	4
C_{di}, *млн руб.*	10,00	7,50	7,50	5,00
K_{di}, *млн руб.*	12,00	9,00	9,00	6,00
O_{di}, *млн руб.*	20,00	12,50	5,00	0,00
C_{di}/l_{di}, *млн руб.*/ у. е.	0,50	0,50	0,50	0,50
K_{di}/l_{di}, *млн руб*/ у. е.	0,60	0,60	0,60	0,60
$Э_{di}/l_{di}$, *млн руб.*,/ у. е.	1,00	1,00	1,00	1,00
O_{di}/l_{di} *млн руб.*,/ у. е.	1,00	0,83	0,33	0,00
T_{di}/l_{di}, *млн руб.*/ у. е.	0,15	0,15	0,15	0,15
Z_{di}, *млн руб.*/ у. е.	1,25	1,42	1,92	2,25
$\sum_{i=1}^{n} C_{di}$, *млн руб.*	10,00	17,50	25,00	30,00

Окончание таблицы

$\sum_{i=1}^{n} K_{di}$, *млн руб.*	12,00	21,00	30,00	36,00
$\sum_{i=1}^{n} Э_{di}$, *млн руб.*	20,00	35,00	50,00	60,00
$\sum_{i=1}^{n} T_{di}$,. *Млн руб.*	3,00	5,25	7,50	9,00
$\sum_{i=1}^{n} C_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di}$, *мл руб.*/ у. е.	0,50	0,50	0,50	0,50
$\sum_{i=1}^{n} K_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di}$, *млн руб.*/ у. е.	0,60	0,60	0,60	0,60
$\sum_{i=1}^{n} Э_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di}$, *млн руб.*/ у. е.	1,00	1,00	1,00	1,00
$\sum_{i=1}^{n} T_{di} / \sum_{i=1}^{n} l_{di}$, *млн руб.*/ у. е.	0,15	0,15	0,15	0,15
$\sum Z_{di}$, *млн руб.*/ у. е.	2,25	2,25	2,25	2,25

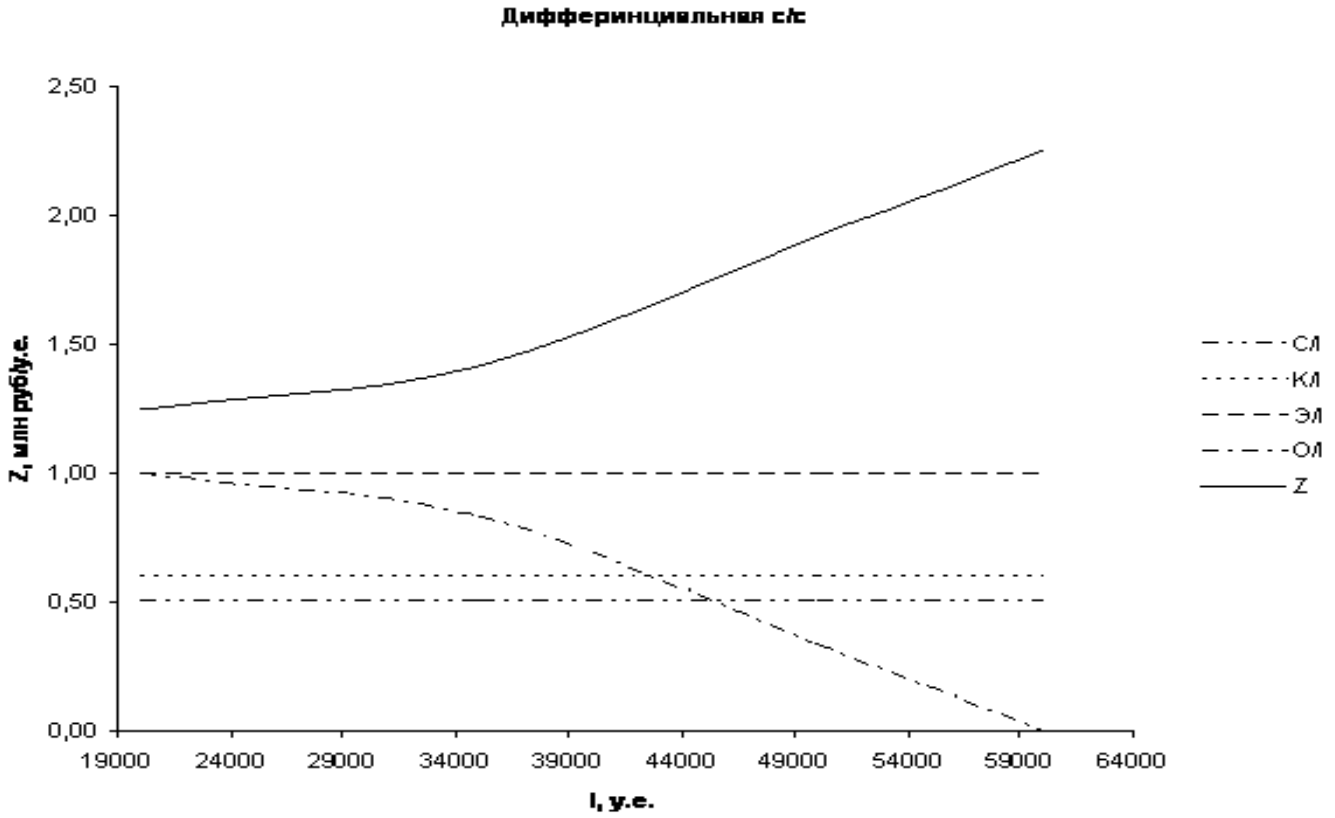


Рис. 3.1. Дифференциальная себестоимость

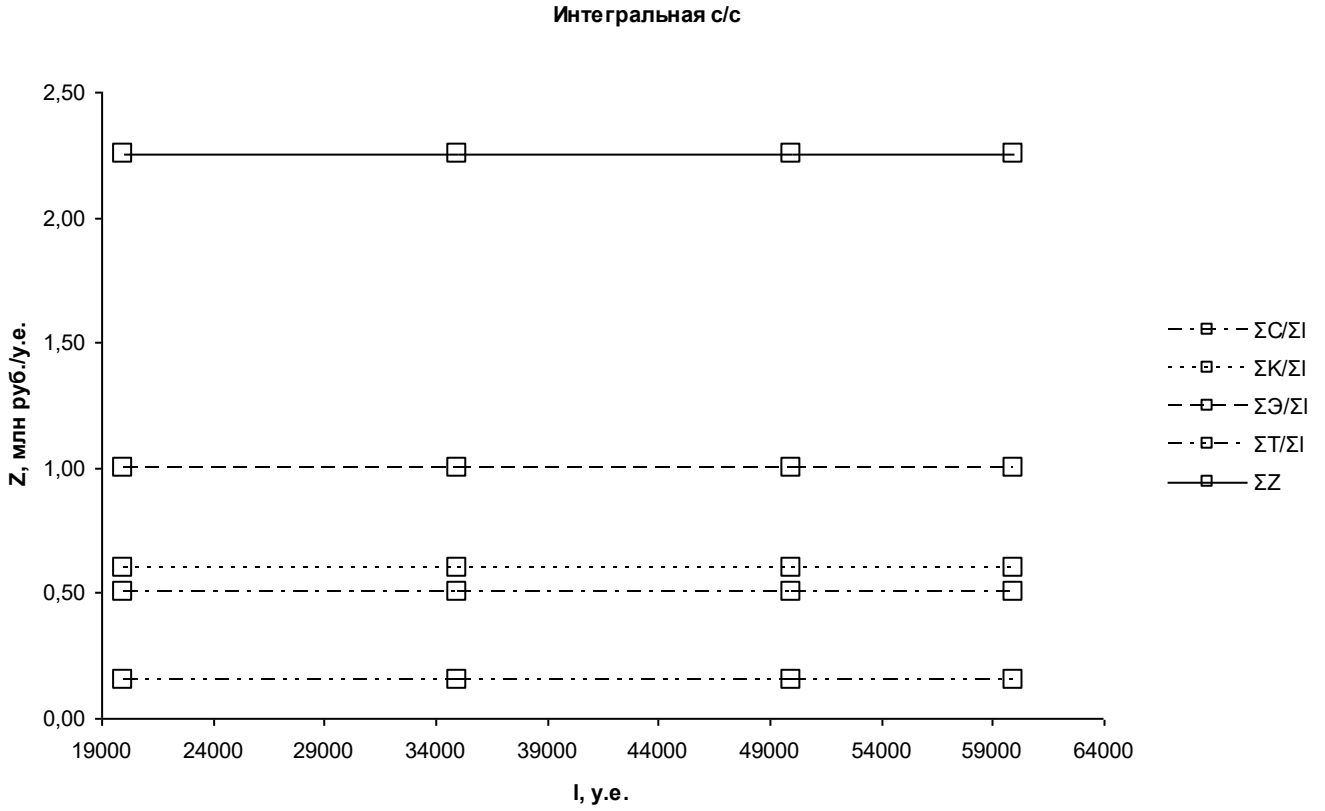


Рис. 3.2. Интегральная себестоимость

ЗАДАЧА № 4
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Основным методом получения достоверной информации о надежности горных машин, комплексов и агрегатов является наблюдение в процессе эксплуатации или в ходе специальных испытаний на надежность.

При обработке статистических данных об отказах и работоспособности должны использоваться методы теории вероятностей и математической статистики. Случайной величиной при этом может быть время безотказной работы; количество отказов за некоторый промежуток времени, время, затраченное на устранение последствий отказов и т. д.

Исчерпывающей характеристикой технических устройств с непрерывным характером работы служит закон распределения времени безотказной работы. Если известен вид закона и его параметры, то легко определить любую интересующую нас характеристику надежности.

При обработке данных об отказах изделий целесообразно соблюдать следующий порядок:

1) подготовка опытных данных (составление вариационного ряда и группировка статистических данных об отказах) по табл. 4.1;

2) построение гистограммы и выбор закона распределения;

3) вычисление параметров предлагаемого закона;

4) проверка допустимости выбранного закона по критериям согласия;

5) оценка показателей надежности.

I этап. При анализе причин отказов и оценке надежности горных машин необходимо правильно проводить наблюдения и сбор статистических данных по отказам, наработке на отказ, восстановлениям.

Таблица 4.1

Образец таблицы исходных данных для определения закона распределения

Δt_i	t_i'	$n_{(\Delta t_i)}$	$f_{(t_i)}$	$f^{/}(t_i)$	$/ f_{(t_i)} - f^{/}(t_i) /$
0 - 100	50	20	0,00145	0,0012	0,00025
100 - 200	150	40	0,00290	0,0022	0,0007 max
200 - 300	250	34	0,0024	0,0025	0,0001
300 - 400	350	30	0,0021	0,0019	0,0002
400 - 500	450	13	0,0009	0,001	0,0001

Примечание:

Δt_i - длина i-го интервала времени; $n_{(\Delta t_i)}$ - число отказов в интервале Δt_i;

$f_{(\Delta t_i)}$ - частота отказа; $f_{(t_i)} = \dfrac{n_{(\Delta t_i)}}{\Delta t_i \cdot N_o}$;

N_o - число объектов, работоспособных в начальный момент времени $t = 0$.

Под значением $f^{/}(t_i)$ построить графики в зависимости от $t_i^{/}$,

II этап. На втором этапе по данным табл. 4.1 строится гистограмма - ступенчатая функция, задаваемая следующим образом: по оси абсцисс - выбранные Δt_i, по оси ординат - число отказов $n_{(\Delta t_i)}$ в интервале Δt_i.

Пример гистограммы приведен на рис. 4.1.

Исходя из вида гистограммы, подбирается вид закона распределения времени безотказной работы.

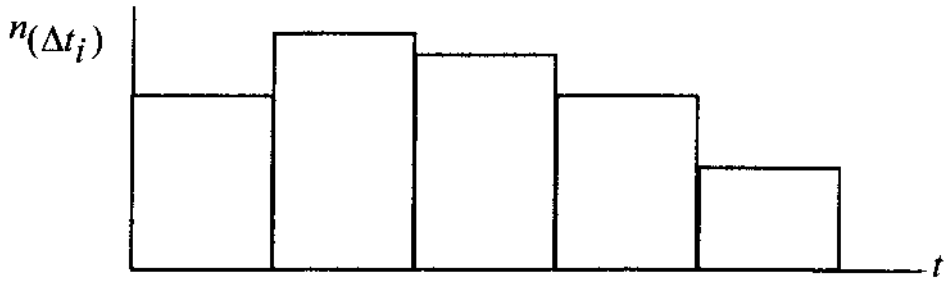
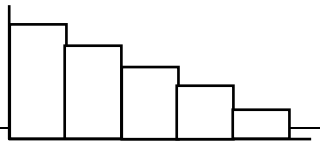
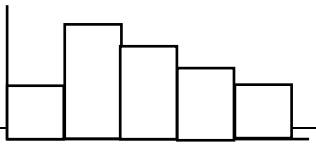
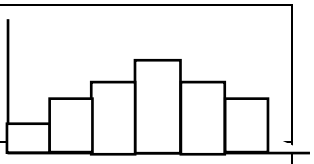


Рис. 4.1. Пример построения гистограммы

Рекомендуемые законы распределения для различных типов гистограмм представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Коэффициент вариации			
$0{,}3 < V < 1$	Экспоненц.	Нормальный Усеч. норм.	Нормальный Усеч. норм.
$V \approx 1$	Экспоненц.	Нормальный Логарифм. норм.	Нормальный Вейбула
$V > 1$	Экспоненц. Вейбула	Нормальный	Нормальный
$V \le 3$	Вейбула	Нормальный Вейбула	Нормальный Усеч. норм.

Коэффициент вариации $V = \dfrac{\sigma}{T_o}$,

где σ - среднее квадратическое отклонение, $\sigma = \sqrt{\dfrac{\sum (t_i - T_o)^2}{N_o}}$;

T_o - среднеарифметическая величина, $T_o = \dfrac{\sum t_i}{N_o}$;

t_i - моменты отказов оборудования (принимаются по табл. 4.5).

III этап

После предположительного установления вида закона распределения можно приступить к оценке его параметров. Рассмотрим некоторые методы оценки параметров различных законов распределения времени безотказной работы горного оборудования и машин.

Экспоненциальный закон

Прежде всего, следует отметить, что экспоненциальное распределение характерно для внезапных отказов элементов и систем в целом. Экспоненциальное распределение хорошо описывает время безотказной работы сложных систем, состоящих из большого числа разнородных компонентов, а также электронной аппаратуры. Кроме того, вследствие неизменности величины интенсивности отказов расчеты надежности при применении этого распределения наиболее просты. В этом случае функция распределения наработки до отказа представлены в общем виде на рис. 4.2, *а*.

Функция плотности вероятности времени безотказной работы имеет вид:

$$f_{(t_i)} = \lambda \cdot e^{-\lambda . t} \text{ при } t_i \geq 0. \qquad (1)$$

Оценка параметра λ производится по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{T_o}.$$

Нормальный закон (рис. 4.2, *б*)

Нормальный закон наиболее часто используется для оценки надежности изделий при наличии постепенных отказов. Нормальное распределение используется для описания систем и элементов, подверженных действию износа. Плотность вероятности нормального закона задается отношением:

$$f_{(t_i)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - T_o)^2}{2\sigma^2}} \text{ при } t_i \geq 0 \qquad (2)$$

где T_o - средняя наработка до отказа;

σ - среднее квадратическое отклонение.

Оценка параметров T_o и σ для всех планов испытаний производится по формулам:

$$T_o = \frac{\sum t_i}{N_0}, \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N_0 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{N} (t_i - T_o)^2},$$

где t_i - моменты отказов горного оборудования или машин (табл. 4.4);

N - число наблюдений.

Формулы для расчета показателей надежности при нормальном распределении, с учетом функции Лапласа, приведены в табл. 4.4. Графики распределения представлены на рис. 4.2, *а*.

Это распределение описывает поведение случайных величин в интервале (- ∞, + ∞). Однако время является неотрицательной величиной. Поэтому также используется усеченное нормальное распределение, при $t > 0$. При этом вероятность безотказной работы, плотность распределения наработки до отказа, частота отказов и наработка до отказа определяются по соотношениям, приведенным в табл. 4.4.

Логарифмически-нормальный закон

Функция плотности вероятности этого закона имеет вид:

$$f'(t_i) = \frac{1}{t_i \sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_i - a_1)^2}{2\sigma_1^2}} \quad \text{при } t_i \geq 0 \qquad (3)$$

Оценка параметров a_1 и σ_1 производится по формулам:

$$a_1 = \frac{\sum \ln t_i}{N}, \qquad \sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} (\ln t_i - a_1)^2}\ .$$

Логарифмически-нормальный закон хорошо описывает период износовых отказов (рис. 4.2, *б*).

Закон распределения Вейбулла - характерен для комбинированных случаев совместного действия усталостных и износных отказов. Распределение Вейбулла - двухпараметрическое распределение, может быть применено для описания наработки до отказа ряда электронных и механических систем, включая период приработки.

Формулы для расчета показателей надежности при распределении Вейбулла см. в табл. 4.4.

При $B=1$ распределение Вейбулла совпадает с экспоненциальным (см. рис. 4.2, а), когда интенсивность отказов постоянна, при $B>1$ интенсивность отказов монотонно возрастает (рис. 4.2, в), а $B<1$ - монотонно убывает (рис. 4.2, г).

Функция плотности вероятностей этого закона имеет вид:

$$f'(t_i) = B \cdot \lambda \cdot t_i^{B-1} \cdot e^{-\lambda t_i B} \quad \text{при } t_i \geq 0. \qquad (4)$$

Значения B принять в соответствии с табл. 4.3 по коэффициенту вариации V.

Значения параметров λ и B определяются соответственно:

$$\lambda = \frac{N}{\sum t_i^B}, \quad B = 1.$$

Таблица 4.3

Значения коэффициента вариации V для заданных значений параметра B

B	V	B	V	B	V	B	V	B	V
0,20	15,843	1,70	0,605	3,20	0,343	4,70	0,242	6,20	0,188
0,30	5,408	1,80	0,575	3,30	0,333	4,80	0,238	6,30	0,185
0,40	3,141	1,90	0,547	3,40	0,345	4,90	0,233	6,40	0,183
0,50	2,236	2,00	0,523	3,50	0,316	5,00	0,229	6,50	0,180
0,60	1,758	2,10	0,500	3,60	0,308	5,10	0,225	6,60	0,177
0,70	1,462	2,20	0,480	3,70	0,301	5,20	0,221	6,70	0,175
0,80	1,260	2,30	0,461	3,80	0,294	5,30	0,217	6,80	0,173
0,90	1,113	2,40	0,444	3,90	0,287	5,40	0,213	6,90	0,170
1,00	1,000	2,50	0,428	4,00	0,280	5,50	0,210	7,00	0,168
1,10	0,910	2,60	0,413	4,10	0,274	5,60	0,206	7,50	0,158
1,20	0,837	2,70	0,399	4,20	0,268	5,70	0,203	8,00	0,148
1,30	0,776	2,80	0,387	4,30	0,263	5,80	0,200	8,50	0,140
1,40	0,724	2,90	0,375	4,40	0,257	5,90	0,197	9,00	0,133
1,50	0,679	3,00	0,363	4,50	0,252	6,00	0,194	9,50	0,126
1,60	0,640	3,10	0,353	4,60	0,247	6,10	0,191	10,00	0,120

IV этап. На этом этапе осуществляется проверка допустимости предполагаемого закона распределения времени безотказной работы на основании критериев согласия. Наиболее употребительными из них являются критерий Пирсона (или критерий χ^2 - хи-квадрат, при $N > 100$) или критерий Колмогорова (при $N < 100$).

1. Определение соответствия теоретического распределения эмпирическим данным по критерию χ^2 производится следующим образом.

По предполагаемому виду теоретического распределения и по эмпирическим данным вычисляют величину χ^2 по формуле:

$$x^2 = \sum_{i=1}^{K} \frac{(m_i - n_i)^2}{m_i},$$

где n_i - эмпирические частоты, число попаданий эмпирических данных в i-й интервал времени;

m_i - теоретические частоты;

K - общее число интервалов времени.

По таблице П. 4 [9] распределения случайной величины χ^2 определяют вероятность того, что случайная величина χ^2 принимает значения большие χ_0^2, т. е. $B_{ср}(\chi^2 \geq \chi_0^2) = P$. Если $P > 0{,}1$, то закон принимается.

2. Критерий согласия Колмогорова определяется по условию:

$$\Delta_k = Д_{\max} \cdot \sqrt{N} \leq 1,$$

где $Д_{max}$ – наибольшее отклонение по модулю теоретических значений $f(t)$ (формулы 1 - 4) от эмпирических (табл. 4.1);

N - число наблюдаемых (испытываемых) изделий.

V этап. Установив закон распределения и его параметры можно определить количественные показатели надежности.

При изучении надежности горных машин и комплексов наиболее часто применяются следующие законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления: экспоненциальный, нормальный, логарифмически-нормальный, Вейбулла.

В табл. 4.4 приведены в соответствии с ГОСТом 27.503-81 выражения для оценки количественных характеристик надежности горного оборудования при указанных выше законах распределения времени безотказной работы.

В табл. 4.4. *приняты следующие обозначения:*

$T_{ср}$ - средняя наработка до 1-го отказа; средний ресурс; средний срок службы;

$T_с$ - средний срок сохраняемости;

$T_в$ - средний срок восстановления;

$T_{С\gamma}$ - гамма-процентный срок сохраняемости;

T_γ - гамма - процентный ресурс;

$P_{(t)}$ - вероятность безотказной работы до 1-го отказа;

$P_{(t_в)}$ - вероятность восстановления;

λ - интенсивность отказов;

$\lambda_В$ - интенсивность восстановления.

Таблица 4.4

Формулы для определения количественных характеристик надежности

Закон распределения	T_o	$T_{ср}$	T	T_c	$T_в$	$T_{C\gamma}$	T_γ	$P_{(t)}$	$P_{(t_в)}$	λ	$\lambda_в$
Экспоненциальный	$\frac{1}{\lambda}, \frac{1}{\lambda_C}, \frac{1}{\lambda_B}$					$\frac{1}{\lambda}\left(-\ln\frac{\gamma}{100}\right)$		$e^{-\lambda \cdot t_i}$	$P_{t_B}=1-e^{-\lambda_в \cdot t_в}$	λ	
Вейбулла	$\Gamma\left(\frac{1}{B}+1\right)\Big/\lambda\frac{1}{B}$					$\left[\frac{1}{\lambda}\left(-\ln\frac{\gamma}{100}\right)\right]^{\frac{1}{B}}$		$e^{-\lambda t B}$	$1-e^{-t_B \cdot B/\lambda_в}$	$B\cdot\lambda\cdot t_i^{B-1}$	
Нормальный	$\frac{\sum_{i=1}^{N} t_i}{N}$					$T_0 - K_\gamma \cdot \sigma$		$\Phi_o\left(\frac{T_o - t_i}{\sigma}\right)$	$\Phi_o\left(\frac{t_B - T_B}{\sigma_{t_B}}\right)$	$\frac{1}{\sigma} f_o\left(\frac{t_i - T_o}{\sigma}\right)\Big/\Phi_o\left(\frac{T_o - t_i}{\sigma}\right)$	
Логарифмически-нормальный	$e^{a_1+\frac{\sigma_1^2}{2}}$					$e^{a_1 - K_\gamma \cdot \sigma_1}$		$\Phi_o\left(\frac{a_1 - \ln t_i}{\sigma_1}\right)$	$\Phi_o\left(\frac{\ln t_i - a_1}{\sigma_1}\right)$	$\frac{1}{t\sigma_1} f_o\left(\frac{\ln t_i - a_1}{\sigma_1}\right)\Big/\Phi\left(\frac{a_1 - \ln t_i}{\sigma_1}\right)$	
Усеченный нормальный	$T_o + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}\Phi\left(\frac{T_o}{\sigma}\right)} \cdot e^{\frac{T_o}{2\sigma^2}}$					$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\Phi\left(\frac{T_o}{\sigma}\right)} \cdot e^{-\frac{\left(\frac{t}{\sigma}\right)}{\sigma}}$		$1-\frac{\Phi\left(\frac{T_o - t_o}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{T_o}{\sigma}\right)}$	$\frac{\Phi\left(\frac{t_i - \frac{\lambda}{T_o}}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{T_o}{\sigma}\right)}$	$\frac{e^{-\frac{(t_i - T_o)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\Phi\left(\frac{t_i - T_o}{\sigma}\right)}$	

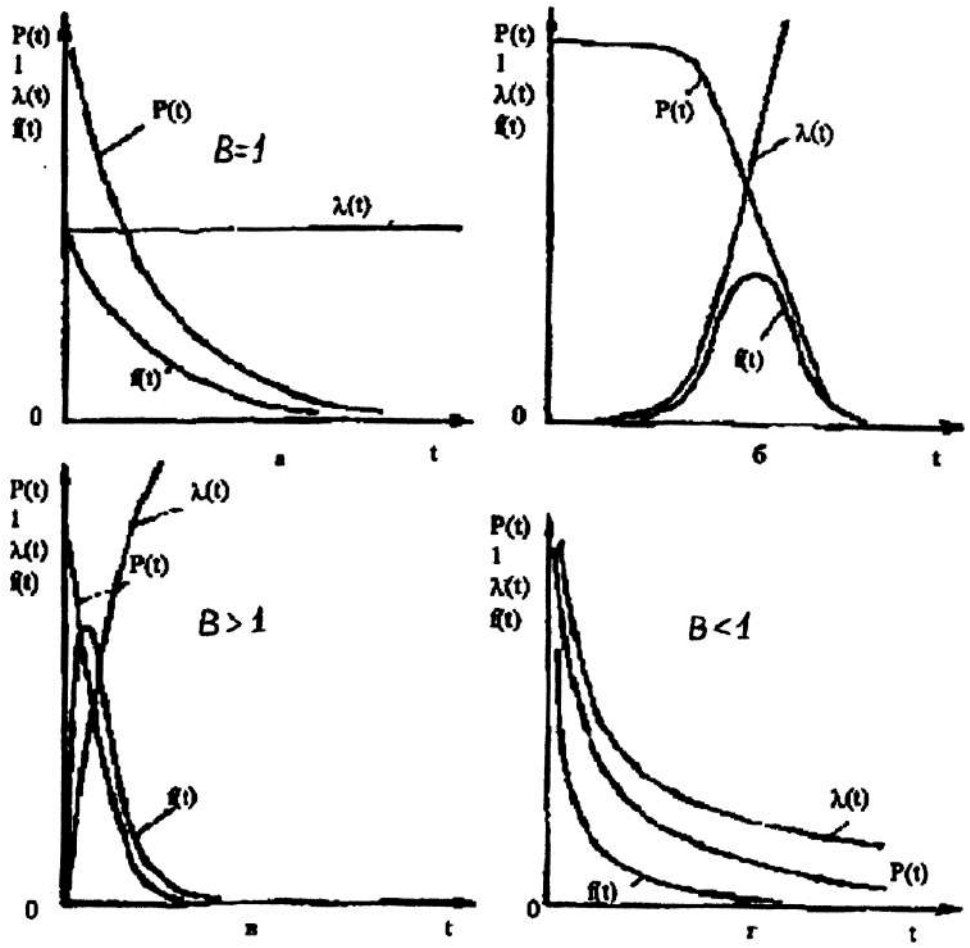


Рис. 4.2. Графики изменения показателей надежности для различных законов распределения

где $\Gamma(x)$ - гамма-функция;

$\Phi_o(z)$ - нормированная функция Лапласа;

$\Phi(z)$ - интеграл вероятности (табулировано в ГОСТе 27.503-81 (см. прил. 2 и 1);

$\frac{\gamma}{100}$ - регламентированная вероятность (в задачах принимается $\frac{90}{100}$);

t_γ - гамма-процентный ресурс (для γ = 90 % определяется для времени $t_в$ табл. 4.5);

K_γ - квантиль нормального закона распределения, $K_\gamma = 1{,}23$ для γ = 90 % (вероятность безотказной работы).

Задача для самостоятельного решения

В результате испытания партии горного оборудования получен ряд значений моментов отказов (табл. 4.5). На основании анализа этих данных необходимо выявить закон распределения времени безотказной работы. Определить нормируемые показатели надежности для оборудования, указанного в соответствующем варианте задачи, приняв соотношение $T_{\text{О}} : T_{\text{В}} : T_{\text{ТО}} = 1:0{,}4:0{,}05$ (приложения п. 3 и 4) для времени *t*, указанного в табл. 4.5. и в каждом интервале.

Таблица 4.5

Исходные данные для определения нормируемых показателей надежности

Вариант	Зафиксированный момент отказа (в скобках указано количество повторений данных значений), час	Тип оборудования
1	2	3
4.1	3 (2), 6 (2), 7, 8, 12 (2), 14, 17, 18, 21, 23, 24, 28, 32, 34, 37 (2), 44, 47	Валковый грохот, *t* = 24 ч
4.2	2 (2), 3 (2), 6, 7, 8, 9 (2), 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 26, 27, 35, 38, 53, 56, 69, 77, 86, 98, 120	Гидроциклон, *t* = 24 ч
4.3	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 29, 30, 32, 33, 40, 42, 45, 46, 55, 68, 69, 70, 73, 86, 90	Барабанный грохот, *t* = 48 ч
4.4	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (2), 10 (3), 11 (3), 12 (2), 13 (2), 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 30, 32	Молотковая дробилка, *t* = 24 ч
4.5	12, 26, 34 (6), 45 (3), 53, 61 (4), 69 (3), 75 (2), 84 (2), 92, 95	Уборочная машина, МТФ-43А, *t* = 722 ч
4.6	11, 34, 35, 62, 63, 77, 86, 124, 129, 148, 178, 182, 213, 235, 241, 264, 275, 281, 323, 340, 372, 443, 478	Станок буровой, *t* = 200 ч
4.7	22, 31, 35, 50, 67, 74, 80, 84, 91, 93, 138, 152, 166, 171	Перфоратор колонковый ПК-60, *t* = 72 ч
4.8	19, 28 (2), 32, 36 (2), 50, 51, 71, 124, 126, 138, 163, 231, 246, 260, 300, 302, 320, 341, 380	Породопогрузочная машина, *t* = 200
4.9	15, 28, 29 (2), 54, 61, 71, 73, 76, 77, 91, 102, 103, 117, 145, 150, 170, 196, 200, 204, 245, 249	Дробилка конусная, *t* = 120 ч
4.10	19, 62, 92, 102, 121, 193, 200 (2), 215, 229, 245, 384, 385, 462, 486, 538, 576, 631, 680, 715	Ходовая часть трактора ДТ-75Б, *t* = 400 ч
4.11	17, 18, 57, 134, 160 (2), 174, 198, 200, 225, 279, 370, 420	Мельница самоизмельчающая, *t* = 200 ч
4.12	61, 64, 92, 149, 150 (2), 178 (2), 200 (2), 252, 255 (2), 312, 340, 341, 359, 362, 378, 600	Врубовая машина, *t* = 250 ч
4.13	69, 72, 79 (2), 81, 93, 99, 111, 112, 117, 119, 130, 135, 150, 153, 157, 180 (2), 190, 200, 216, 240	Фрезер МТФ-14, *t* = 120 ч
4.14	6, 15, 23, 31, 35, 38, 41, 42, 46, 54, 65, 72, 77, 88, 91, 103, 118, 126, 144, 162, 226	Вибрационный грохот, *t* = 72 ч

Окончание табл. 4.5

1	*2*	*3*
4.15	200, 232, 328, 368, 393, 404, 421, 457, 483, 511, 527, 540, 544, 572, 598, 605, 619, 633, 660, 681, 736, 942	Трактор ДТ-75Б, t = 300 ч
4.16	78, 110, 138, 200, 300, 427, 447, 450, 500, 510, 520, 530, 540, 590, 600, 635, 660, 680, 725, 750, 810, 900, 910 (2), 975	Подъёмная машина, t = 400 ч
4.17	11, 26, 46, 53, 66, 105, 122, 125, 131, 137, 145, 150, 154, 156, 158, 165, 170, 172, 175, 182, 187, 190, 200, 221, 243, 305	Шаровая мельница, t = 200 ч
4.18	13, 25, 38, 42, 51, 72, 85, 105, 136, 187, 195, 205, 215, 225, 235, 245 (2), 265, 275, 280, 285, 310, 345, 390, 428	Трансмиссия трактора ДТ-75Б, t = 300 ч
4.19	10, 16, 30, 35, 40, 110, 118, 122, 135, 150, 155, 230, 240 (2), 270, 275, 300, 325, 350 (2), 395, 460, 490, 555, 675	Машина глубокого дренирования МГД-64, t = 500 ч
4.20	3, 4 (2), 5 (3), 6 (2), 7 (2), 8 (2), 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18	Буровая каретка 6К-2, t = 12 ч
4.21	4, 7 (2), 9, 10, 11 (3), 12 (3), 14 (3), 15 (3), 16 (5), 17 (3), 18 (2), 19 (2), 20, 23, 30, 35	Насос центробежный ЦНС-38, 44, t = 18 ч
4.22	10 (2), 11 (2), 12 (4), 13 (6), 14 (2), 15 (3), 18 (3), 20 (3), 22, 24, 25, 29, 34, 37	Вибротранспортер, t = 24 ч
4.23	4, 5 (3), 6 (4), 7 (7), 8 (4), 9 (2), 10 (3), 11 (3), 12 (2), 13, 15, 17, 22, 26, 36	Комбайн КМШ, t = 24 ч
4.24	16 (2), 17 (3), 18 (4), 19 (2), 20 (5), 22 (3), 24 (2), 27 (2), 28, 30, 36, 42, 45	Дробилка конвейерная ДКК-2-01, t = 24 ч
4.25	18 (2), 20 (2), 22 (4), 25 (2), 26 (3), 33 (2), 35 (3), 40 (2), 52 (2), 57, 64, 73, 85	Комбайн врубовый МКВ, t = 48 ч

Примечание. t – время работы оборудования, при котором производится расчет нормируемых показателей надежности, выбранных по таблицам прил. П.4 и П.5

Вопросы:

1. Как определить число интервалов наблюдения?
2. Сколько моментов отказов попадает в интервал $T_{ср} \pm \sigma$?
3. Как определить численное значение вероятности отказа по кривой распределения плотности вероятности отказа?
4. Как определить графически гамма-процентный ресурс?
5. Какова интенсивность отказов при средневероятной наработке на отказ?
6. Какова вероятность отказа при нормированной величине гамма-процентного ресурса?
7. Какова величина коэффициента готовности при нормированном гамма-процентном ресурсе?
8. Какие параметры теоретического закона распределения применены в задаче?

ЗАДАЧА № 5

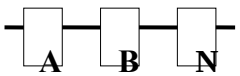
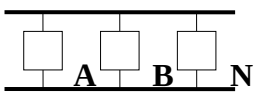
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН

Определение показателей надежности горно-транспортных систем возможно при известных показателях надежности их элементов. Обычно эта инженерная задача решается на этапе проектирования для установления надежности по разработанной структурной схеме машины, поэтому и расчетная надежность получила название структурной. Структурная схема разработанной системы может содержать последовательное, параллельное и комбинированное содержание элементов.

Основные зависимости для определения надежности системы при различных структурных схемах даны в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Структурная надежность систем

Соединение элементов	Вероятность безотказной работы, P_c	Интенсивность отказов, λ_c	Средняя наработка на отказ, $T_{ср}$	Коэффициент готовности, $K_г$
Последовательное 	$\prod_{i=1}^{N} P(t)_i$	$\sum_{i=1}^{N} \lambda(t)_i$	$\int_o^{\infty} \prod_{i=1}^{N} P(t)_i \, dt$	$\frac{1}{1+\sum_{i=1}^{N} \frac{1-K_{ri}}{K_{ri}}}$
Параллельное 	$1-\prod_{i=1}^{N}\left(1-P(t)_i\right)$	$-\frac{P'(t)_i}{P(t)_i}$	$\int_o^{\infty}\left(1-\prod_{i=1}^{N} P(t)_i\right)dt$	$\sum_{i=1}^{N} T_{cpi} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{T_{cpi}}{K_{ri}}}$

Системы с параллельным соединением элементов - с резервированием - имеют надежность значительно выше. Поэтому для ответственных систем (двойная система тормозов, двухнасосные установки систем смазки, двух- или многоагрегатная схема механизма поворота платформ экскаваторов, двухдвигательный привод у лебедок подъема, многодвигательный привод электровозов и др.) применяют резервирование (общее или раздельное).

Показатели надежности отдельных элементов, входящих в рассчитываемую структурную схему, берутся или на основе ранее проведенных статистических исследований подобных элементов в ранее эксплуатируемых машинах, или из специально организованных испытаний этих элементов, или с достаточной точностью для инженерного решения при проектировании механизма, или могут быть взяты из таблиц, в которых

сведены данные многих предприятий, изготовляющих те или иные узлы и детали.

Могут быть случаи, когда для нормальной работы системы необходимо, чтобы исправными оставались r из группы m параллельно взаимодействующих элементов. При этом получается резервирование с дробной кратностью h, определяемой по формуле

$$h = \frac{m - r}{r}.$$

Например, в зависимости от горно-геологических условий допускается в группе из трех секций отказ любой одной секции. На рис. 5.1 показана расчетная схема соединения основных и резервных секций механизированной крепи дробной кратности резервирования равной

$$h = \frac{m - r}{r} = \frac{3 - 2}{2} = \frac{1}{2}$$

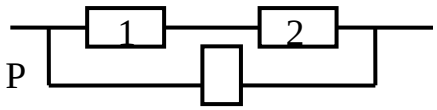


Рис. 5.1. Расчетная схема основных секций крепи

На основании теоремы сложения вероятностей суммарная вероятность безотказной работы групп секций (рис. 5.1) можно записать в виде

$$m_{‹р} = \sum_{i=0}^{m-r} P_i .$$

При одинаковых условиях работы может быть применена частная теорема о повторении опытов, при этом вероятность будет подчинена биноминальному распределению

$$P_i = C_m^i P_с^{m-1} q_с^i ,$$

где $P_с$ – вероятность безотказной работы секций крепи;

q_C – вероятность отказа секций крепи;

i – количество секций в группе, отказ которых допускается.

Поскольку, согласно принятому условию, i может быть равно только 0 или 1, то выражение принимает вид

$$m_{‹р} = P_с^m + mP_с^{m-1} q_с .$$

Взаимодействие отдельных резервированных групп является последовательным, поэтому для крепи в целом

$$P_{кр} = \prod_{i=1}^{ж} P_{ср} = \prod_{i=1}^{ж} \left(P_с^m + mP_с^{m-1} q_с \right),$$

где K – число резервированных групп секций;

m – число секций в резервированной группе (в 1-ой схеме – 3, во 2-ой – 4. в 3-ой – 5).

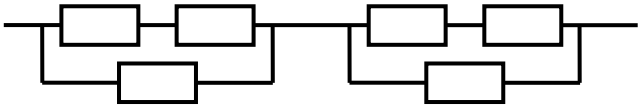
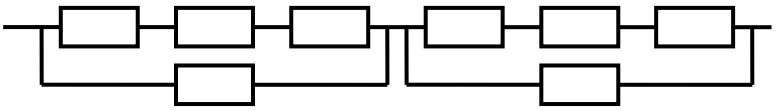
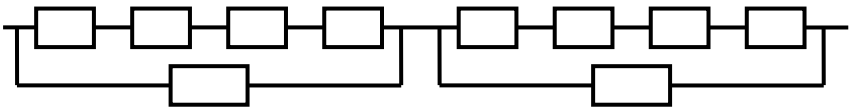
Для крепи, имеющей 100 секций и допускающей отказ одной секции в группе из 10 секций, при P_c = 0,98, вероятность безотказной работы

$$P_{\text{кр}} = \left(P_{\text{с}}^{m} + mP_{\text{с}}^{m-1}q_c\right)^{K} = \left(0{,}98^{10} + 10 \cdot 0{,}98^{9} \cdot 0{,}02\right)^{10} = 0{,}83.$$

В задачах 5.1 – 5.17 (табл. 5.2) рассчитать $P_{\text{кр}}$ для трёх схем соединения при одинаковых значениях K и $P_{\text{с}}$.

Таблица 5.2

Условия для самостоятельного решения

Вариант	Структурная схема	K	$P_{\text{с}}$
5.1		5	0,98
5.2	- “ -	10	0,96
5.3	- “ -	8	0,96
5.4	- “ -	7	0,98
5.5	- “ -	6	0,97
5.6		10	0,98
5.7	- “ -	6	0,97
5.8	- “ -	8	0,96
5.9	- “ -	5	0,98
5.10	- “ -	9	0,97
5.11	- “ -	7	0,95
5.12		7	0,98
5.13	- “ -	8	0,97
5.14	- “ -	5	0,96
5.15	- “ -	9	0,95
5.16	- “ -	10	0,97
5.17	- “ -	6	0,96

Задача 5.18

Комплекс состоит из N = 3 систем. Надежность отдельных систем характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени t, которая равна $P_{(t)}$ = 0,78; $P_{(t)}$ = 0,93; $P_{(t)}$ = 0,82.

Определить вероятность безотказной работы комплекса при условии:

а) параллельного;

б) последовательного соединения элементов.

Задача 5.19

Система электрооборудования горной машины состоит из 3-х последовательно соединенных блоков. Вероятность безотказной работы системы 0,94. Вероятность отказа 1-го и 3-го блоков соответственно равна 0,03 и 0,02.

Необходимо найти вероятность безотказной работы 2-го блока.

Задача 5.20

Система электрооборудования состоит из трех параллельно соединенных блоков, причем вероятность отказа 1-го и 2-го блоков соответственно равны 0,3 и 0,2.

Найти вероятность безотказной работы 3-го блока при условии, что вероятность безотказной работы системы 0,996.

Задача 5.21

Восстанавливаемая система состоит из 3-х последовательных блоков, коэффициенты готовности которых $K_г = 0,75$; $K_г = 0,84$ и $K_г = 0,96$.

Необходимо найти коэффициент готовности всей системы.

Задача 5.22

Решить задачу 5.11 в условиях параллельного соединения блоков, учитывая, что среднее время восстановления блоков $T_{В1}= 46$ ч; $T_{В2}= 32$ ч; $T_{В3}= 34$ ч.

Задача 5.23

Система состоит из 4-х блоков, схема соединения которых представлена на рис. 5.2.

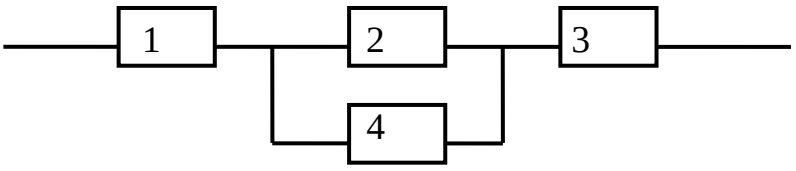


Рис. 5.2. Структурная схема к задаче 5.23

Найти вероятность безотказной работы систем при условии, что $P_1 = 0,90$; $P_2 = 0,95$; $P_3 = 0,88$; $P_4 = 0,85$.

Задача 5.24

Система комплексной механизации состоит из 5 машин, схема работы которых представлена на рис. 5.3.

Вычислить вероятность безотказной работы при условии, что

$P_1 = P_2 = 0{,}95$; $P_3 = P_4 = P_5 = 0{,}86$.

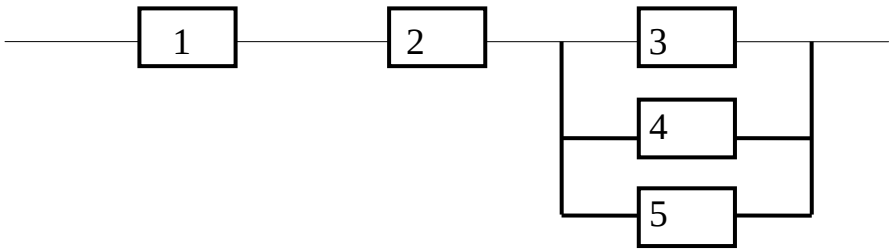


Рис. 5.3. Структурная схема к задаче

Задача 5.25

Найти коэффициент готовности системы, если коэффициенты готовности элементов $K_г = 0{,}72$; $K_г = 0{,}78$; $K_г = 0{,}83$; $K_г = 0{,}9$. Соединение элементов последовательное.

Вопросы:

1. Какой вид резервирования применен в данной системе?
2. Каким образом можно повысить надежность данной системы?

ЗАДАЧА № 6

КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Контроль надежности имеет своей целью установить, что надежность контролируемой партии не ниже установленного уровня.

Так как контроль надежности производится на основе испытания выборки, то при принятии этого решения возможны 2 вида ошибок:

ошибка 1-го рода - когда хорошая партия бракуется;

ошибка 2-го рода - когда плохая партия принимается.

Вероятность ошибки первого рода вызывается риском поставщика (α), вероятность ошибки второго рода - риском заказчика (β).

Контроль надежности по методу однократной выборки заключается в том, что из контролируемой партии объема N изделий берется одна случайная

выборка объемом n экземпляров. Исходя из N, n, α или β устанавливаются оценочные нормативы A_o и A_1. Если выборочное значение контролируемого параметра меньше или равно A_o, то партия признается надежной, если больше или равно A_1, то партия бракуется. При контроле партий, в которых $50 \le n \le 0{,}1 \cdot N$, то можно пользоваться следующими формулами, устанавливающими соотношения между α и A_o, β и A_1:

$$\alpha = 0{,}5 - \varphi\left(\frac{A_o - nq_o + 0{,}5}{\sqrt{nq_o(1-q_o)}}\right); \qquad \beta = 0{,}5 - \varphi\left(\frac{nq_1 + 0{,}5 - A_1}{\sqrt{nq_1\left(1-q_1\right)}}\right),$$

где A_o – приемочное число;

A_1 – браковочное число;

$\varphi(z)$ – функция Лапласа, значения которой находятся по таблице п.1 (см. приложение);

q_o – приемлемая вероятность отказа;

q_1 – верхняя граница вероятности отказа.

Приемлемая вероятность отказа q_o может быть определена, если известно: общий объем партии N и допустимое количество изделий с дефектами (отказавших в работе) $Д_o$:

$$q_o = \frac{Д_o}{N}.$$

Соответственно, верхняя $q_1 = \frac{Д_1}{N}$ или $q_1 = 1 - P_1$,

где P_1 – требуемая вероятность безотказной работы.

Типовой пример

Изготовлена партия бурового инструмента в количестве 250 шт. При испытании 25 изделий на стенде зарегистрировано 3 поломки твердого сплава. Найти с риском 0,15 соответствие требованиям к надежности всей партии, если допустимая вероятность безотказной работы по ТУ должна быть не менее 0,90.

Запишем условия задачи:

$$N = 250;\ n = 25;\ \beta_1 = 0{,}15;\ P < 0{,}9\ .$$

Решение: Определим верхнюю границу вероятности отказа.

$$q_1 = 1 - P_1 = 0{,}10; \qquad 0{,}15 = 0{,}5 - \varphi\left(\frac{25 \cdot 0{,}1 + 0{,}5 - A_1}{\sqrt{25 \cdot 0{,}1 \cdot (1 - 0{,}1)}}\right);$$

$$0{,}35 = \varphi\left(\frac{3 - A_1}{\sqrt{2{,}25}}\right), \text{ по табл. п.2 прил. П1,}$$

$$\text{при } \varphi(z) = 0{,}35; \quad z = 1{,}05 = \frac{3{,}00 - A_1}{\sqrt{2{,}25}}.$$

Откуда А≈1,00. Партия должна быть забракована, так как зарегистрированные три поломки больше допустимого количества отказов A_1.

Задача для самостоятельного решения

6.1. Испытаниям подвергнута опытная партия подъемных механизмов, для которых удовлетворительной вероятностью безотказной работы в каждом цикле считается $P_о = 0{,}98$. Требуется найти приемочное число отказов $A_о$ с допустимым риском $\alpha = 0{,}05$ при объеме испытаний $n = 500$ циклов.

6.2. Текст задачи 6.1. Условия $P_о = 0{,}92$; $\alpha = 0{,}1$; $n = 250$.

6.3. Текст задачи 6.1. Условия $P_о = 0{,}9$; $\alpha = 0{,}1$; $n = 100$.

6.4. Для контролируемой партии принят допустимый риск $\alpha = 0{,}10$. Приемлемая вероятность безотказной работы $P_о = 0{,}85$; в результате испытаний получено 8 отказов. Требуется произвести контроль партии, взяв выборку объемом в 100 экз.

Примечание:

6.5. Текст задачи 6.4. Условия $\alpha = 0{,}05$; $P_о = 0{,}9$; $A_о = 15$; $n = 50$.

6.6. Объем испытаний $n = 200$, верхняя граница вероятности отказа $q_1 = 0{,}10$, а браковочное число $A_1 = 15$. Определить риск заказчика.

6.7. Текст задачи 6.6. Условия $q_1 = 0{,}05$; $A_1 = 10$; $n = 150$.

6.8. Изготовлена серия перфораторов в количестве 520 шт. Для выходного контроля выделено 50 перфораторов. Для признания серии надежной в ней должно быть не более 5 % дефектных изделий. Определить приемочное число $A_о$ с риском $\alpha = 0{,}05$.

6.9. Текст задачи 6.8. Условия $N = 500$; $n = 55$; $\alpha = 0{,}1$.

6.10.Текст задачи 6.8. Условия $N = 650$; $n = 50$; $\alpha = 0{,}15$.

6.11. Изготовлено 55 опытных насосов. Допустимое число неисправных изделий 4 шт. Найти приемочное число $A_о$, если испытаниям будет подвергнуто 15 насосов. Решение должно быть принято с риском, не превышающим 0,10.

6.12. Текст задачи 6.11. Условия $N = 1000$; $Д_о = 5$; $n = 70$.

6.13. Текст задачи 6.11. Условия $N = 900$; $Д_о = 10$; $n = 55$.

6.14. На складе хранится 200 изделий. При испытании 50 изделий, взятых из общего числа случайным образом, зарегистрировано 2 отказа. Требуется найти с риском 0,20 соответствие требованию надежности всей партии изделий, если допустимая вероятность безотказной работы должна быть не менее 0,95.

6.15. Текст задачи 6.14. Условия $N = 500$; $n = 70$.

6.16. Текст задачи 6.14. Условия $N = 1000$; $n = 100$.

6.17. Для контроля надежности взята выборка $n = 60$ из серии $N = 800$ шт. Контролируемая партия пневмоударников допускает максимальную вероятность отказов менее 0,12. Определить браковочное число с риском $\beta = 0{,}10$.

6.18. Текст задачи 6.17. Условия $n = 55$; $\beta = 0{,}05$; $q_1 = 0{,}10$.

6.19. Текст задачи 6.17. Условия $n = 50$; $\beta = 0{,}15$; $q_1 = 0{,}15$.

6.20. Для выходного контроля техническими условиями на изготовление продукции установлен риск $\beta = 0{,}10$, вероятность безотказной работы изделия $P = 0{,}90$. Установить выдерживаются ли ТУ при объеме выборки испытания $n = 50$ и браковочном числе 1.

6.21. Текст задачи 6.20. Условия: какое должно быть установлено браковочное число A_1, при объеме выборки 100.

6.22. Вероятность отказа стартерного механизма дизеля трактора должна быть менее 0,08. Найти браковочное число A_1 с риском потребителя $\beta = 0{,}10$ при 1000 запусков двигателя.

6.23. Текст задачи 6.22. Условия $\beta = 0{,}05$; $n = 100$.

6.24. Система зажигания двигателя испытывалась после ремонта в течение 2000 циклов, при этом отмечено 50 отказов. Определить можно ли принять двигатель, если число отказов считать приемочным числом при риске $\alpha = 0{,}05$.

6.25. Текст задачи 6.24. Условия: 50 отказов, $\alpha = 0{,}10$.

6.26. Текст задачи 6.24. Условия: 50 отказов, $\alpha = 0{,}20$.

Вопросы:

1. В чем заключается риск изготовителя (заказчика)?
2. Дать количественную оценку этого риска в количестве изделий.
3. Как снизить риск (изготовителя, потребителя) без изменения качества изделия (за счет каких параметров)?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Боярских, Г. А., Куклин Л. Г. Надежность торфяных машин / Г. А. Боярских, Л. Г. Куклин. - Свердловск, 1990. - 96 с.

Боярских, Г. А. Надежность и ремонт горных машин / Г. А. Боярских. - Екатеринбург: УГГГА, 2002. - 400 с.

Боярских, Г. А. Теория старения машин. Екатеринбург: УГГУ, 2006.

Боярских, Г. А., Хазин М. Л. Надежность технических систем / / Г. А. Боярских, М. Л. Хазин. - Екатеринбург: УГГГА, 2002. - 180 с.

Волков, Д. П. Надежность строительных машин и оборудования. / Д. П. Волков. - М.: Высшая школа, 1979. - 400 с.

ГОСТ 27.503-81. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Методы определения точечных показателей надежности по результатам наблюдений. Изд. стандартов, 1982. - 55 с.

Кубачек, В. Р., Куклин Л. Г. Основы надежности горных машин / В. Р. Кубачек, Л. Г. Куклин. - Свердловский горный институт, 1982. - 78 с.

Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко. - М.: Наука, 1964. - 446 с.

Проников, А. С. Надежность машин / А. С. Проников. - М.: Машиностроение, 1978. - 591 с.

Решетов, Д. Н. Работоспособность деталей машин / Д. Н. Решетов. - М.: Высшая школа, 1974. - 206 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Значение функции

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \qquad \Phi(-z) = -\Phi(z)$$

z	$\Phi(z)$		z	$\Phi(z)$		z	$\Phi(z)$
0,00	0,000		1,00	0,341		2,60	0,495
0,05	0,020		1,05	0,353		2,70	0,496
0,10	0,040		1,10	0,364		2,80	0,497
0,15	0,050		1,15	0,375		2,90	0,498
0,20	0,080		1,20	0,384		3,00	0,499
0,25	0,100		1,25	0,385		3,25	0,499
0,30	0,118		1,30	0,403		3,50	0,499
0,35	0,138		1,40	0,419		3,75	0,499
0,40	0,156		1,50	0,433		4,00	0,499
0,45	0,174		1,50	0,445		4,25	0,500
0,50	0,192		1,60	0,450		4,50	0,500
0,55	0,210		1,70	0,464			
0,60	0,230		1,80	0,471			
0,65	0,242		1,90	0,477			
0,70	0,260		2,00	0,482			
0,75	0,274		2,10	0,486			
0,80	0,288		2,20	0,489			
0,85	0,302		2,30	0,491			
0,90	0,316		2,40	0,491			
0,95	0,323		2,50	0,494			

$$\Phi_o(z) = \Phi(z) + 0{,}5$$

Таблица П.2

Значение гамма -функции

x	$\Gamma(x)$		x	$\Gamma(x)$
1,00	1,000		1,85	0,946
1,05	0,974		1,90	0,962
1,10	0,951		1,95	0,980
1,15	0,933		2,00	1,000
1,20	0,918		2,50	1,3294
1,25	0,906		3,00	2,000
1,30	0,898		3,50	3,323
1,35	0,891		4,00	6,000
1,40	0,887		4,50	11,632
1,50	0,886		5,00	24,000
1,50	0,886		5,50	52,342
1,55	0,889		6,00	120,000
1,60	0,894		6,50	187,88
1,65	0,900		7,00	270,00
1,70	0,090		7,50	1871,20
1,75	0,919		8,00	5040,00
1,80	0,913			

Таблица П.3

Значение плотности вероятности $f_o = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}}$

$$f\ (-z) = -f(z)$$

z	$f_o(z)$	z	$f_o(z)$	z	$f_o(z)$
0,00	0,3989	1,50	0,1295	3,00	0,0044
0,05	0,3984	1,55	0,1200	3,05	0,0038
0,10	0,3970	1,60	0,1109	3,10	0,0033
0,15	0,3945	1,65	0,1023	3,15	0,0028
0,20	0,3910	1,70	0,0940	3,20	0,0024
0,25	0,3867	1,75	0,0863	3,25	0,0020
0,30	0,3814	1,80	0,0790	3,30	0,0017
0,35	0,3752	1,85	0,0721	3,35	0,0015
0,40	0,3683	1,90	0,0656	3,40	0,0012
0,45	0,3605	1,95	0,0596	3,45	0,0010
0,50	0,3521	2,00	0,0540	3,50	0,0009
0,55	0,3429	2,05	0,0488	3,55	0,0007
0,60	0,3332	2,10	0,0440	3,60	0,0006
0,65	0,3230	2,15	0,0396	3,65	0,0005
0,70	0,3123	2,20	0,0335	3,70	0,0004
0,75	0,3011	2,25	0,0317	3,75	0,0003
0,80	0,2897	2,30	0,0283	3,80	0,0003
0,85	0,2780	2,35	0,0252	3,85	0,0002
0,90	0,2661	2,40	0,0224	3,90	0,0002
0,95	0,2541	2,45	0,0198	3,95	0,0002
1,00	0,2420	2,50	0,0175		
1,05	0,2299	2,55	0,0154		
1,10	0,2179	2,60	0,0136		
1,15	0,2059	2,65	0,0119		
1,20	0,1942	2,70	0,0104		
1,25	0,1826	2,75	0,0091		
1,30	0,1714	2,80	0,0079		
1,35	0,1604	2,85	0,0069		
1,40	0,1497	2,90	0,0060		
1,45	0,1394	2,95	0,0051		

$$f_o(z) = f(z) + 0{,}5$$

Таблица П.4

Выбор номенклатуры нормируемых показателей надежности технических устройств (выписка из МУЗ - 69)
I. Определение шифра изделий

Номер места в шифре	Признак шифра	Определение шифра
1	Ремонтопригодность	1 - неремонтируемые 2 - ремонтируемые
2	Ограничение продолжительности эксплуатации	Неремонтируемые изделия 1 - до отказа 2 - до отказа или до достижения предельного состояния Ремонтируемые изделия 1 - до первого отказа 2 - до отказа или до достижения предельного состояния 3 - до достижения предельного состояния 4 - до предельного состояния в режиме ожидания
3	Временной режим использования	1 - непрерывный 2 - циклический регулярный 3 - циклический нерегулярный
4	Оценка последствий отказа	Неремонтируемые изделия 1 - факт отказа 2 - факт выполнения заданных функций в заданном объеме Ремонтируемые изделия 1 - наличие отказа 2 - факт выполнения заданных функций 3 - факт вынужденного простоя 4 - наличие отказа и вынужденный простой

Таблица П.5

II. Выбор нормируемых показателей

Шифр изделия	Показатели надежности		Шифр изделия	Показатели надежности
1111, 1121, 1131, 2111, 2121, 2131	T_o		2413, 2423, 2433 2212,2233,2313	$K_{\text{ти}}, T_\gamma$ $K_\text{г}, T_\gamma$
1211, 1221, 1231, 2211, 2221, 2231	T_o, T_γ		2414	$K_{\text{ти}}, \omega_{(t)}, T_\gamma$
1222, 1232, 2222, 2232, 2322, 2132 2212	$P_{(t)}$, T_γ		2424, 2434 2333	$K_\text{т}, \omega_{(t)}, T_\gamma$
2411, 2421, 2311	$\omega_{(t)}$, T_γ		2412, 2432, 2422 2112	$K_{\text{ог}}, T_\gamma, K_\text{г}$

ТЕСТИРОВАНИЕ УРОВНЯ УСВОЕНИЯ ЛЕКЦИЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНО ИЗУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Усвоение теоретической основы дисциплины оценивается после прослушивания лекций и защиты практических и самостоятельных работ студентов по аттестационно-педагогическим испытательным материалам (АПИМ) дисциплины.

Атестационно-педагогические измерительные материалы

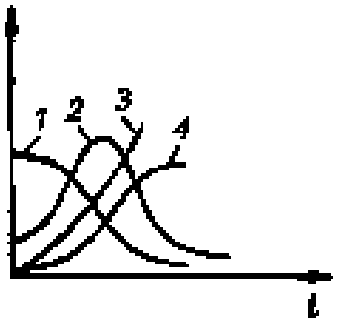
Тестирование уровня усвоения лекций и самостоятельно изученных материалов осуществляется по вопросам тест-заданий с вариантами ответов по 61 вопросу с пятью вариантами ответов.(один из них правильный)

1. Определите гамма – процентный ресурс $T_{\gamma=0,8}$ …

1) $T_{0,8}$=50 ч; 2) $T_{0,8}$=20 ч; 3) $T_{0,8}$=40 ч;
4) $T_{0,8}$=60 ч; 5) $T_{0,8}$=70 ч.

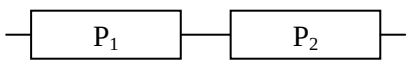
2. Какой процесс старения машины связан с уменьшением интенсивности отказов ?
1) приработка; 2) коррозия 3) перенаклеп;
4) усталость; 5) изменение напряженного состояния.

3. На рисунке укажите график безотказной работы …



1) график 1 2) график 2; 3) график 3;
4) график 4; 5) отсутствует на рисунке.

4. Надежность системы при $P_1 = P_2 = 0,9$

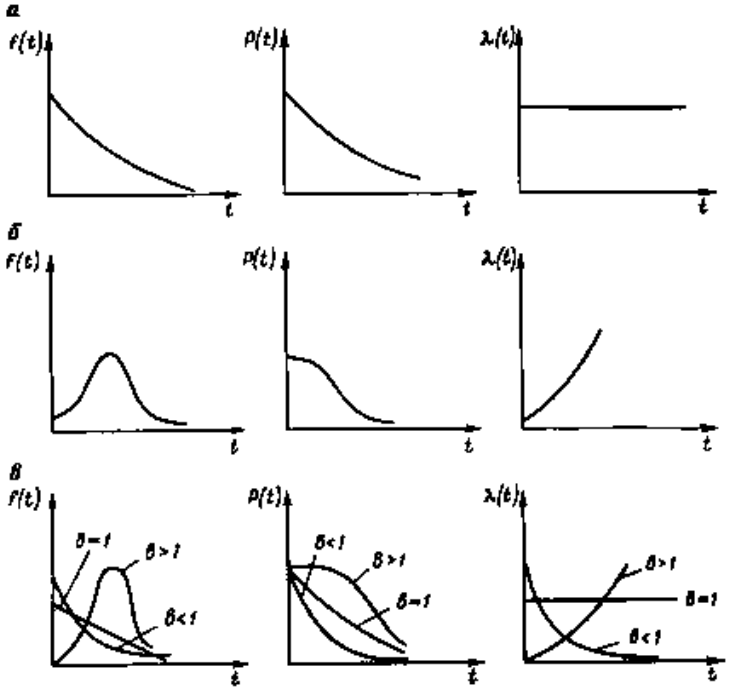


составляет…

1) P=(0,9+0,9)/2=0,9; 2) P= $\sqrt{0.9^2+0.9^2}$ =1,27; 3) P=1-(1-0,9)^2=0,99

4) P=0,9; 5) P=0,9*0,9=0,81.

5. На рисунке укажите график нормального закона распределения наработки на отказ и соответствующую ему функцию вероятности безотказной работы или плотности распределения отказов…



1) график а): 2) график б): 3) график в):

$f_{(t)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t_i}$ $f_{(t)} = \frac{1}{t_i \sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_i - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2\sigma}}$ $f_{(t)} = b \cdot \lambda \cdot t_i^{b-1} \cdot e^{-\lambda t_i^b}$

4) график б): 5) график б):

$f_{(t)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - T_{cp})}{2\sigma^2}}$ $P_{(t)} = e^{-\lambda t_i}$

6. Рассчитать по одному из вариантов плотность вероятности отказов для момента 350 ч $f_{(350)}$ для нормального закона ее распределения, если известны $T_{ср}$ = 850 ч, σ = 220 ч …

1) $f_{(t_i=350)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t_i} = \frac{1}{T_{cp}} \cdot e^{-\frac{1}{T_{cp}} t_i} = \frac{1}{850} \cdot e^{-\frac{1}{850}350}$ =0, 00078 ч$^{-1}$;

2) $f_{(t_i=350)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - T_{cp})^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{220\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(350-850)^2}{2 \cdot 220^2}}$ =0,00014 ч$^{-1}$;

3) $f_{(t_i=350)} = \frac{1}{t_i \sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_i - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2\sigma}} = \frac{1}{350 \cdot 220\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln 350 - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2 \cdot 220}}$ =0,00011 ч$^{-1}$;

4) $f_{(t_i=350)} = b \cdot \lambda \cdot t_i^{b-1} \cdot e^{-\lambda t_i^b} = 3 \cdot 0.001 \cdot 350^{1-1} \cdot e^{-0.001 \cdot 350^1}$ =0,002 ч$^{-1}$;

5) $f_{(t_i=350)} = e^{-\lambda t_i} = e^{-\frac{1}{T_{cp}} t_i} = e^{-\frac{1}{850}350}$ =0,66 ч$^{-1}$.

7. Выбрать условие обеспечения запаса статистической прочности деталей машин:

1) отношение нагрузки к прочности $\delta_a / \delta_т$=1; 2) отношение прочности к нагрузке $\delta_т / \delta_a$<1; 3) отношение прочности к нагрузке $\delta_т / \delta_a$>1;

4) отношение нагрузки к прочности $\delta_a / \delta_т$>1; 5) отношение нагрузки к пределу выносливости δ_a / δ_{-1}=1.

8. Какие из перечисленных показателей используют для количественной оценки ремонтопригодности?

А) Вероятность безотказной работы – $P_{(t)}$

б) Вероятность восстановления в заданное время – $P_{(tз)}$

в) Вероятность отказа – $F_{(t)}$

г) Средняя наработка на отказ – $T_{ср}$

д) Среднее время восстановления – $T_{(в)ср}$

е) Коэффициент готовности – $К_г$

ж) Себестоимость ремонта – $С_р$

Ответ: 1) г, д, ж; 2) а, б, в; 3) б, е, ж; 4) б, г, ж; 5) б, д, ж.

9. Какие из указанных процессов повреждений вызывают старение машин:

а) износ; б) усталость; в) старение материала; г) коррозия.

1) а, в; 2) а, г; 3) б, г;

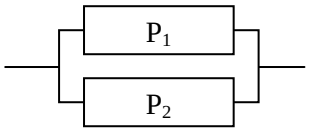
4) а, б; 5) все

10. Определите среднюю наработку на отказ изделий на основе зафиксированных моментов отказов, ч: 40, 60, 80, 120, 100, 200 …

1) 50 ч; 2) 100 ч; 3) 120 ч;

4) 80 ч; 5) 90 ч.

11. Надежность системы при $P_1 = P_2 = 0{,}9$

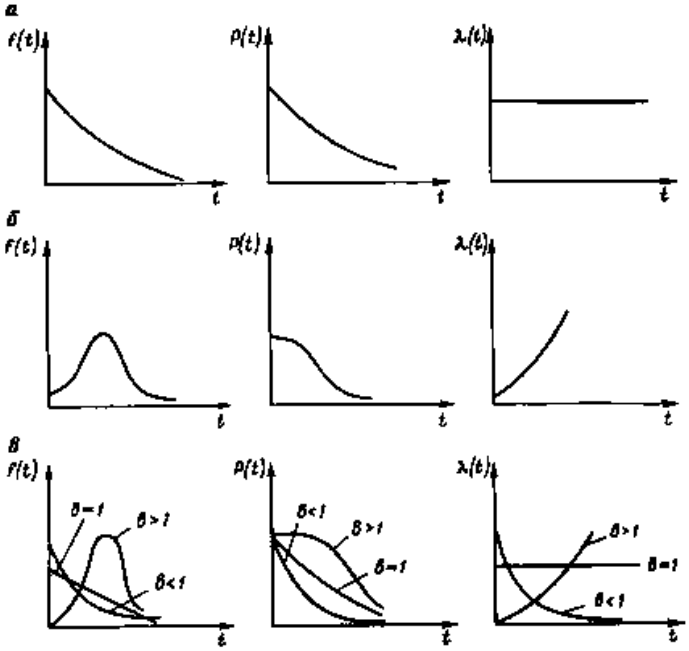


составляет…

1) P=(0,9+0,9)/2=0,9; 2) $P=\sqrt{0.9^2+0.9^2}=1{,}27$; 3) $P=1-(1-0{,}9)^2=0{,}99$;

4) P=0,9; 5) P=0,9*0,9=0,81.

12. На рисунке укажите график экспоненциального закона распределения наработки на отказ и соответствующую ему функцию вероятности безотказной работы или плотности распределения отказов…



1) график а): 2) график б): 3) график в):

$f_{(t)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t_i}$ $f_{(t)} = \dfrac{1}{t_i \sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_i - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2\sigma}}$ $f_{(t)} = b \cdot \lambda \cdot t_i^{b-1} \cdot e^{-\lambda t_i^b}$

4) график б): 5) график б):

$P_{(t)} = e^{-\lambda t_i}$

$$f_{(t)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - T_{cp})}{2\sigma^2}}$$

13. Рассчитать по одному из вариантов плотность вероятности отказов для момента 350 ч $f_{(350)}$ для экспоненциального закона ее распределения, если известны $T_{ср}$ = 850 ч, σ = 220 ч …

1) $f_{(t_i=350)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t_i} = \frac{1}{T_{cp}} \cdot e^{-\frac{1}{T_{cp}} t_i} = \frac{1}{850} \cdot e^{-\frac{1}{850} 350}$ =0, 00078 ч$^{-1}$;

2) $f_{(t_i=350)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - T_{cp})^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{220\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(350-850)^2}{2 \cdot 220^2}}$ =0,00014 ч$^{-1}$;

3) $f_{(t_i=350)} = \frac{1}{t_i \sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_i - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2\sigma}} = \frac{1}{350 \cdot 220\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln 350 - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2 \cdot 220}}$ =0,0001 ч$^{-1}$;

4) $f_{(t_i=350)} = b \cdot \lambda \cdot t_i^{b-1} \cdot e^{-\lambda t_i^b} = 3 \cdot 0.001 \cdot 350^{1-1} \cdot e^{-0.001 \cdot 350^1}$ =0,002 ч$^{-1}$;

5) $f_{(t_i=350)} = e^{-\lambda t_i} = e^{-\frac{1}{T_{cp}} t_i} = e^{-\frac{1}{850} 350}$ =0,66 ч$^{-1}$.

14. Выбрать условие обеспечения запаса циклической прочности деталей машин:
1) отношение предела выносливости к циклической нагрузке детали равно единице;
2) отношение предела выносливости к циклической нагрузке детали более единицы;
3) отношение циклической нагрузки к пределу выносливости детали более единицы;
4) отношение циклической нагрузки к пределу выносливости детали менее единицы;
5) отношение предела выносливости детали к напряжению цикла более единицы.

15. Коэффициент готовности определяется как …

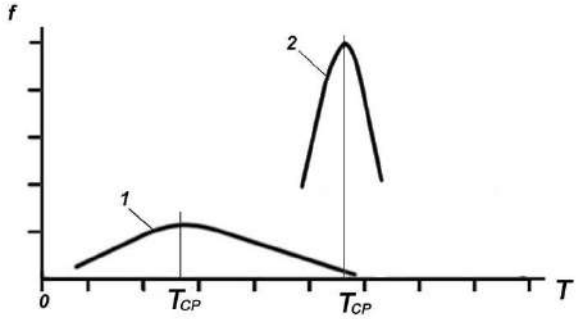
1) $Кг = \frac{T_O}{T_O + T_B}$; 2) $Кг = \frac{T_{сум}}{T_{сум} + T_{рем} + T_{об}}$; 3) $Кг = \frac{T_O}{T_B}$;

4) $Кг = \frac{T_O + T_B}{T_O}$; 5) $Кг = \frac{T_{сум} + T_{рем} + T_{об}}{T_{сум}}$.

Где $T_о$ – наработка на отказ;
$T_в$ – среднее время восстановления;
$T_{сум}$ – суммарная наработка всех исследуемых объектов;
$T_{рем}$ – суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов;
$T_{об}$ – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов.

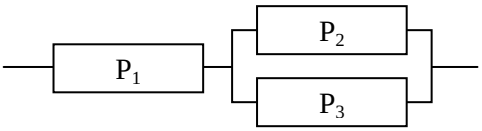
16. По какому критерию оценивается предельный износ сопряжений с посадками с натягом:
1) по допустимой осевой нагрузке;
2) по допустимому крутящему моменту;
3) по биению охватывающей детали;
4) по удельному давлению на контактные поверхности;
5) по наименьшему монтажному натягу.

17. Надежность какого из объектов, функции частот отказов которых приведены на рисунке, выше и почему ?



1) график 1 – т.к. площадь под функцией частоты отказов (график 1) больше;
2) график 2 – т.к. средний ресурс больше, а рассеивание функции 2 меньше;
3) график 2 – т.к. средняя наработка функции 2 больше;
4) график 2 – т.к. среднеквадратическое отклонение функции 2 меньше;
5) график 1 – т.к. частота отказов ниже, а рассеивание функции 1 больше;

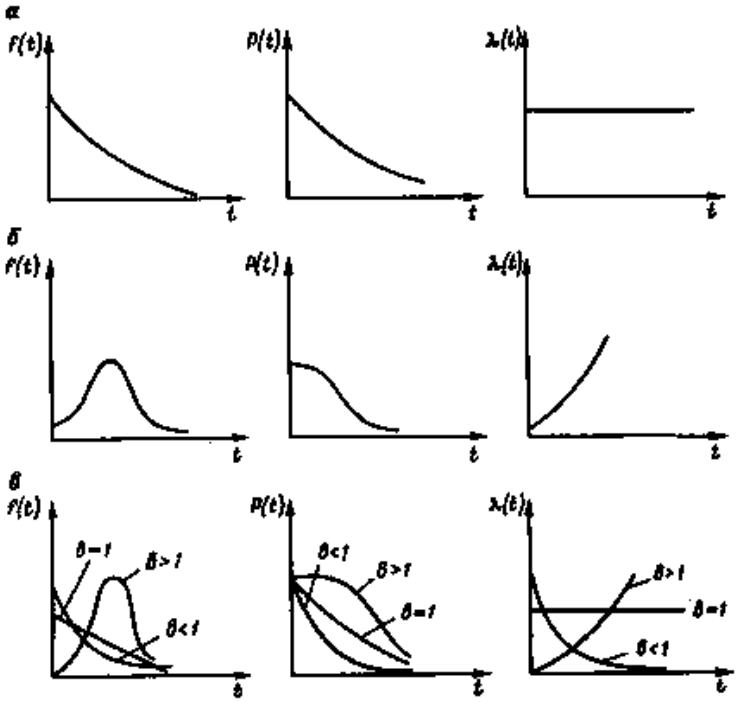
18. Надежность системы при $P_1 = P_2 = P_3 = 0{,}9$



составляет…

1) $P=0{,}9*\sqrt{0.9^2+0.9^2}=1{,}143$;
2) $P=0{,}9*(1-(1-0{,}9)^2)=0{,}891$
3) $P=0{,}9+(1-0{,}9)^2=0{,}915$;
4) $P=0{,}9*0{,}9/0{,}9=0{,}9$;
5) $P=0{,}9*((0{,}9+0{,}9)/2)=0{,}81$.

19. На рисунке укажите график закона распределения Вейбулла наработки на отказ и соответствующую ему функцию вероятности безотказной работы или плотности распределения отказов…



1) график а):
$f_{(t)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t_i}$;

2) график б):
$f_{(t)} = \frac{1}{t_i \sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_i - \frac{\sum \ln t_i}{N})}{2\sigma}}$;

3) график в):
$f_{(t)} = b \cdot \lambda \cdot t_i^{b-1} \cdot e^{-\lambda t_i^b}$;

4) график б):
$f_{(t)} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - T_{cp})}{2\sigma^2}}$;

5) график б):
$P_{(t)} = e^{-\lambda t_i}$.

20. Рассчитать по одному из вариантов плотность вероятности отказов для момента 350 ч $f_{(350)}$ для закона распределения Вейбулла, если известны $T_{ср}$ = 850 ч, σ = 220 ч …

1) $f_{(t_i=350)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t_i} = \frac{1}{T_{ср}} \cdot e^{-\frac{1}{T_{ср}} t_i} = \frac{1}{850} \cdot e^{-\frac{1}{850} 350}$ =0,00078 ч$^{-1}$;

2) $f_{(t_i=350)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - T_{ср})^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{220\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(350-850)^2}{2 \cdot 220^2}}$ =0,00014 ч$^{-1}$;

3) $f_{(t_i=350)} = \frac{1}{t_i \sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_i - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2\sigma}} = \frac{1}{350 \cdot 220\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln 350 - \frac{\Sigma \ln t_i}{N})}{2 \cdot 220}}$ =0,00011 ч$^{-1}$;

4) $f_{(t_i=350)} = b \cdot \lambda \cdot t_i^{b-1} \cdot e^{-\lambda t_i^b} = 3 \cdot 0.001 \cdot 350^{1-1} \cdot e^{-0.001 \cdot 350^1}$ =0,002 ч$^{-1}$;

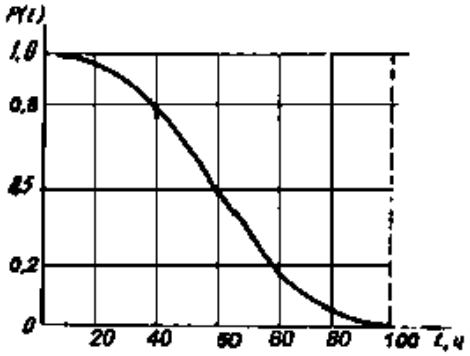
5) $f_{(t_i=350)} = e^{-\lambda t_i} = e^{-\frac{1}{T_{ср}} t_i} = e^{-\frac{1}{850} 350}$ =0,66 ч$^{-1}$.

21. Выбрать вариант снижения риска изготовителя (поставщика) машины α по следующему соотношению:

$$\alpha = 0{,}5 - \varphi\left(\frac{A_O - nq_O + 0{,}5}{\sqrt{nq_O(1-q_O)}}\right) \ldots$$

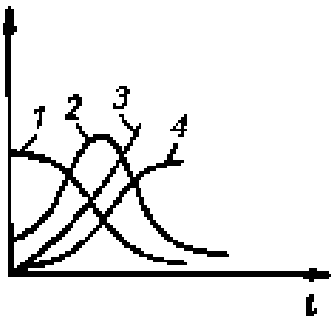
1) Увеличить приемочное число годных машин A_O;
2) Увеличить приемлемую границу вероятности выявления дефектного экземпляра q_O;
3) Увеличить объем контролируемой партии N машин;
4) Уменьшить объем выборки n из контролируемой партии N машин;
5) Увеличить объем выборки n.

22. Определите вероятность отказа F при гамма – процентном ресурсе T_γ = 40 ч …



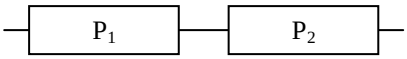
1) F=0,2; 2) F=0,4; 3) F=0,5;
4) F=1,0; 5) F=0,8.

23. На рисунке укажите график плотности отказов …



1) график 1 2) график 2; 3) график 3;
4) график 4; 5) отсутствует на рисунке.

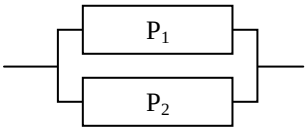
24. Надежность системы при $P_1 = P_2$ =0,7



составляет…

1) P=$\sqrt{0.7^2+0.7^2}$ =0,99; 2) P=(0,7+0,7)/2=0,7; 3) P=1-(1-0,7)^2=0,91;
4) P=0,7; 5) P=0,7*0,7=0,49.

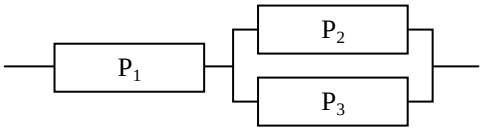
25. Надежность системы при $P_1 = P_2 = 0,7$



составляет…

1) P=1-(1-0,7)^2=0,91; 2) P=0,7*0,7=0,49; 3) P=$\sqrt{0.7^2+0.7^2}$ =0,99;
4) P=0,7; 5) P=(0,7+0,7)/2=0,7.

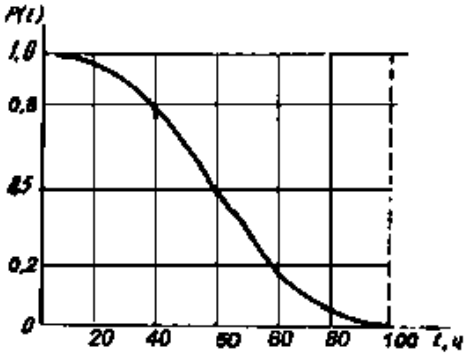
26. Надежность системы при $P_1 = P_2 = P_3 = 0,7$



составляет…

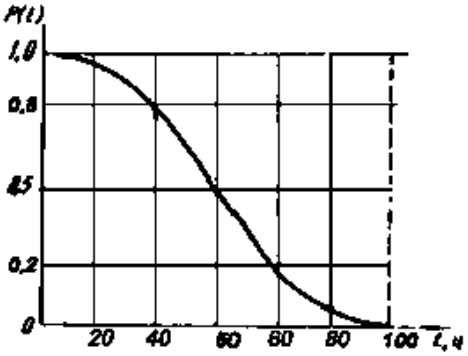
1) P=0,7*$\sqrt{0.7^2+0.7^2}$ =0,69; 2) P=0,7*((0,7+0,7)/2)=0,49; 3) P=0,7+(1-0,7)^2 =0,79;
4) P=0,7*(1-(1-0,7)^2)=0,637; 5) P=0,7*0,7/0,7=0,7.

27. Определите вероятность отказа F при гамма – процентном ресурсе $T_\gamma = 60$ ч …



1) F=1,0; 2) F=0,5; 3) F=0,4;
4) F=0,8; 5) F=0,2.

28. Определите гамма – процентный ресурс $T_{\gamma=0,5}$ …



1) $T_{0,8}$=40 ч; 2) $T_{0,8}$=70 ч; 3) $T_{0,8}$=50 ч;
4) $T_{0,8}$=60 ч; 5) $T_{0,8}$=20 ч.

29. Коэффициент технического использования определяется как …
где $T_о$ – наработка на отказ;
$T_в$ – среднее время восстановления;
$T_{сум}$ – суммарная наработка всех исследуемых объектов;
$T_{рем}$ – суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов;
$T_{об}$ – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов.

1) $Ктu = \frac{T_O}{T_O + T_B}$; 2) $Ктu = \frac{T_O + T_B}{T_O}$; 3) $Ктu = \frac{T_O}{T_B}$;

4) $Ктu = \frac{T_{сум}}{T_{сум} + T_{рем} + T_{об}}$; 5) $Ктu = \frac{T_{сум} + T_{рем} + T_{об}}{T_{сум}}$.

30. По какому критерию оценивается предельный износ сопряжения вал – подшипник скольжения:
1) по допустимому изменению диаметра шейки вала;
2) по допустимому изменению диаметра отверстия;
3) по допустимому отклонению формы шейки вала;
4) по допустимому отклонению формы отверстия;
5) по допустимому изменению посадки сопряжения.

31. Какой вид трения имеет место в сопряжении, работающем со смазкой, и характеризуется постоянством коэффициента трения ?
1) полусухое; 2) полужидкостное; 3) сухое;
4) граничное; 5) жидкостное.

32. Какими показателями оценивается сохраняемость ?
а) сроком службы,
б) гамма – процентным сроком службы,
в) средним сроком сохраняемости,
г) средним ресурсом,
д) средней наработкой на отказ.
Ответ: 1) а, г; 2) б, г; 3) а, д; 4) все; 5) б, в.

33. Выбрать вариант снижения риска потребителя машины β по следующему соотношению $\beta = 0{,}5 - \varphi\left(\frac{nq_1 + 0{,}5 - A_1}{\sqrt{nq_1(1-q_1)}}\right)$:
1) Увеличить приемочное число бракованных машин A_1;
2) Увеличить объем выборки n из контролируемой партии N машин;
3) Увеличить объем контролируемой партии N машин;
4) Увеличить верхнюю границу вероятности выявления дефектного экземпляра q_1;
5) Уменьшить объем выборки n.

34. Невосстанавливаемая система – это:
1) система, восстановление которой непосредственно после отказа экономически нецелесообразно, но технически возможно
2) система, восстановление которой непосредственно после отказа технически невозможно
3) система, восстановление которой непосредственно после отказа экономически нецелесообразно
4) система, восстановление которой непосредственно после отказа экономически нецелесообразно или технически невозможно
5) система, восстановление которой непосредственно после отказа не проводится

35. По виду избыточности резервирование бывает:
1) функциональное, временное, информационное, структурное
2) общее, раздельное, динамическое, пассивное
3) структурное, технологическое, схемное, общее
4) функциональное, структурное, общее, поэлементное
5) информационное, программное, техническое, полное

36. Структурной схемой объекта расчета надежности называется:
1) графическое изображение элементов системы, определяющее их функциональные связи
2) графическое изображение элементов системы, позволяющее однозначно определить их состояние (работоспособное или неработоспособное)
3) графическое изображение элементов системы, позволяющее однозначно провести их сборку
4) графическое изображение элементов системы, позволяющее однозначно определить конструкцию системы (резервированная или не резервированная)
5)графическое изображение элементов системы, позволяющее однозначно определить тип системы (восстанавливаемая или невосстанавливаемая)

37. При расчете надежности горного оборудования необходимо учитывать:
ьтаты математического расчета по формулам теории вероятности
2) режимы и сменность работы
3) климатические условия и географическое расположение предприятия
4) наличие агрессивной среды
5) всё вышеперечисленное

38. Под действием шахтной атмосферы срок службы изоляции проводов и кабелей:
1) уменьшается
2) не изменяется
3) повышается
4) зависит от глубины шахты
5) зависит от температуры среды

39. Интегральная функция экспоненциального распределения имеет вид:

1) $F(x) = 1 - (1-k)^x$

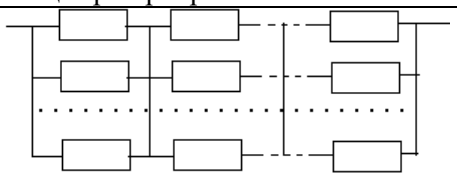
2) $F(t) = 1 - e^{-\lambda t^k}$

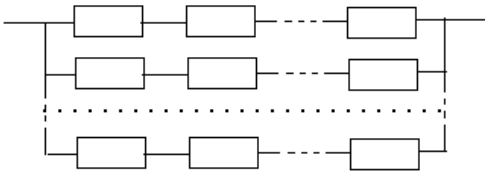
3) $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

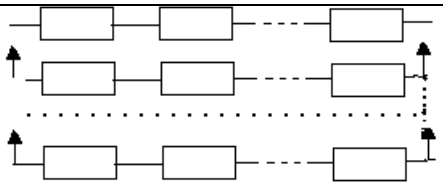
4) $F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}$

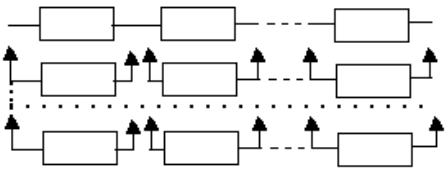
5) $F(t) = \Phi\left(\frac{t - \tau}{S}\right)$

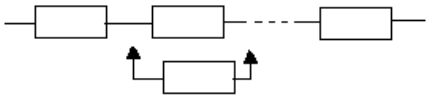
40. Общее резервирование с постоянно включенным резервом:

1) 

2) 

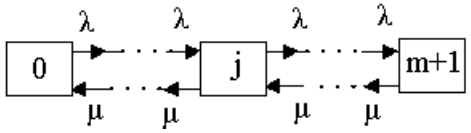
3) 

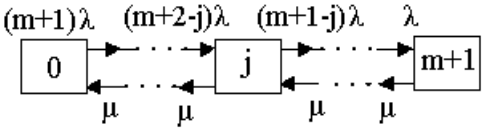
4) 

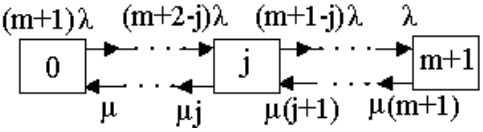
5) 

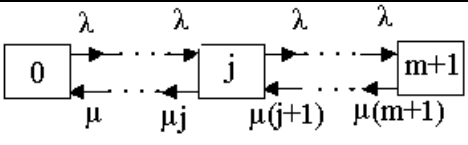
41. Интенсивность отказов – это показатель:
1) единичный
2) качественный
3) технический
4) комплексный
5) операционный

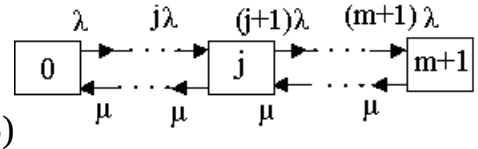
42. Схема состояний для восстанавливаемой системы с ненагруженным резервом и одной ремонтной бригадой имеет вид:

1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

43. Эффективность системы автоматизации определяется:
1) увеличение расходов на резервирование
2) повышением надежности и снижением потерь от её отказов
3) повышением средней наработки на отказ
4) снижением интенсивности и частоты отказов
5) повышением надежности, снижением потерь от её отказов, превышающие затраты на резервирование

44. Двухполюсные элементы имеют отказы вида:
1) обрыв и короткое замыкание
2) обрыв и ложное срабатывание
3) короткое замыкание и ложное срабатывание
4) ложное срабатывание
5) отсутствие ложного срабатывания

45. Коэффициент готовности – это показатель:
1) качественный 4) оперативный
2) единичный
3) комплексный 5) функциональный

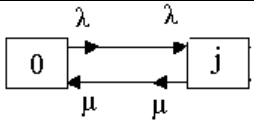
46. Отказы бывают:
1) временные и частичные 4) внезапные и постепенные
2) быстрые и медленные
3) резкие и плавные 5) мгновенные и ползучие

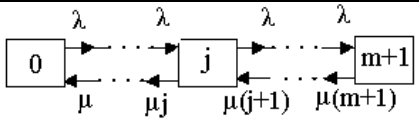
47. Для нерезервированных невосстанавливаемых систем характерно соединение:
1) основное 4) общее
2) параллельное
3) комбинированное 5)поэлементное

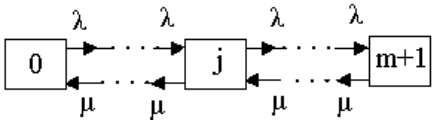
48. Методы расчета надежности могут быть:
1) аналитические и экспериментальные
2) геометрические и статистические
3) математические и физические
4) дифференциальные и интегральные
5) статистические и вероятностные

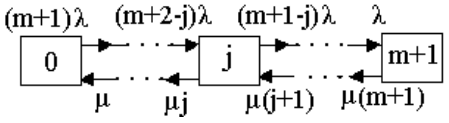
49. В системах автоматизации отказы формируются как:
1) общие и локальные 4) программные и технические
2) полные и неполные
3) общие и частичные 5) полные и частичные

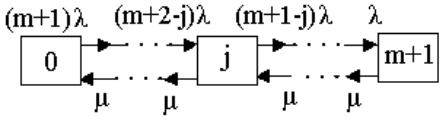
50. Схема состояний нерезервированной восстанавливаемой системы имеет вид:

1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

51. Запасные части – это часть резервирования:
1) функционального 4) технического
2) общего
3) структурного 5) поэлементного

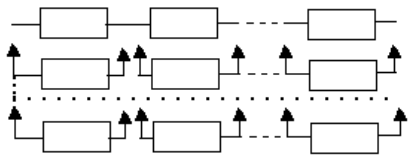
52. Основное соединение элементов – это соединение, при котором к отказу системы приводит:
1) отказ любого элемента системы 4) отказ 75 % элементов
2) отказ части элементов
3) отказ первого элемента 5) отказ 25 % элементов

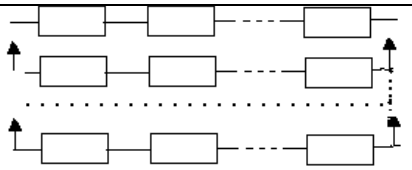
53. Восстанавливаемая система – это система:
1) согласно графику ремонта
2) по мере обнаружения отказа
3) в случае необходимости
4) непосредственно после отказа
5) если это экономически целесообразно

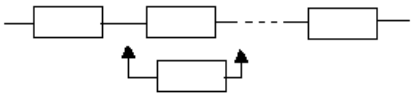
54. Запасные части групповой ЗИП – это разновидность структурного резервирования:
1) пассивного
2) общего
3) поэлементного
4) динамического
5) скользящего

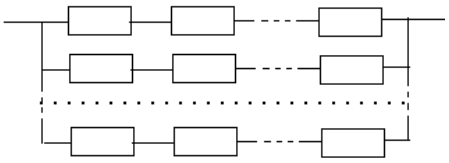
55. Структурное резервирование может быть:
1) общим, поэлементным, временным
2) общим, частичным, скольжением
3) общим, поэлементным замещением
4) поэлементным, функциональным, общим
5) информационным, замещением, мажоритарным

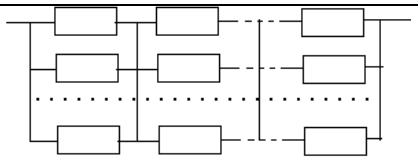
56. Система с общим резервирование замещением:

1) 

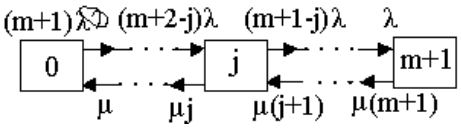
2) 

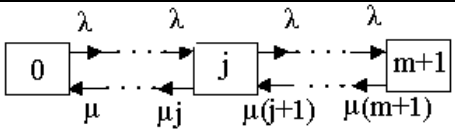
3) 

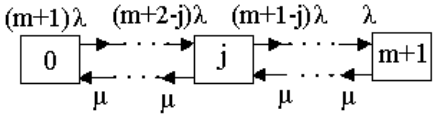
4) 

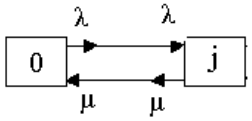
5) 

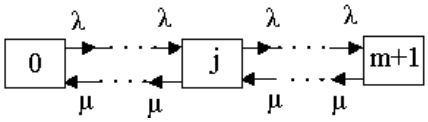
57. Схема состояний восстанавливаемой системы с ненагруженным резервом и числом ремонтных бригад равным m+1:

1) 

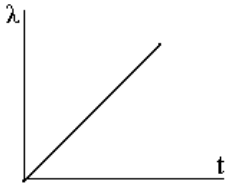
2) 

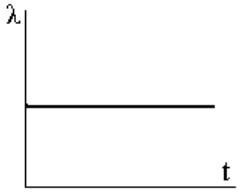
3) 

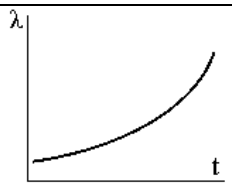
4) 

5) 

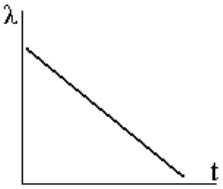
58. Особенностью экспоненциального распределения является:

1) 

2) 

3) 

4)

5) 

59. Влияние внешних воздействий на показатели надежности учитывается как:
1) не учитывается
2) сумма поправочных коэффициентов
3) возведение в степень поправочных коэффициентов
4) произведением поправочных коэффициентов
5) вычитанием суммы поправочных коэффициентов из величины показателя

60. Резервирование повышает надежность системы, если эффективность (Bi)
1) $B_p = \frac{P_p}{P_o} > 1$ и $B_q = \frac{Q_o}{Q_p} > 1$
2) $B_p = 1$ и $B_q = 1$
3) $B_p < 1$ и $B_q < 1$
4) $B_p > 1$ и $B_q > 1$
5) $B_p < 1$ и $B_q > 1$

61. По степени нарушения работоспособности системы отказы делятся на:
1) функциональные и технические
2) общие и локальные
3) полные и частичные
4) явные и неявные
5) полные и неполные

62. Средняя наработка до отказа это показатель:
1) комплексный
2) единичный
3) функциональный
4) оперативный
5) технический

63. Коэффициент оперативной готовности это показатель:
1) технический
2) единичный
3) комплексный
4) комбинированный
5) функциональный

64. Для элементов в невосстанавливаемой нерезервированной системе характерно соединение:
1) основное
2) параллельное
3) комбинированное
4) динамическое
5) активное

65. Расчет надежности восстанавливаемых систем проводится методом:
1) функций интенсивности
2) переходных функций
3) переходных состояний
4) переходных интенсивностей
5) дифференциальных состояний

66. Методы определения показателей надежности основываются на:
1) теории вероятностей и статистических расчетах
2) теории вероятностей
3) статистических расчетах
4) математическом анализе и теории вероятностей
5) статистических расчетах и элементах комбинаторики

Примечание. Материалы разработаны при участии Боярских Г. А. и Симисинова Д. И.

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

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета
«____» _____ 2018 г.

Председатель комиссии
проф. В.П. Барановский

Г. П. Дылдин, Н.В. Макаров

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ И ИСПЫТАНИЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Учебно-методическое пособие

для студентов направления подготовки15.03.02. «Технологические машины и оборудование». Профиль бакалавриата «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов».

Издание УГГУ Екатеринбург, 2018

Д 87

Рецензент:Попов А. Г., канд. техн. наук, доцент кафедры ГМК Уральского государственного горного университета

Учебно-методическое пособие рассмотрено на заседании кафедры горной механики« 6 » июля 2018г. (протокол № 171) и рекомендовано для издания в УГГУ

Дылдин Г. П., Макаров Н.В.

Д87 РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ И ИСПЫТАНИЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ: учебно-методическое пособие по дисциплине «Насосы и компрессоры» для студентов в соответствии с ФГОС направления подготовки 15.03.02. «Технологические машины и оборудование», утвержденного приказом Минобрнауки России 20.10.2015 г. № 1170. Профиль бакалавриата «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» очного и заочного обучения /сост. Г. П. Дылдин, Н. В. Макаров – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. - 38 с.

В пособии изложены краткие сведения из теории рудничных турбомашин и основные способы регулирования их режима работы. Содержатся сведения по испытанию турбокомпрессоров, насосов и для выполнения и оформления лабораторной работы по испытанию насосной установки.

© Дылдин Г. П., Макаров Н.В., 2018
© Уральский государственный
горный университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ТУРБОМАШИН . . . 4
1.1. Принцип действия турбомашин и величины, характеризующие их работу 4
1.2. Действительные характеристики турбомашин 9
1.3. Регулирование подачи турбомашин 10
2. ИСПЫТАНИЕ ТУРБОМАШИН 14
2.1. Испытания компрессоров 14
2.2. Испытание насосов 16
2.3. Лабораторная работа «Испытание центробежного насоса»17
2.4. Оформление отчета по лабораторной работе 34
Список литературы 37

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ТУРБОМАШИН

1.1. Принцип действия турбомашин и величины, характеризующие их работу

Турбомашина – это агрегат с вращающимся рабочим органом – ротором, преобразующим механическую работу в потенциальную и кинетическую энергию текучего (воды, воздуха, газа и т.д.) путем силового взаимодействия лопастей и обтекающего их потока [1].

В практике горного дела широко используются турбомашины – насосы, вентиляторы, компрессоры, которые в силу специфики их эксплуатации называют рудничными. При этом любая рудничная турбомашина имеет, безусловно, общепромышленное назначение, и значительное число общепромышленных турбомашин может быть приспособлено для использования в рудничных условиях.

По конструкции и характеру движения жидкости относительно оси вращения рабочего колеса различают центробежные и осевые турбомашины.

Центробежная одноступенчатая турбомашина (рис.1.1) состоит из:

1. Рабочее колесо
2. Лопатки (лопасти) рабочего колеса
3. Подводящее устройство
4. Спиральное улиткообразное устройство
5. Вал
6. Диффузор.

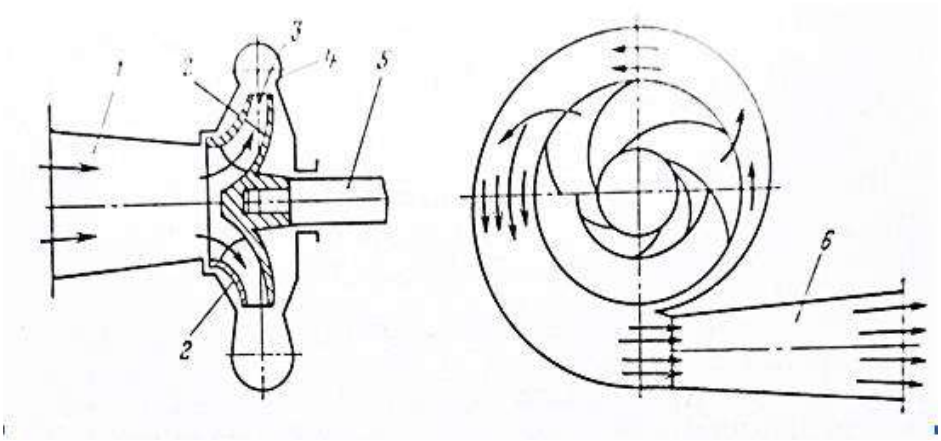


Рис. 1.1. Схема центробежной турбомашины

При вращении рабочего колеса, в направлении, показанном стрелкой, текучее, находящееся в межлопастных каналах, под действием лопастей и центробежных сил приходит в движение.Лопасти рабочих колес центробежных турбомашин могут быть: загнутые вперед, радиальные и загнутые назад. Перемещаясь вдоль лопастей от входа в колесо к выходу из него, поток текучего получает приращение полной энергии – суммы потенциальной и кинетической энергии (статического и скоростного напора) и затем поступает в спиральный отвод. В постепенно расширяющемся спиральном отводе кинетическая энергия потока частично преобразуется в потенциальную – в статический напор (давление), который еще больше возрастает в диффузоре[2]. Поток текучего поступает в рабочее колесо непрерывно, так как в центре колеса при работе турбомашины непрерывно создается разряжение. Описанная турбомашина имеет одно рабочее колесо с односторонним входом жидкости.

Для увеличения подачи (производительности) икомпенсации осевого усилия на рабочее колесо применяются

рабочие колеса с двухсторонним входом текучего (рис.1.2).

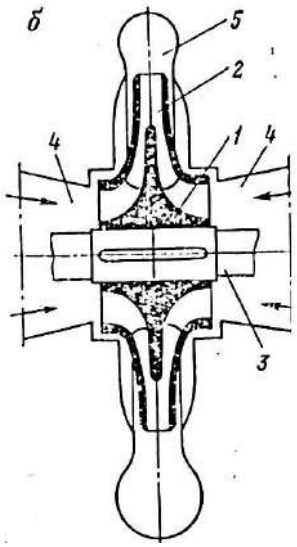


Рис. 1.2. Колесо с двухсторонним всасыванием

Применяются также многоступенчатые (многоколесные) турбомашины с несколькими рабочими колесами, закрепленными на одном валу.

Для увеличения напора (давления) служат турбомашины с последовательным соединением нескольких рабочих колес (рис.1.3), при котором текучее походит через все рабочие колеса 1 и расположенные между ними не вращающиеся лопаточные отводы 2, где скоростной напор частично преобразуется в статический.

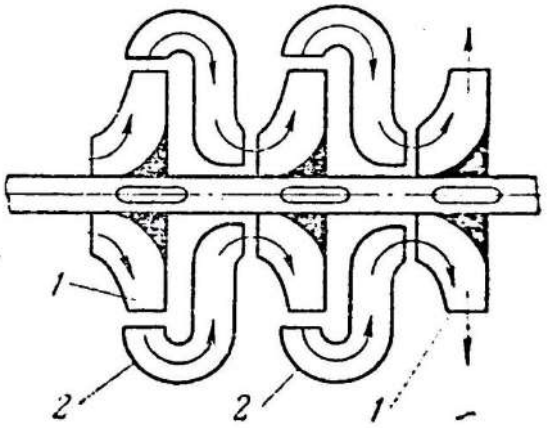


Рис. 1.3. Последовательное соединение рабочих колес центробежной турбомашины

Осевая турбомашина (рис. 1.4.) состоит из:

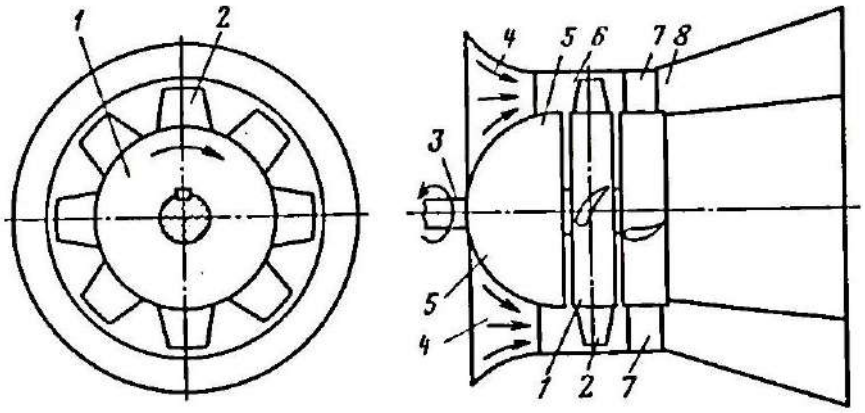


Рис. 1.4. Схема осевой турбомашины

рабочего колеса в виде втулки 1 с лопастями 2, вала 3, корпуса 4 с коллектором 5,переднего обтекателя (кока) 6, спрямляющего аппарата 7,диффузора 8 и подшипников.Лопасть рабочего колеса имеет крыловидный профиль, слегка изогнутое обтекаемое тело с закругленной, набегающей на поток кромкой и заостренной задней кромкой.Лопасти относительно втулки закреплены под некоторым углом. Рабочее колесо представляет собой решетку из таких совместно работающих профилей.

При вращении рабочего колеса в направлении, показанном стрелкой, благодаря воздействию лопастей на текучее происходит приращение давления, необходимое для движения текучего. У входа в колесо возникает разряжение, а за колесом давление. За рабочим колесом устанавливается спрямляющий аппарат для выравнивания в осевом направлении потока, выходящего из колеса закрученным. Обтекатель 6 необходим для безударного подвода текучего к лопастям рабочего колеса.

Описанная осевая турбомашина одноступенчатая, т. е одно-колесная. Однако, как и центробежная, она может быть и многоступенчатой, с последовательным соединением колес. Между рабочими колесами устанавливается неподвижный лопастный направляющий аппарат, а за последним колесом – такой же конструкции спрямляющий аппарат.

В центробежной турбомашине жидкость входит в колесо вдоль оси, выходит в плоскости вращения колеса, а в осевой – движется только вдоль оси вращения колеса. Увеличение давления жидкости, необходимое для ее движения в присоединенном к турбомашине напорном трубопроводе, происходит благодаря гидродинамическим силам, возникающим от динамического воздействия лопастей вращающегося колеса на поток жидкости.

Работу турбомашины характеризуют:

Подача (производительность) Q – количество транспортируемой турбомашиной жидкости в единицу времени. Измеряется в объемных единицах ($м^3/с$, $м^3/мин$, $м^3/ч$) или в единицах массы. Применительно к насосам принят термин подача, к вентиляторам – производительность.

Напор (давление) H, создаваемый турбомашиной и представляющий собой приращение полной удельной (на 1 кг) энергии, полученной жидкостью в турбомашине. Напор определяется в метрах столба жидкости, давление в паскалях (1Па = $н/м^2$).$P = \rho g H$,

где ρ – плотность текучего кг/$м^3$, g = 9.81 м/$с^2$– ускорение свободного падения.

Мощностьизмеряется в ваттах (1Вт = 1 Дж/с).Различают полезную мощность $N_п$– приращение в турбомашине энергии потока в единицу времени и мощность турбомашины (на валу

турбомашины) N –энергию, полученную турбомашиной от двигателя в единицу времени.

К.п.д. η турбомашины – отношение полезной мощности, сообщаемой потоку жидкости к мощности турбомашины.

Частота вращенияn рабочего колеса турбомашины – число оборотов в минуту.

1.2. Действительные характеристики турбомашин

Действительная характеристика турбомашины представляет собой зависимость между напором H_∞ и подачей $Q_т$ при известных размерах турбомашины и определенной частоте вращения ее рабочего колеса: H_∞= f($Q_т$). Зависимость между напором H_∞ и подачей Q представляет кривую линию в координатной системе$Q_т - H_\infty$.

Такая действительная характеристика носит название индивидуальной характеристики, поскольку она относится к определенному насосу с определенными геометрическими размерами.

Построить теоретически характеристику так, чтобы она в точности отвечала данному насосу невозможно. Проще всего построить ее на основании данных испытания.

На рис.1.5. приведена характеристика центробежного насоса.

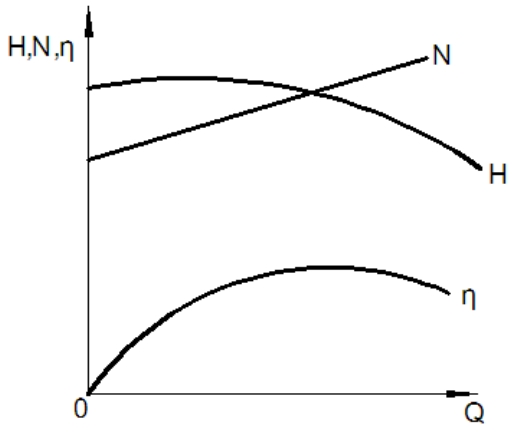


Рис. 1.5. Характеристика центробежного насоса

На графике помимо кривой H от Q нанесены кривые η – к.п.д насоса и N– мощность на валу насоса. Совокупность этих кривых дает полную индивидуальную характеристику центробежного насоса. К.п.д насоса колеблется в пределах η = 0,5-0,85. Режим машины, при котором ее к.п.д достигает максимального значения, называют номинальным.

1.3. Регулирование подачи турбомашин

Основная задача регулирования машины – это регулирование подачи Q(м^3/с). При этом все основные параметры машины (H, P, $N_в$, и η) изменяются [3].

Возможны различные варианты регулирование подачи турбомашины.

1. Дроссельное регулирование при n = const

Представим на рис.1.6. характеристики полного напора Н, мощности на валу $N_в$ик.п.д. η центробежной машины при постоянной частоте вращения n. На этот же график нанесем полную характеристику трубопроводной сети, при этом будем предполагать, что регулирующий дроссель открыт полностью.

Точка а определяет режим работы установки, т.е. подачу Q, напор H, мощность на валу $N_в$ и к.п.д машины η при полностью открытом дросселе.

В случае перекрывания дросселя на напорной трубе точка а передвинется на характеристике влево вверх и займет положение а′, определим тем самым новое значение параметров $Q'_{рег}$, $H'_{рег}$, $N'_{в\,рег}$., $\eta'_{рег}$.

Дальнейшее перекрывание дросселя вызывает смещение характеристики трубопроводной системы еще более вверх, и точка передвинется, например, в точку а′′, дающее новое значение $Q''_{рег}$, $H''_{рег}$, $\eta''_{рег}$ и т.д.

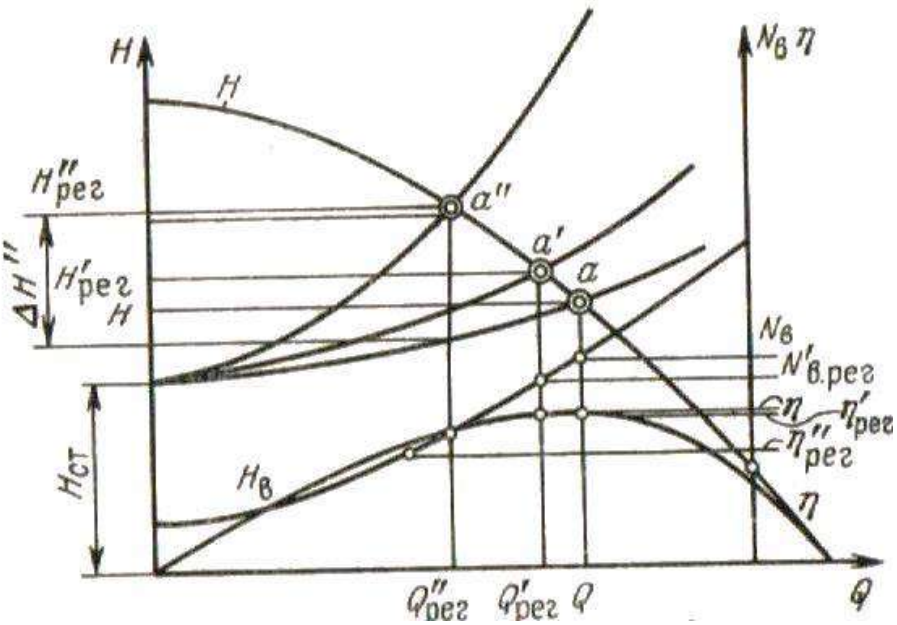


Рис.1.6. Дроссельное регулирование режима работы турбомашины

Дроссельное регулирование при n = const достигается введением дополнительного сопротивления в сеть трубопроводов турбомашины. Дросселирование, как правило, допустимо только в тех случаях, когда потребляемая мощность снижается с уменьшением подачи.

2. *Регулирование изменением частоты вращения вала машины*

Когда имеется возможность изменить частоту вращения вала двигателя целесообразно регулировать подачу изменением частоты вращения вала машины.

Предположим центробежная машина работает при частоте вращения $n_1 – n_4$. Причем $n_1 > n_2 > n_3 > n_4$. Нанесем в общей координатной системе характеристике этой машины при указанных частота вращения и характеристику трубопроводной сети (рис. 1.7.) Из графика рис.1.7. видно, что изменением частоты вращения n могут быть достигнуты различные подачи $Q'_{рег}$, $Q''_{рег}$, $Q'''_{рег}$, $Q''''_{рег}$, и напоры $H'_{рег}$-$H''''_{рег}$ причем с увеличением частоты вращения подача и напор увеличиваются, а с уменьшением их – убывают.

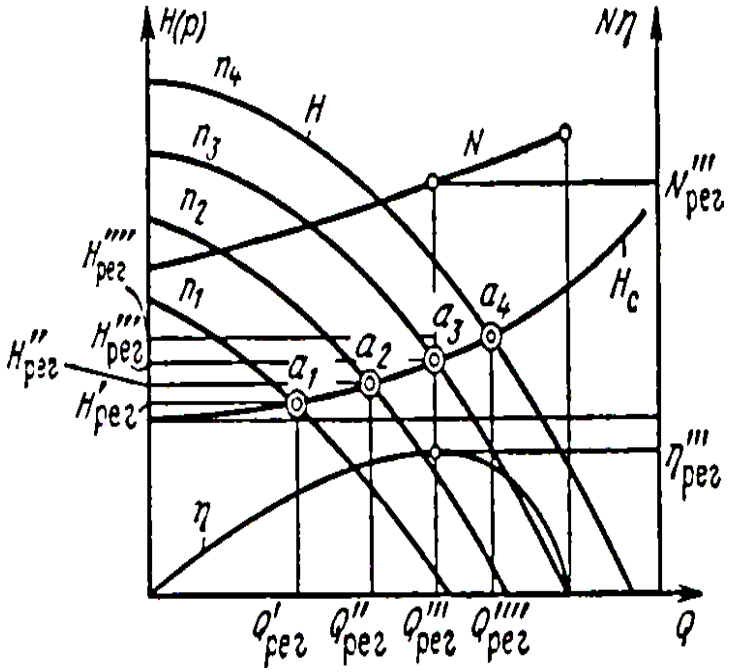


Рис. 1.7. Регулирование режима работы трубомашины изменением её частоты вращения

Мощность на валу $N_в$ и к.п.д. η могут быть определены из кривых мощности и к.п.д при указанной частоте вращения по имеющимся значениям подачи.

В отличии от способа регулирования при n = const данный способ дает возможность изменять расход в любом направлении.

Потери энергии, обусловленные гидростатическим сопротивлением дросселя, здесь отсутствуют, и поэтому, данный способ экономичнее первого в эксплуатации. Этот метод регулирования широко стал применятся в связи с внедрением в производство тиристорного привода.

Мощные турбомашины снабжают электродвигателями, допускающими плавную или ступенчатую регулировку частоты вращения.

3. Регулирование поворотом лопастей направляющего аппарата

В частности при закручивании потока газа перед входом в рабочее колесо турбокомпрессора с помощью лопастей скорость закручивания C_{1u} может иметь, как положительное, так и отрицательное значение. Скорость закручивания C_{1u}, согласно уравнению Эйлера

$$P = \rho\,(U_2C_{2u} - U_1C_{1u}),$$

где ρ - плотность массы текучего, C_{1u}и C_{2u} – скорости закручивания потока соответственно на входе в рабочее колесо и выходе из него, U_1 и U_2 – окружные скорости при входе потока в рабочее колесо и выходе из него; изменяет удельную работу рабочего колеса, а следовательно, и характеристику ε – $\bar{V}_{н}$компрессора рис. 1.8., особенно значительно для рабочего колеса с малым отношением внешнего диаметра рабочего колеса к внутреннему. По эффективности этот способ выше, чем дроссерирование, но уступает регулированию частотой вращения.

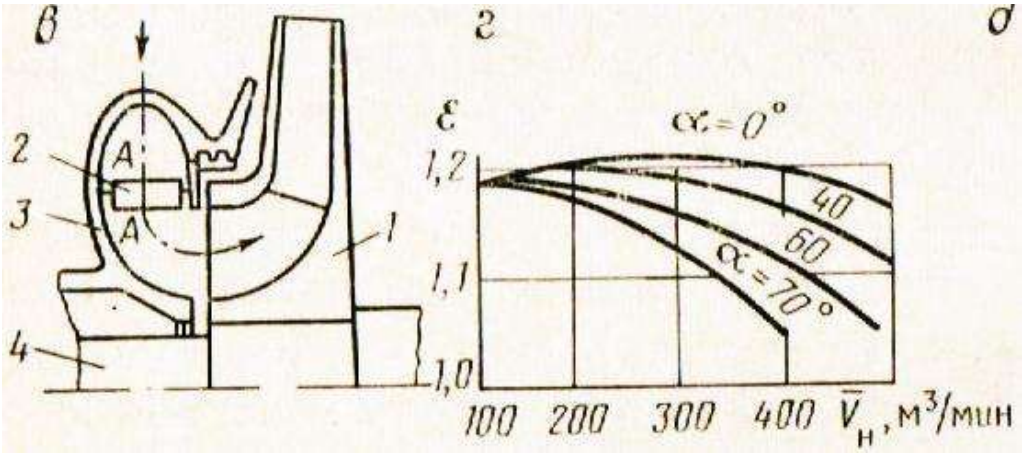


Рис. 1.8. Схема устройства для регулирования турбокомпрессора лопастями при входе потока в рабочее колесо и графики изменения характеристики $\varepsilon=f(\bar{v}_{н})$: 1 – рабочее колесо; 2 – поворотные лопасти; 3 – корпус компрессора; 4 – вал; а – угол поворота лопастей; е – степень повышения давления; $\bar{v}_{н}$ – объемный расход газа на входе в компрессор

2. ИСПЫТАНИЕ ТУРБОМАШИН

2.1. Испытания компрессоров

Испытания компрессоров проводят с различными целями, в том числе для определения их характеристик в условиях эксплуатации и выяснения соответствия заводских данных фактическим, а также для выявления причин ухудшения их работы. Испытания производятся при установившихся режимах работы компрессоров. При испытаниях турбокомпрессора измеряются: температура и давление воздуха на входе в секции колес и на выходе; мощность на валу турбокомпрессора; расход охлаждающей воды через каждый промежуточный холодильник; начальная температура охлаждающей воды и её температура на выходе из холодильников; объем засасываемого турбокомпрессором воздуха через думмис (разгрузочный поршень); потери давления воздуха в промежуточных холодильниках [4].

Центробежные турбокомпрессоры относят к динамическим компрессорам. Разрез центробежного компрессора представлен на рис.2.1.

Состоит центробежный компрессор из корпуса, ротора, который имеет вал, в котором симметрично размещены рабочие колеса (крыльчатки). Рабочие колеса выполнены в виде конуса, оснащенные лопастями. Именно от этой части центробежного компрессора зависит эффективность работающего нагнетателя. Воздух проходит через небольшой канал и поступает на лопасти. После чего воздух отбрасывается к стенкам корпуса, где находиться диффузор.Далее воздух попадает в воздушный туннель. Воздушный туннель постепенно сужается в диаметре.

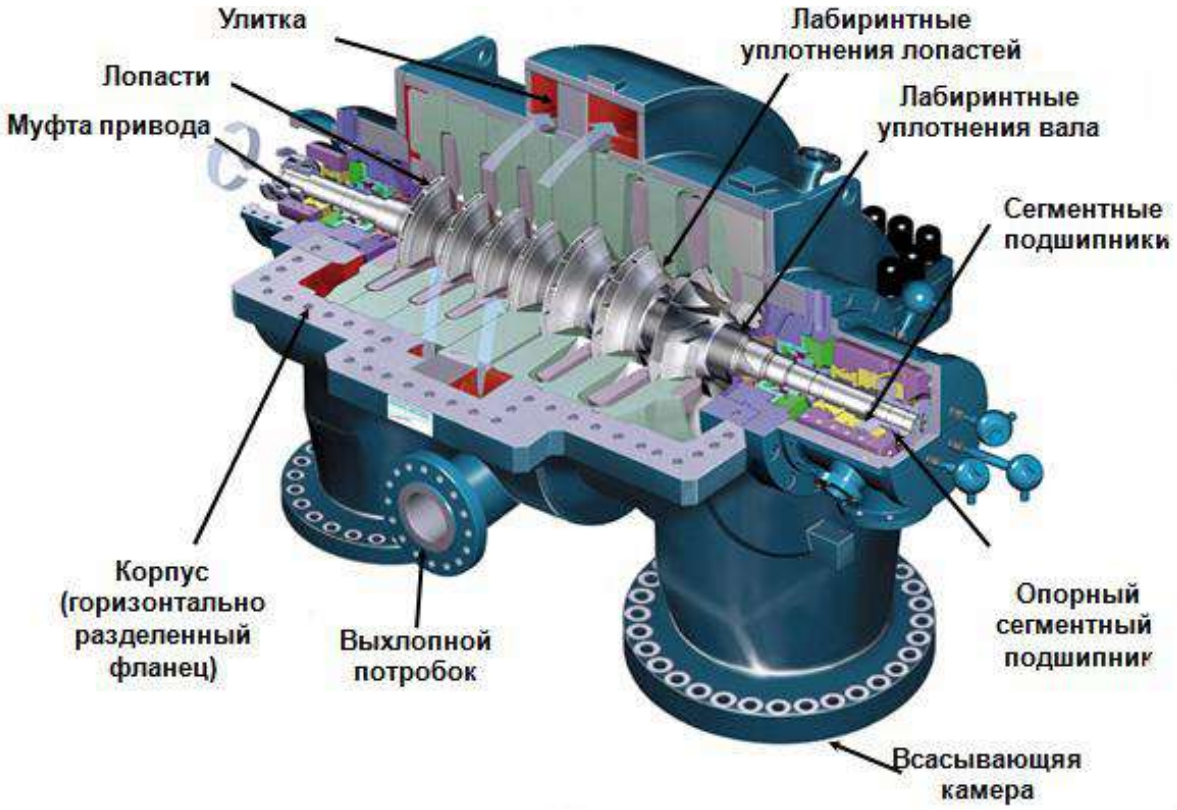


Рис.2.1. Разрез центробежного компрессора

Это сделано специально так как, в начале воздух имеет большую скорость и небольшое давление, а на выходе наоборот. Поэтому и скорость самой крыльчатки достаточно большая.

Когда воздух проходит через данный компрессор, при росте давления, растёт также и его температура. Это можно отнести к отрицательным побочным эффектам центробежного компрессора [5].

До начала ***испытания турбокомпрессора*** должны быть продуты трубопроводы и внутренние полости аппаратов, по которым воздух поступает в цилиндры компрессора [6].

Подготовку к пуску и ***испытание турбокомпрессора*** начинают с подготовки масляной системы. Для этого прокачивают масло, осматривают фильтр и маслобак. Одновременно проверяют системы автоматического регулирования производительности и сигнализации осевого сдвига ротора, правильности подключения контрольно-

измерительных приборов. Затем подают воду на охладители, открывают задвижку на нагнетательной или на байпасной линии и закрывают задвижку на всасе. После этого включают пусковой маслонасос и электродвигатель. Когда турбокомпрессор наберет полное число оборотов, постепенно открывают всасывающую задвижку и следят за нагрузкой машины по амперметру.

Во время ***испытаний турбокомпрессоров*** вибрация подшипников не должна превышать нормируемых величин.

В процессе ***испытания турбокомпрессора*** следует проверить в работе и отрегулировать системы: автоматического регулирования производительности, блокировки и сигнализации, противопомпажной защиты, осевого сдвига ротора.

2.2. Испытания насосов

Испытания шахтных насосов условно подразделяют на промышленные (эксплуатационные), доводочно-наладочные и исследовательские.

Средства измерения параметров выбирают так, чтобы погрешность измерений при нормальном режиме не превышала установленных норм. При этом допускаются следующие погрешности измерений: подача насоса – не свыше 2,5%; напор – 2%; частота вращения – не свыше 1%, измерение мощности – 1,5%.

В процессе испытаний определяют оптимальные режимы работы насосов, устанавливают пределы безкавитационной работы, накапливают данные для совершенствования конструкции.

Испытания в шахтных (натурных) условиях дают более объективные результаты по сравнению со стендовыми или лабораторными [7].

2.3. Лабораторная работа «Испытание центробежного насоса»

Цель занятия: приобретение навыков испытания шахтных насосов, построения их индивидуальных характеристик и определения режима работы, а также изучение и обучение работе с аппаратурой измерения и контроля эксплуатационных параметров насосов, закрепление знаний, полученных при изучении теоретической части курса «Насосы и компрессоры».

Индивидуальные характеристики насосов используются для определения действительных режимов их эксплуатации, резервов производительности, давления и мощности, а так же для правильного выбора насосов при проектировании водоотливной установки.

В настоящее время нет достаточно точных и простых теоретических методов для расчета индивидуальных характеристик насосов. Поэтому получение этих характеристик возможно лишь при испытании насосов на месте их эксплуатации или в лабораторных условиях.

Для качественного проведения лабораторных занятий студенту необходимо заранее самостоятельно подготовиться по следующим вопросам:

а) основные элементы конструкции центробежных насосов;

б) способы регулирования насосов;

в) порядок запуска в работу центробежных насосов и способы их заливки;

г) правила и порядок построения индивидуальной характеристики насоса.

Схема насосной установки

Испытания проводятся на специализированном испытательном стенде кафедры горной механикив соответствии с ГОСТ 6134-87. В лабораторной работе используется секционный центробежный насос, входящий в состав насосной установки, имитирующей шахтные условия. Схема установки приведена на рис.2.2. Направление движения жидкости показано стрелками.

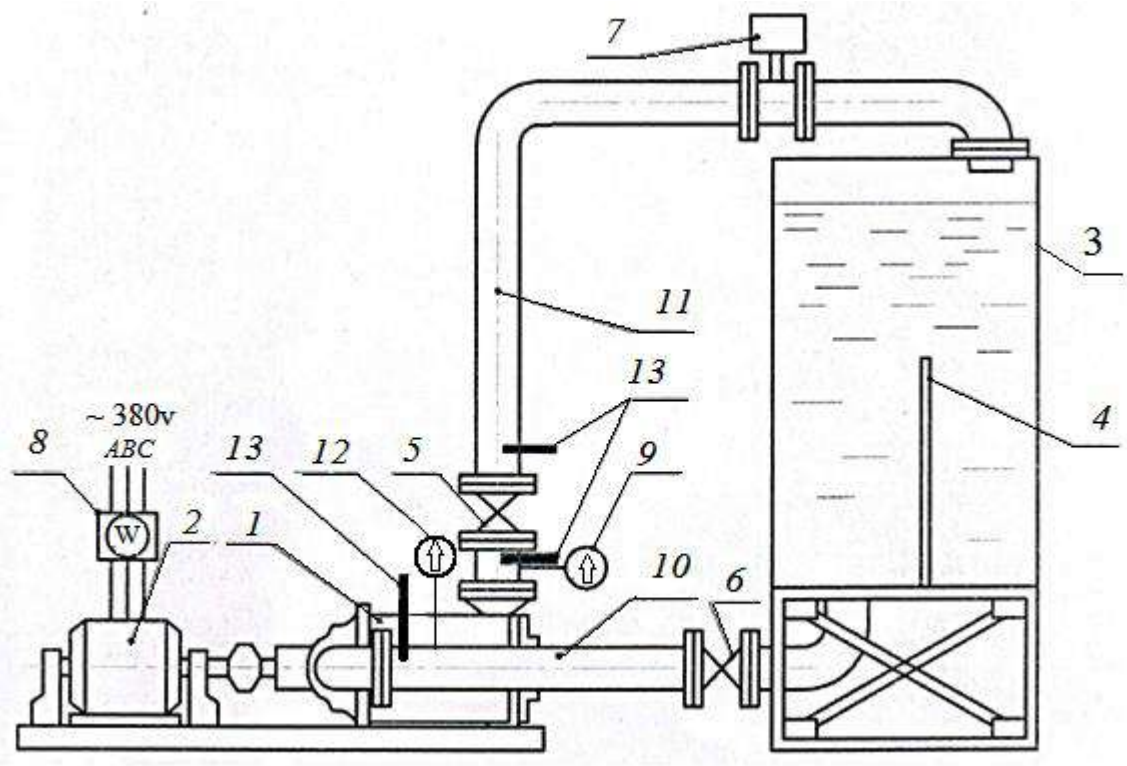


Рис. 2.2. Схема насосной установки

1 – насос; 2 – электродвигатель; 3 – ёмкость с водой; 4 – успокоитель; 5,6 – задвижки, соответственно на нагнетании и на всасывании; 7 – расходомер; 8 – киловаттметр; 9 и 12 – манометр и вакуумметр; 10 и 11 – всасывающий и нагнетательный трубопроводы; 13 – датчики давления

При работе вода из открытого бака 3, расположенного выше оси насоса 1, по всасывающему трубопроводу 10, поступает в насос 1 и через нагнетательный трубопровод вновь поступает в бак 3. На нагнетательном трубопроводе для контроля производительности установлен электронный расходомер

7.Задвижка 5 служит для изменения сопротивления движению жидкости в нагнетательном трубопроводе. На всасывающем трубопроводе установлена задвижка 6, предназначенная для коммутации во время длительных и ремонтных простоев установки. Для контроля давления на всасывающем и нагнетательном трубопроводах установлены манометры 9, 12 и датчики давления 13. Успокоитель 4 служит для выравнивания скоростей потока на входе во всасывающий трубопровод.

Мониторинг параметров работы насосной установки осуществляется с помощью шкафа управления, оснащенного программируемым контроллером промышленного типа, счетчиком преобразователя частоты. Для дистанционного управления стендом предусмотрен дистанционный пульт управления (ДП), связанный с демонстрационной плазменной панелью.

Порядок проведения работы

Запуск насоса в работу выполняется в следующей последовательности:

1. Проверяется наличие в емкости воды (уровень должен быть не менее ½ объема емкости).
2. Производится заливка насосов путем полного открытия задвижки 6 (рис.2) и проверяется положение задвижки 5, которая должна быть полностью закрыта.
3. После этого производится запуск электродвигателя насоса в следующей последовательности.

Последовательность включения и выключения электродвигателя насоса в ручном режиме

На панели шкафа управления насосами (рис. 2.3) расположены: сигнальная лампа «Сеть» желтого цвета, счетчик электро-

энергии «W», сигнальная лампа красного цвета «Авария ПЧ», кнопка «Сброс аварии», светлозеленые сигнальные лампы, кнопки «Пуск» и «Стоп», переключатели режима работы насосов, кнопка «Аварийный стоп» с блокировкой.

На панели управления насосами устанавливаем переключатель режима работы насоса в положение «Ручное»;

- открываем шкаф управления насосами и включаем все автоматические выключатели (рис. 2.4);
- закрываем шкаф управления и на его панели нажимаем зеленую кнопку «ПУСК»;

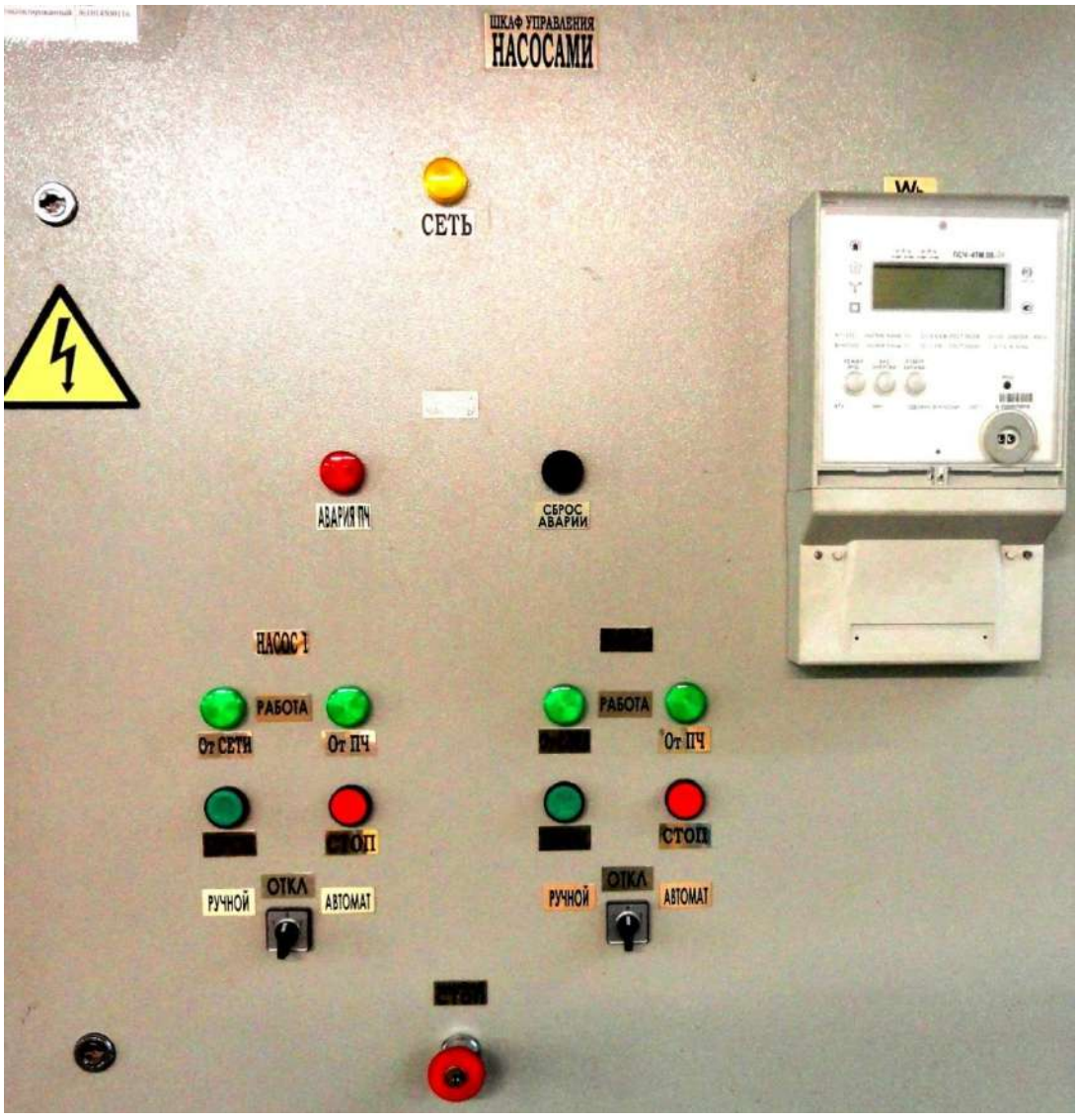


Рис. 2.3. Панель шкафа управления насосами

ВНИМАНИЕ! Во время проведения работы, шкаф управления должен быть закрыт.

- по истечении 3-5 минут открываем задвижку на нагнетательном трубопроводе и плавно меняем ее положение до полностью открытого, измеряя и записывая параметры работы установки через каждые из десяти ее положений;
- после завершения испытаний, для отключения насоса на панели шкафа управления нажимаем красную кнопку «СТОП»;
- открываем шкаф управления, выключаем все автоматические выключатели и закрываем шкаф.
- закрываем задвижку 6 на всасывании.

Последовательность включения и выключения электродвигателя насоса через дистанционный пульт

На панели шкафа управления переключатель режима управления насосом переводим в положение «Автоматическое»;

- открываем шкаф управления и включаем все автоматические выключатели (рис. 2.4);
- открываем стол с компьютером и включаем компьютер круглой кнопкой внизу (загорятся зеленая и красная лампочки);
- открываем дверцы плазменного монитора, подаем на него питание нажатием клавишного выключателя на белом проводе слева и нижней кнопки на правом боку монитора;
- на экране монитора появится изображение «рабочего стола» (рис. 2.5), на котором компьютерной мышью (левой клавишей) дважды кликаем на ярлык «Stend»;
- появляется изображение рис. 2.6., на котором кликаем один раз на надпись «Новая лабораторная работа».

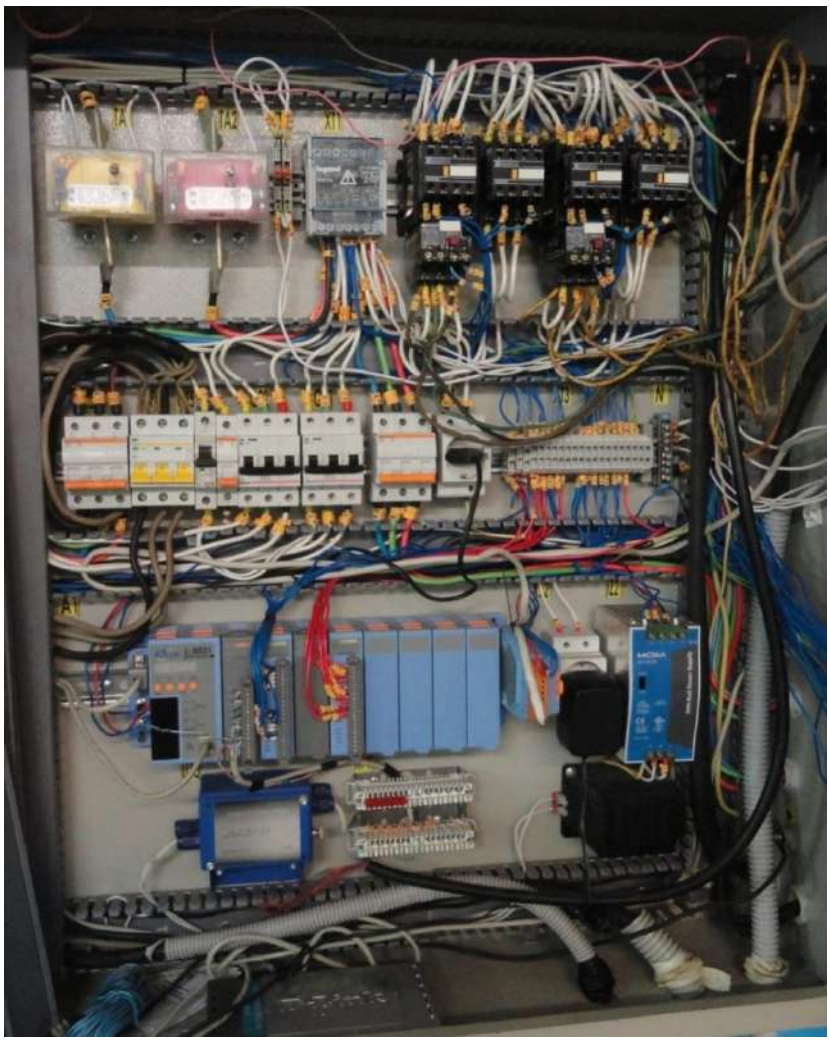


Рис. 2.4. Аппаратура шкафа управления

Рис. 2.5. Изображение рабочего стола

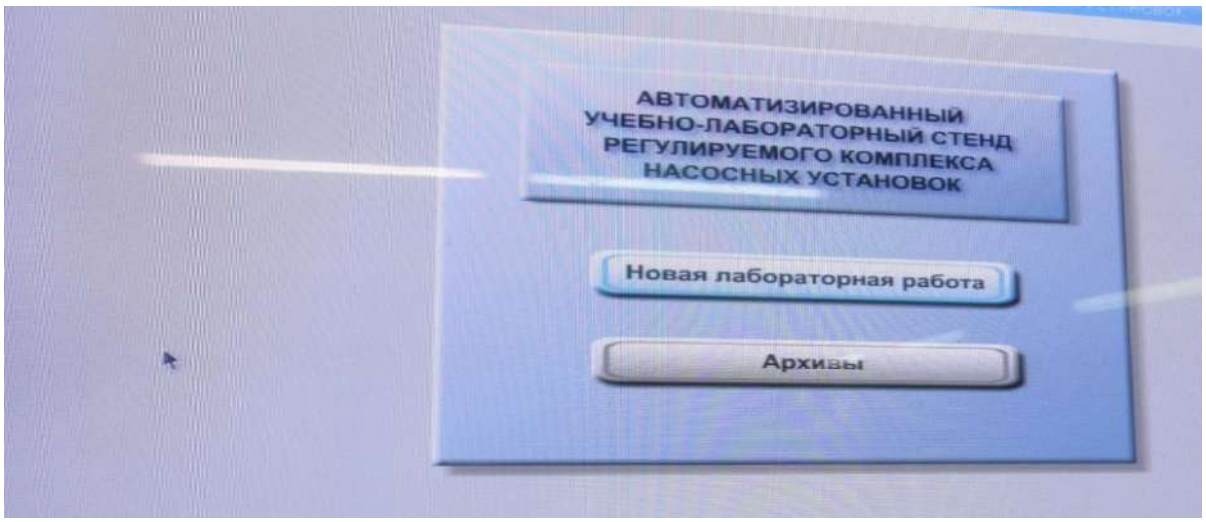


Рис. 2. 6. Окно для выбора лабораторной работы

Появляется изображение «Автоматизированный учебно- лабораторный стенд» (рис. 2.7). В этом «окне» кликаем на верхнюю справа надпись «Выбрать», относящуюся к учебной группе.

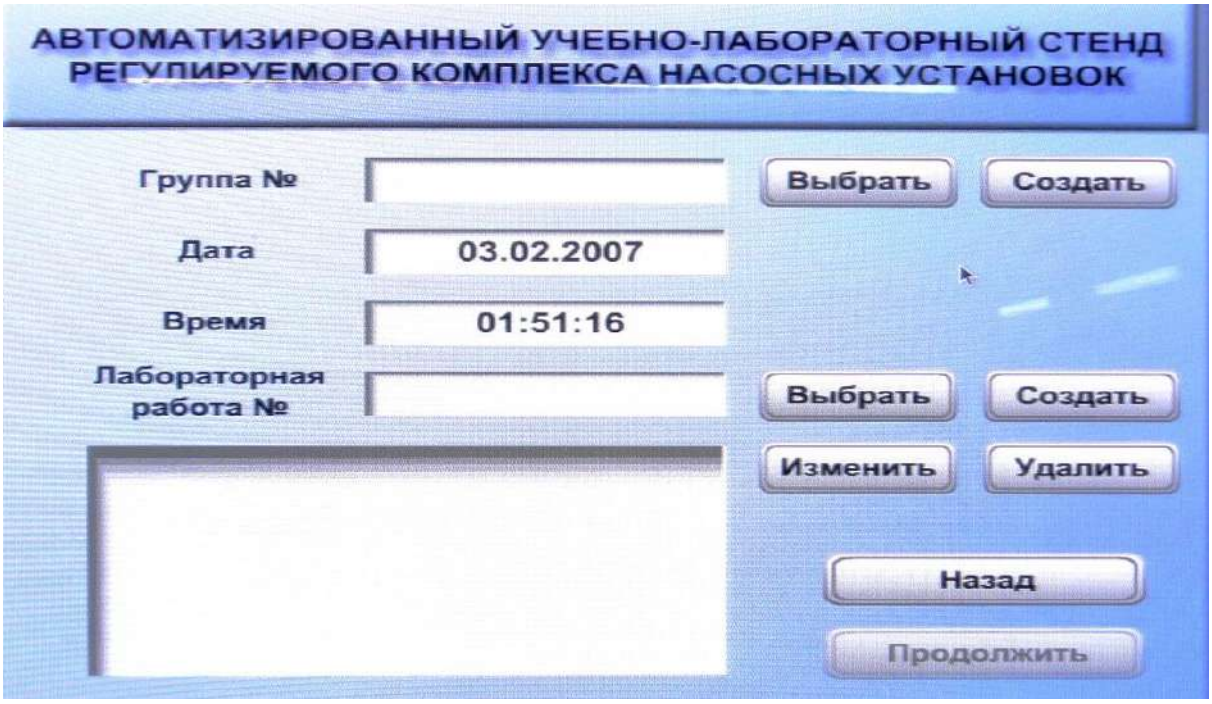


Рис. 2.7. Автоматизированный учебно-лабораторный стенд

Выходит окно рис.2.8. Кликаем на надпись, например «РПМ-06» и внизу на надпись «Выбрать»;

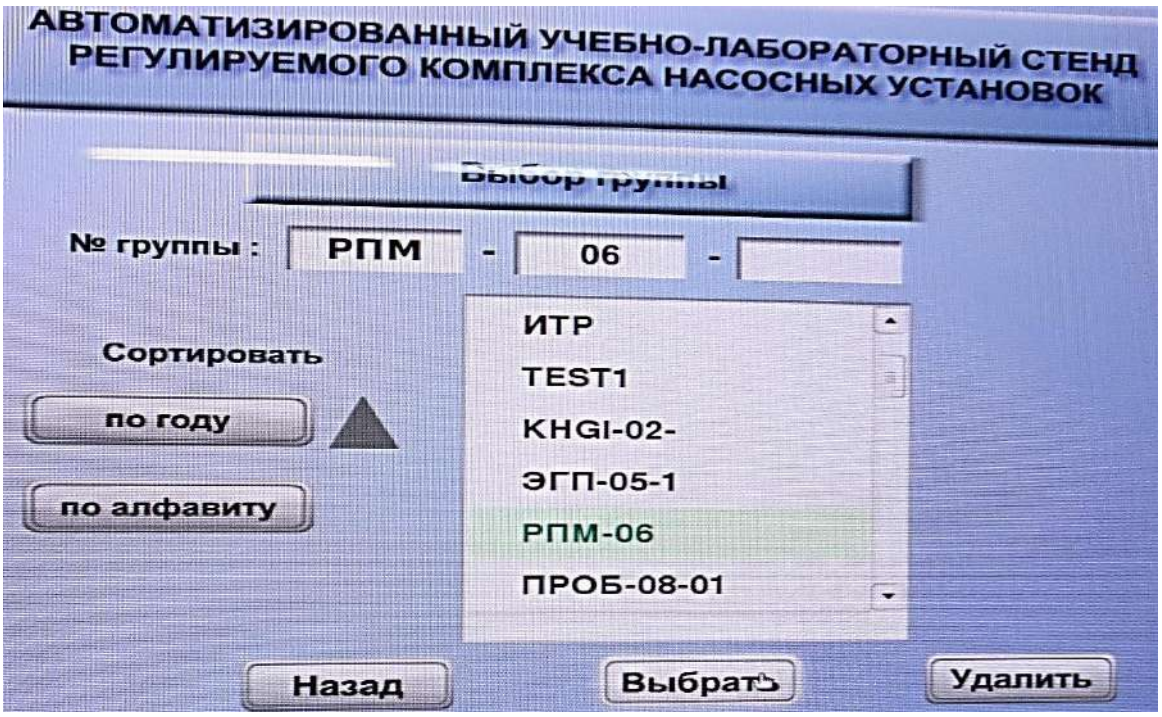


Рис. 2.8. Окно выбора группы

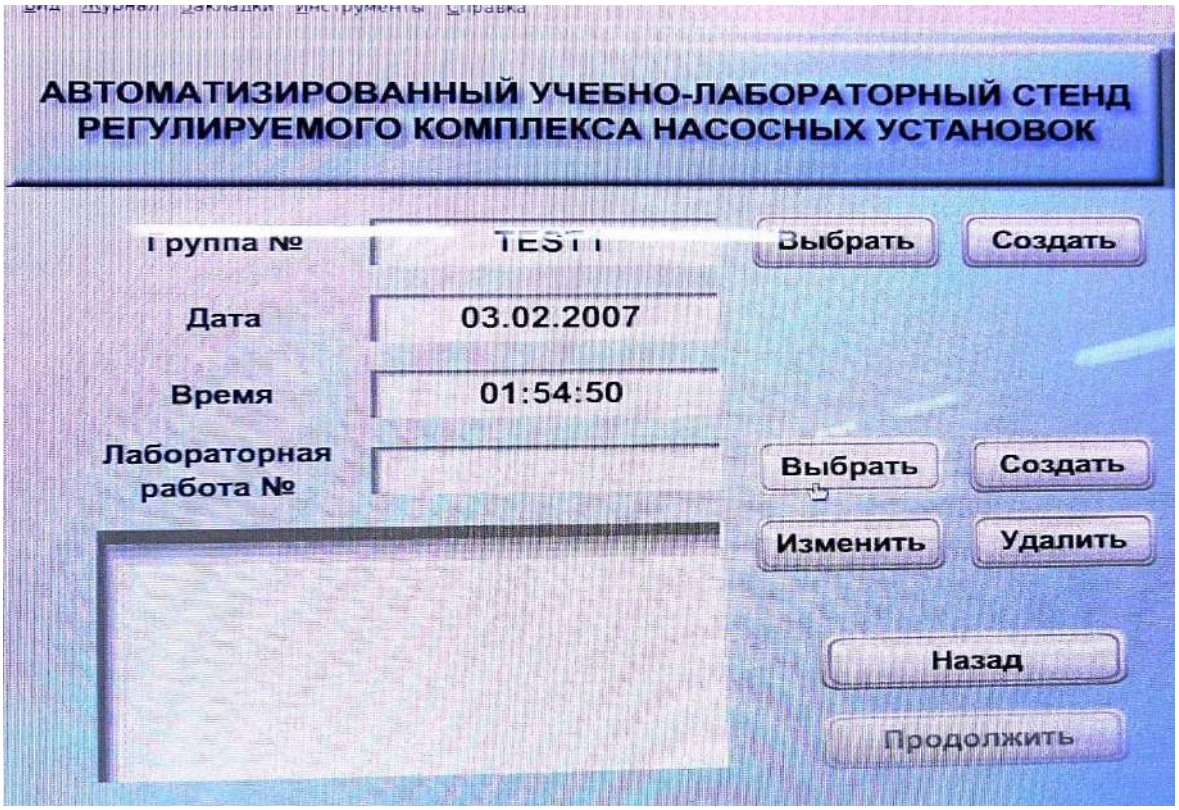


Рис. 2.9. Продолжение запуска установки

На появившемся изображении рис. 2.9. кликаем на нижнюю надпись «Выбрать» и выходит окно 10.

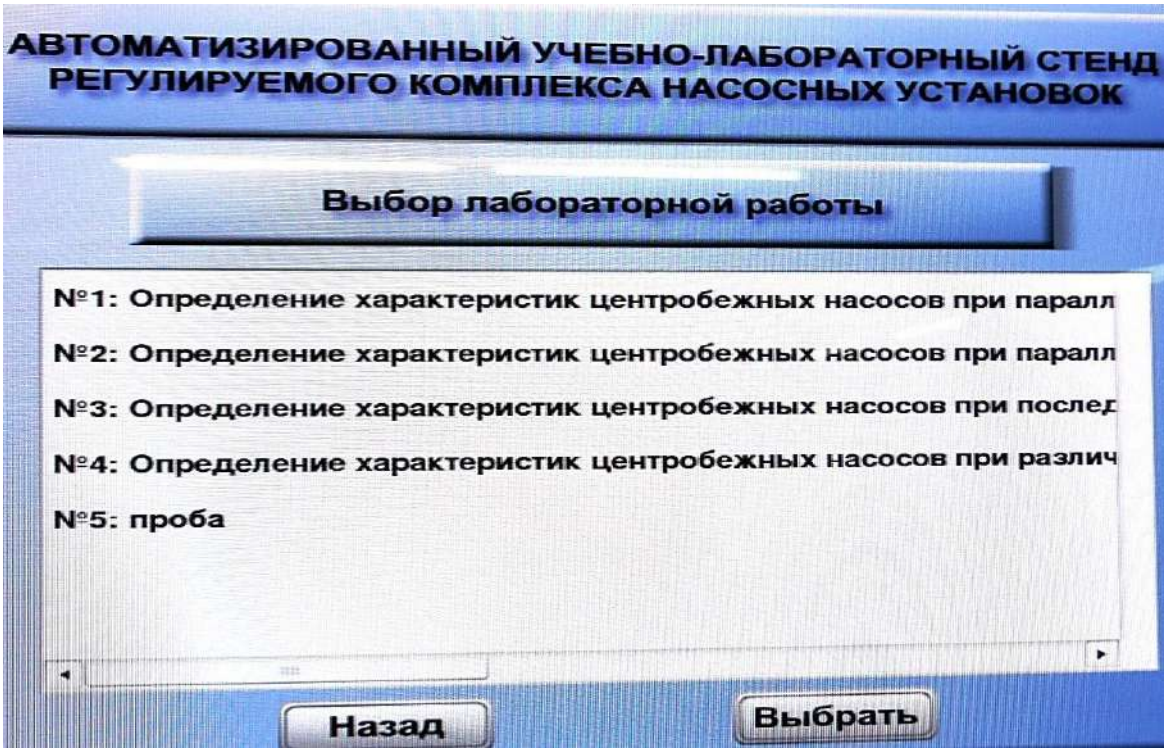


Рис. 2.10. Выбор лабораторной работы

В окне рис. 2.10. Кликаем на лабораторную работу № 4, здесь же кликаем на надпись внизу «Выбрать». Выходит окно рис. 2.11с названием выбранной работы, где нажимаем на надпись «Продолжить», выходит следующее окно рис. 2.12 с параметрами режима работы насоса.

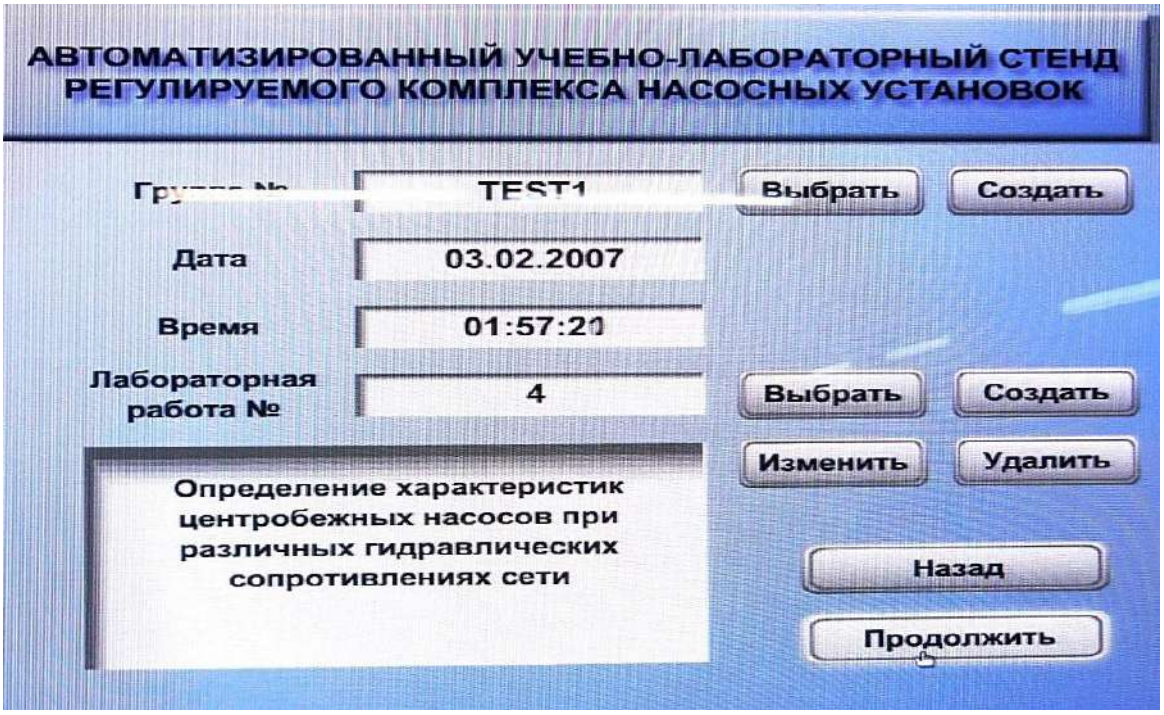


Рис. 2.11. Окно с выбранной работой

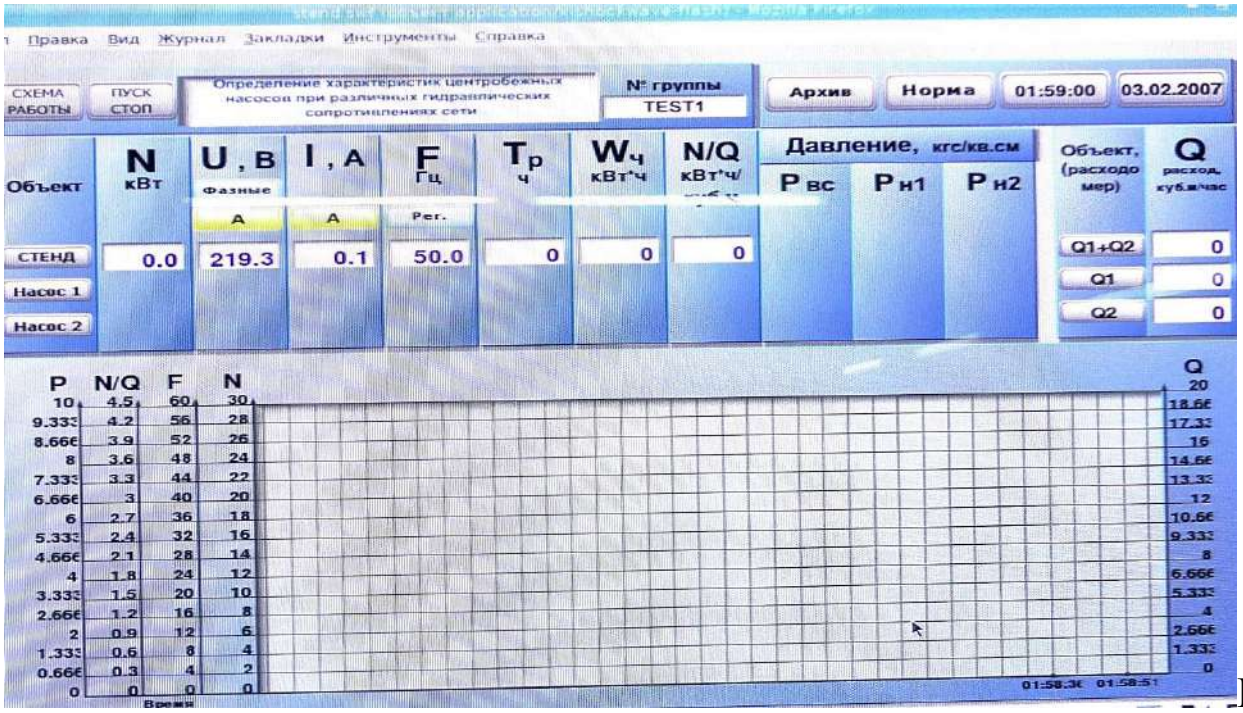


Рис. 2.12. Окно с параметрами работы установки

В нем нажимаем на надпись «Пуск» в верхнем левом углу и появится окно рис. 2.13 с надписью «Подключение насосных установок», в котором кликаем на надпись «Пуск»(под «от ПЧ»), здесь же справа внизу кликаем на надпись «Частота» и выходит следующее окно рис.14 с ползунком частоты от «0» до 50 гц.

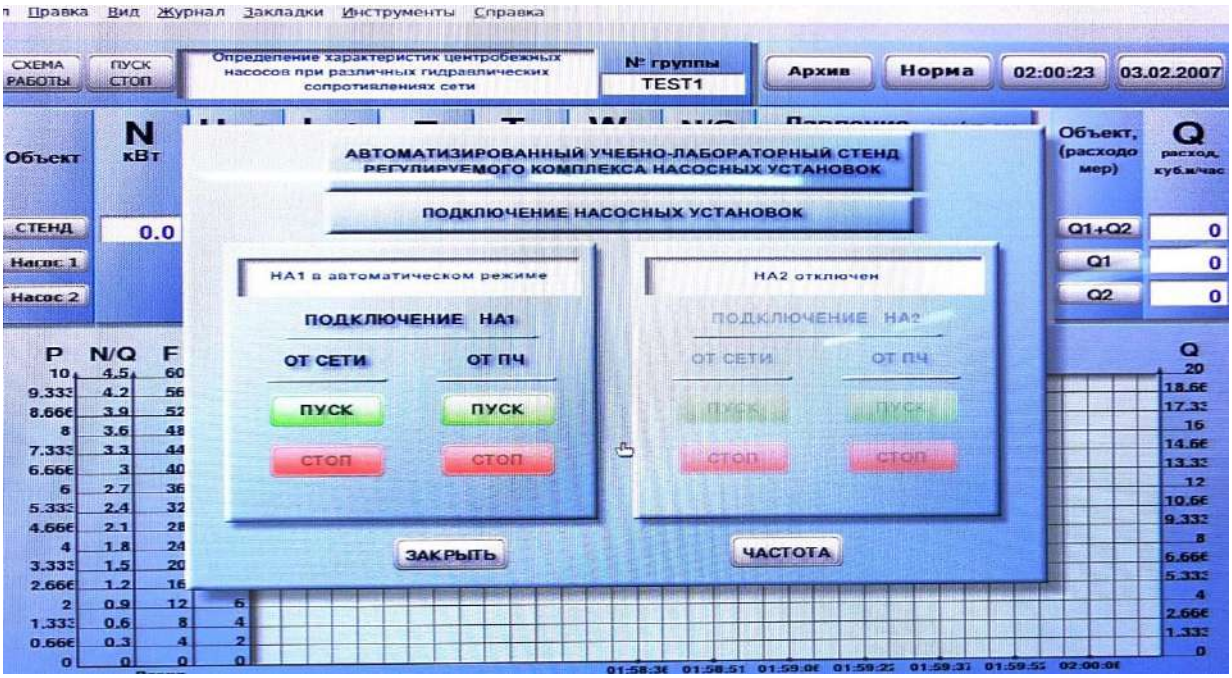


Рис. 2.13. Подключение насосных установок

На открывшейся шкале частоты питающей сети передвигаем ползунок до необходимого значения, либо ставим на 50 гц и нажимаем «ОК», электродвигатель запустится.

В случае возникновения аварийной ситуации следует незамедлительно отключить насосы нажатием красной кнопки «Аварийный стоп» внизу панели шкафа управления (см. рис. 2.3).

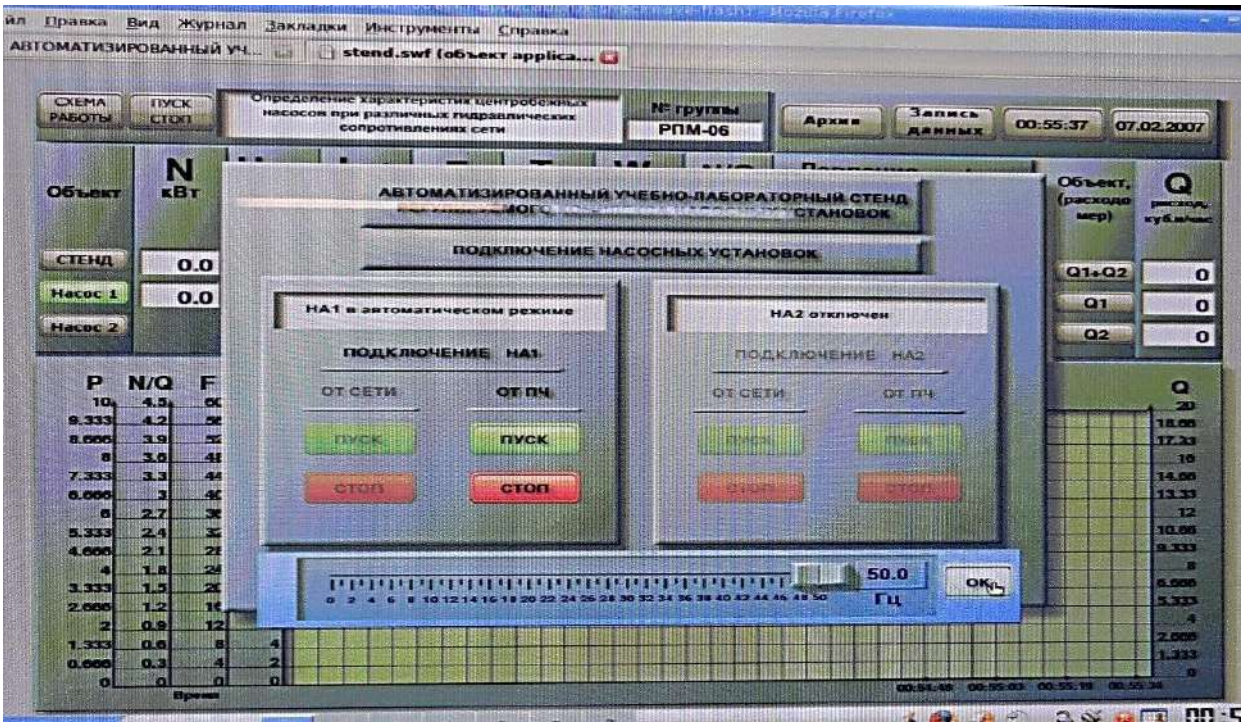


Рис. 2.14. Выбор частоты питающей сети

Выходит окно рис. 2.15, в котором нажимаем на надпись «Закрыть» и вставка в центре уходит, остается окно рис. 2.16 с параметрами режима работы насоса.

В окне отображения параметров выделить значения измеряемых параметров (напримерQ_1, $P_{Н1}$, N_1).

Для остановки насоса в окне рис. 2.16 нажимаем в верхнем левом углу надпись «Пуск, стоп». Появляется окно рис. 2.17, в котором нажимаем на красную надпись «Стоп» под «от ПЧ».

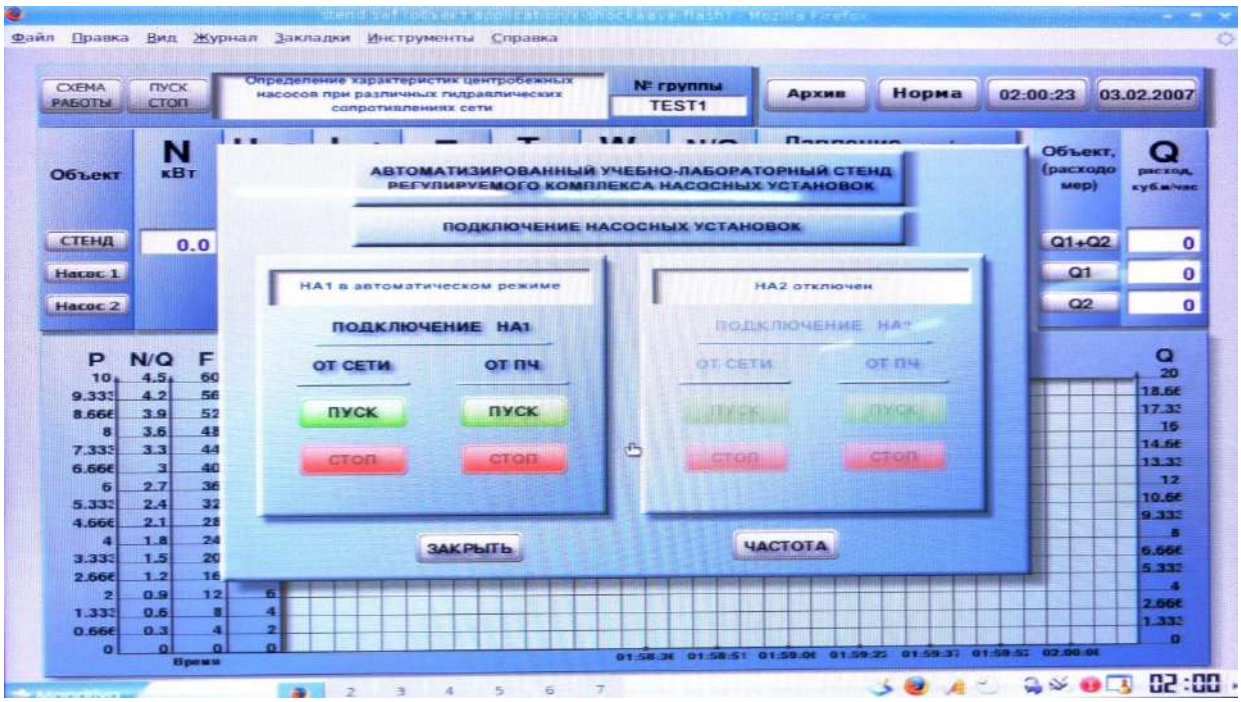


Рис. 2.15. Закрытие центральной вставки

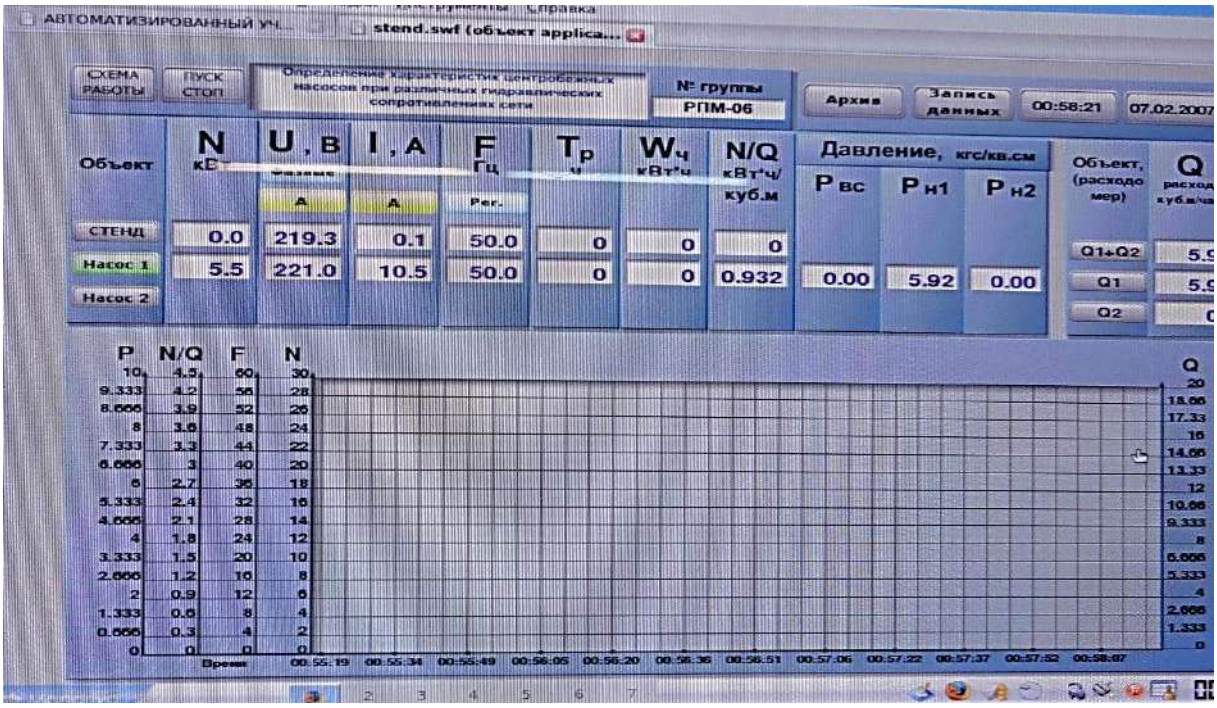


Рис. 2.16. Параметры работы насосной установки

После остановки эл. двигателя в окне рис. 2.18 нажимаем на значок «X» (Закрыть) в верхнем правом углу и на надпись в левом нижнем углу «Mandriva» рис. 2.19.

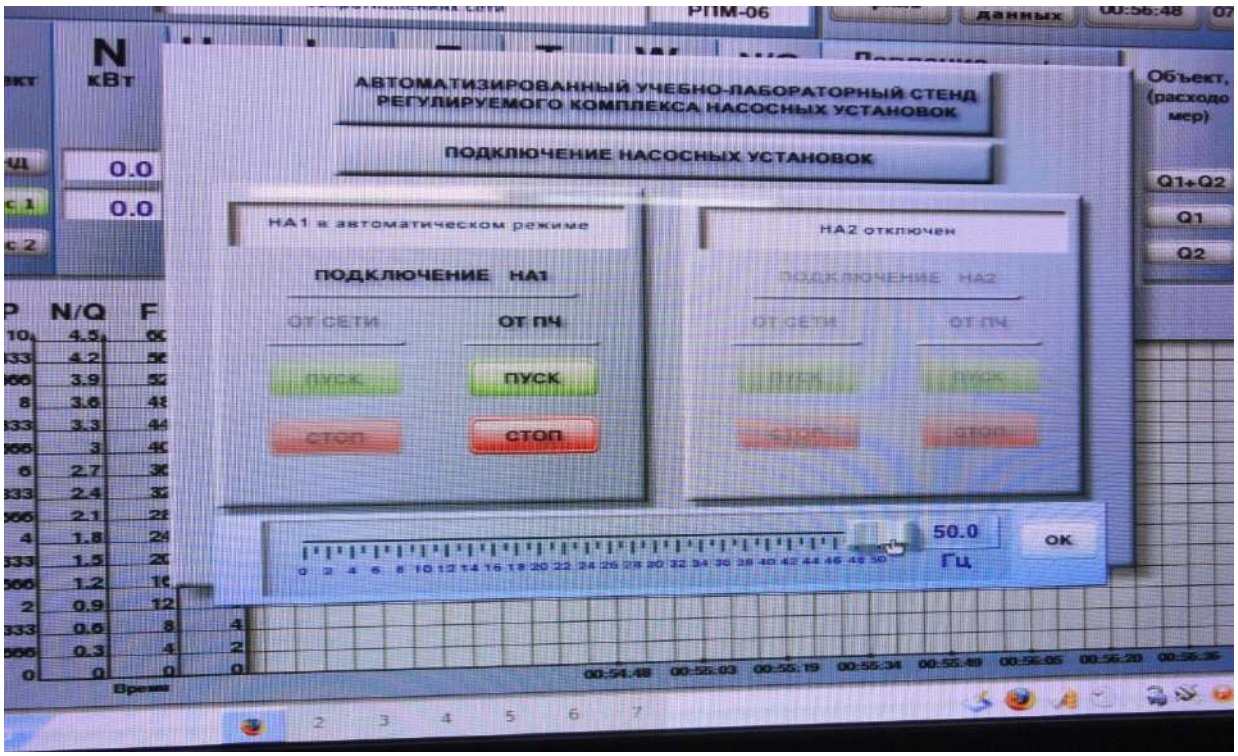


Рис. 2.17. Окно остановки эл. двигателя

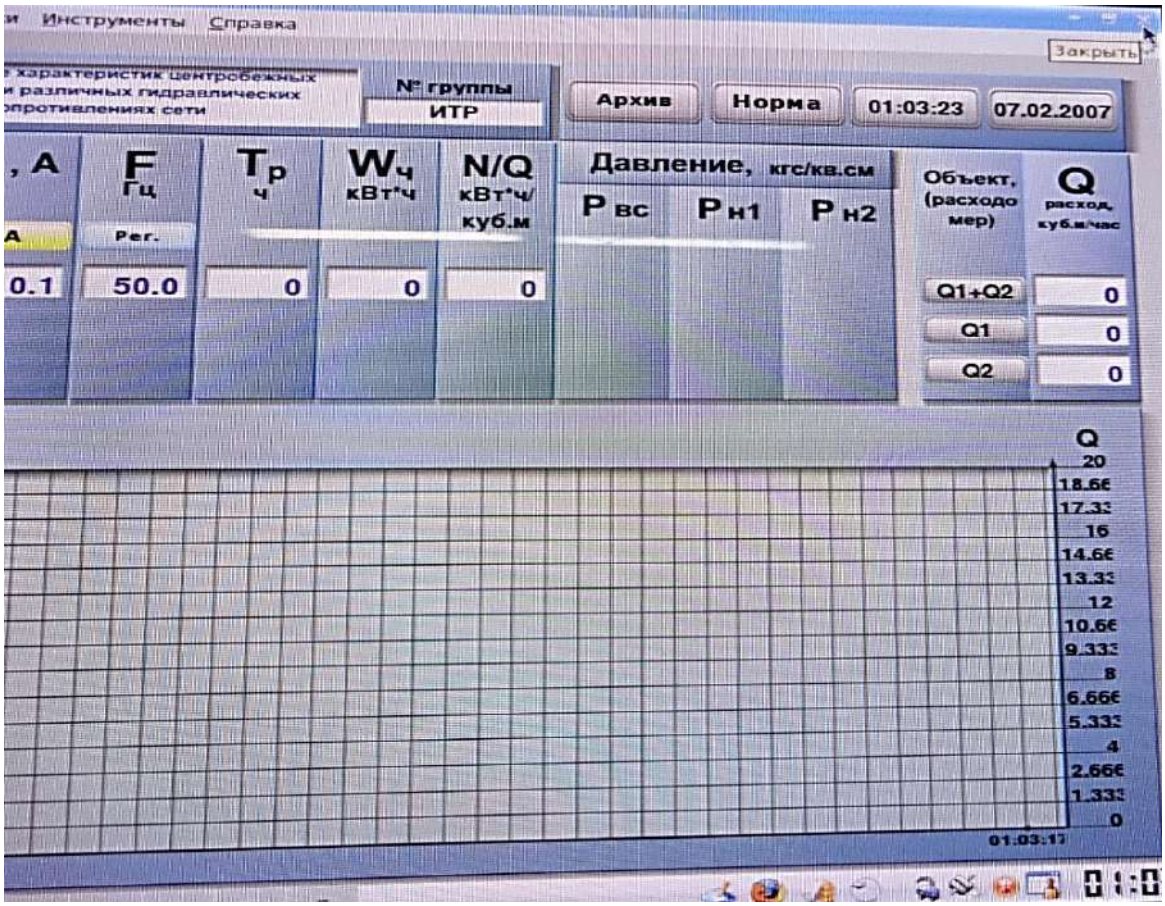


Рис. 2.18. Закрытие программы

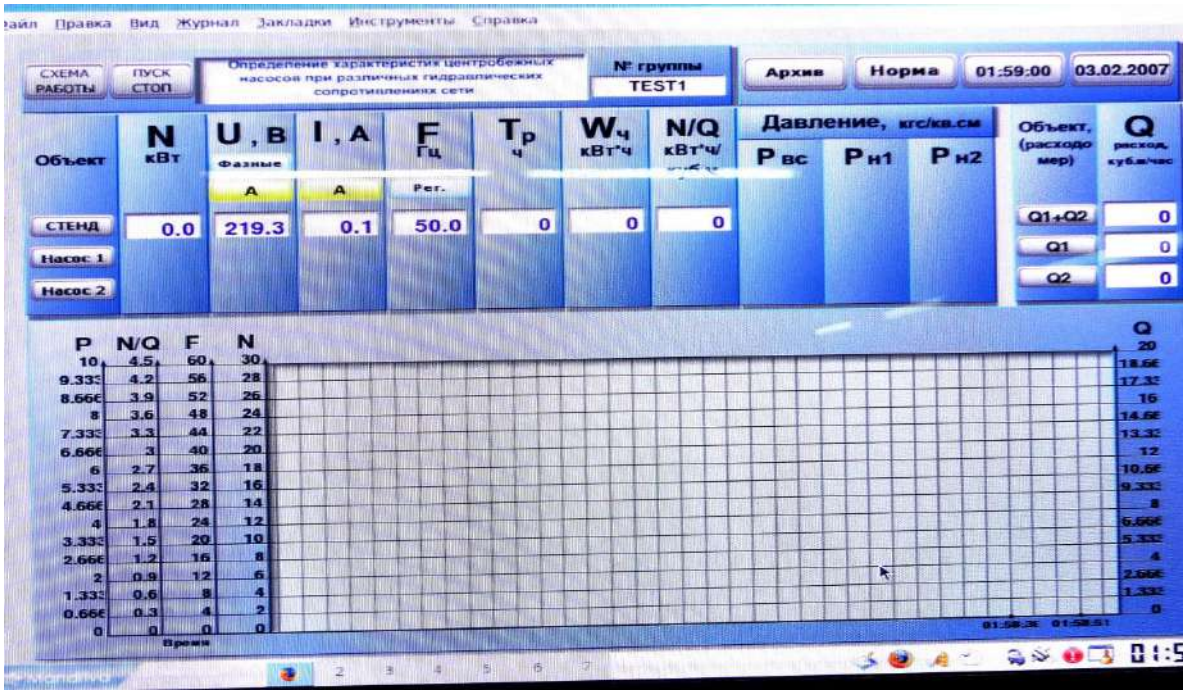


Рис. 2.19. Закрытие программы (продолжение)

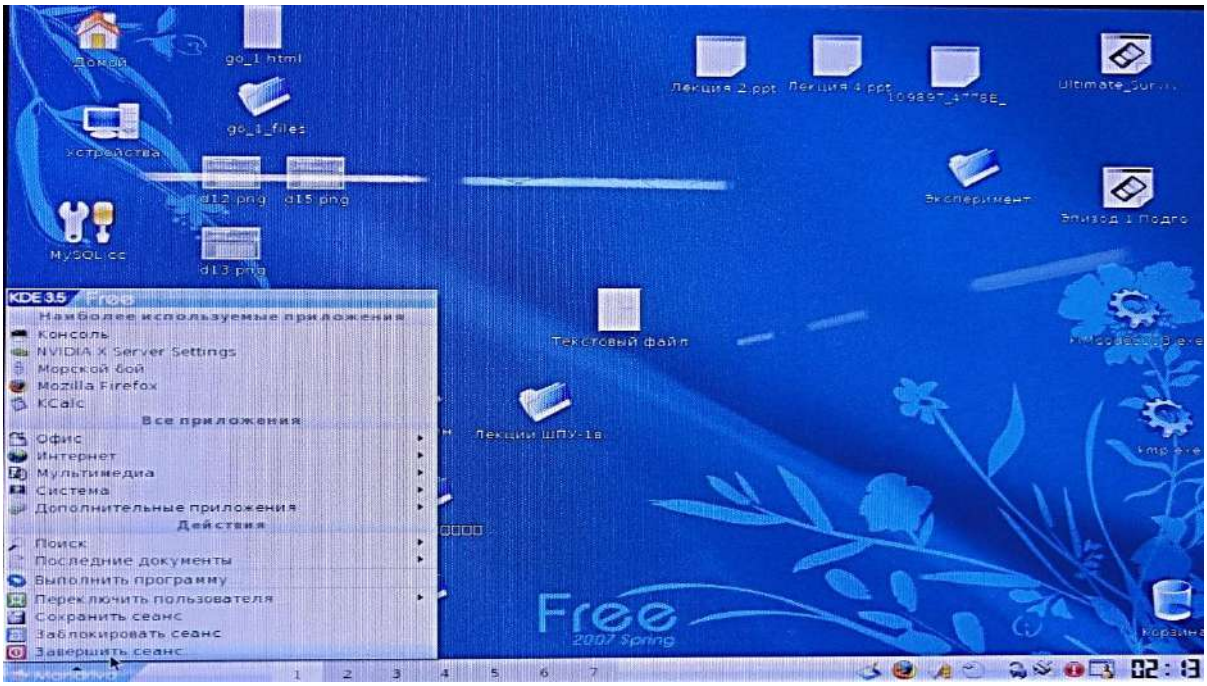


Рис. 2.20. Завершение сеанса

В вышедшем затем синем окне рис. 2.20 в таблице слева внизу нажимаем на «Завершить сеанс», выходит черное окно рис. 2.21 с полумесяцем в котором нажимаем на надпись в белом окне «Выключить компьютер».

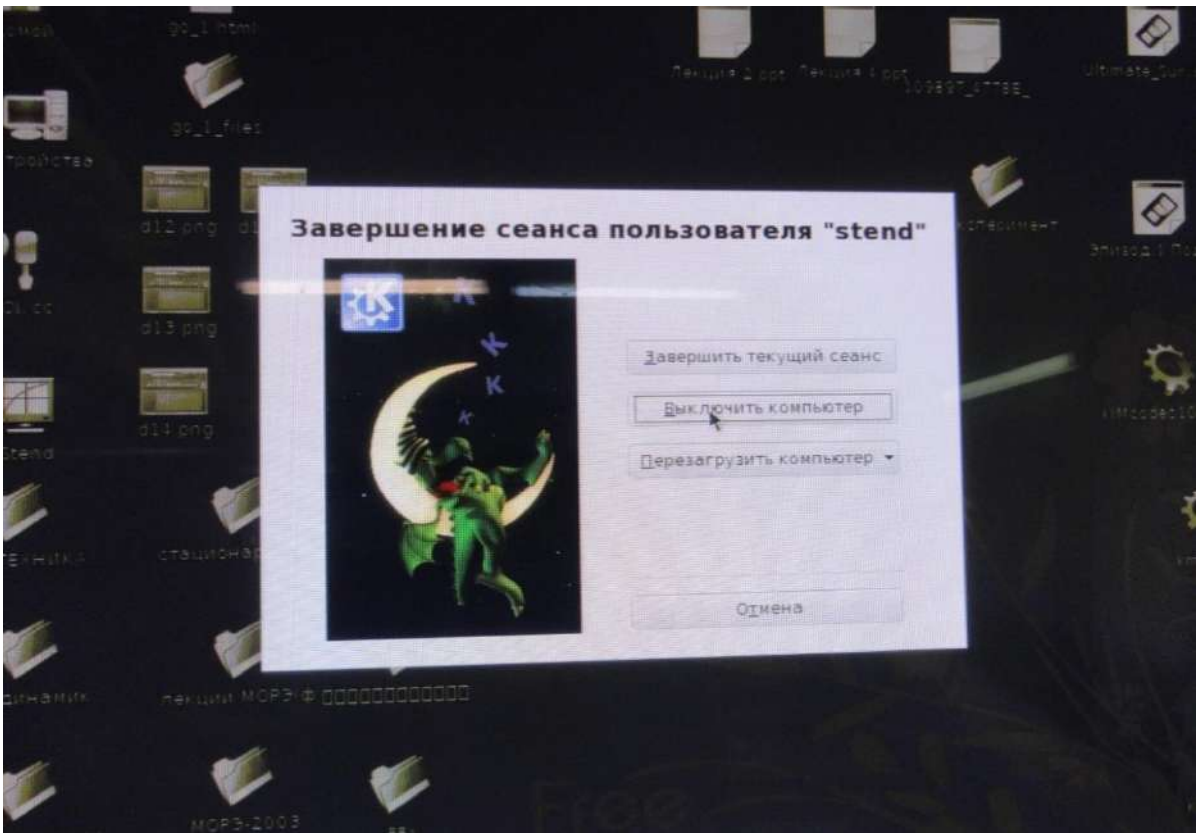


Рис. 2.21. Окно выключения компьютера

После этого экран гаснет. Затем выключаем монитор нижней кнопкой справа сбоку и выключателем на белом проводе. Открываем дверцу шкафа управления и выключаем все автоматические выключатели, после чего закрываем дверцу шкафа. Тумблер на его панели переводим в положение «Откл». Закрываем задвижки на нагнетательном и всасывающем трубопроводах. *Испытание окончено*.

В процессе проведения работы устанавливаем десять различных режимов работы установки, регулируя положение задвижки 5 от полностью закрытого до полностью открытого через равныеинтервалы изменения давления на выходе из насоса.

Снимаем показания измеряемых величин, характеризующих работу установки и необходимых для получения действительной индивидуальной характеристики насоса. Заносим их в таблицу 2.1. «Результаты испытаний».

Результаты испытаний Таблица 2.1

№ режима	Производительность насоса	Давление в нагнетательном трубопроводе	Давление во всасывающем трубопроводе	Показания счетчика электроэнергии
	Q, м^3/ч	$P_н$, кгс/см^2	$P_{вс}$, кгс/см^2	W, кВт
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

При испытании насоса замеряются:

а) Производительность насоса $Q_н$, м^3/ч (по показаниям расходомера 7);

б) Давление во всасывающем трубопроводе $P_{вс}$, кгс/см^2 (по показаниям мановакуумметра 12.

в) Давление в нагнетательном трубопроводе $P_н$, кгс/см^2 (по показаниям манометра 9);

г) Мощность, потребляемая из сети N,кВт (по показаниям счетчика электроэнергии 8);

Замеряемые параметры дублируются на демонстрационной панели испытательного стенда.

На основании замеренных данных расчетным путем в каждом режиме определяется манометрический напор, мощность на валу ик.п.д. насоса.

Анализ и расчет исходных данных для получения индивидуальных характеристик центробежного насоса производиться по следующим формулам:

Давление $P_м$ насоса, МПа:

$$P_м = \frac{P_н - P_{вс}}{10}, \quad (2.1)$$

где$P_н$- давление на нагнетании, кгс/см^2; $P_{вс}$ – давление во всасывающем трубопроводе, кгс/см^2.

Мощность на валу насоса $N_в$ определяется по формуле:

$$N_в = W \cdot \eta_п \cdot \eta_д, \quad (2.2)$$

где W – мощность, потребляемая из сети, кВт; $\eta_п = 1$ – КПД передачи; $\eta_д = 0{,}88$ – КПД двигателя.

Коэффициент полезного действия насоса определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q \cdot P_м}{N_в \cdot 3{,}6}, \quad (2.3)$$

Для перерасчета характеристик насоса индивидуально каждому студенту задается другая частота вращения рабочего колеса n_2.

Перерасчет характеристик на заданную частоту вращения рабочего колеса n_2 производится на основании законов пропорциональности по формулам:

$$Q_{н2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \cdot Q_н; \qquad P_{м2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot P_{м1} \quad (2.4)$$

$$N_{в2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \cdot N_{в1} \quad (2.5)$$

Результаты расчетов заносят в табл. 2.2 и на основании их строится графическая индивидуальная характеристика испытанного насоса (рис. 2.22), отображающая зависимости:

$P_{м2} = f(Q_2)$; (2.6)

$N_{в2} = f(Q_2)$;(2.7)

$\eta = f(Q_{2)}$.(2.8)

Результаты расчетов Таблица 2.2

№ режима	Подача насоса $Q_н$, м^3/ч		Давление насоса $P_м$, Мпа		Мощность насоса на валу Nв, кВт		КПД насоса η
	При частоте вращения приводного вала, об/мин						
	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2.5. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист, содержащий полное название учебного заведения, наименование лабораторной работы, название учебной группы, Ф.И.О. преподавателя, проводившего работу и принимающего отчет и студента, оформившего его.

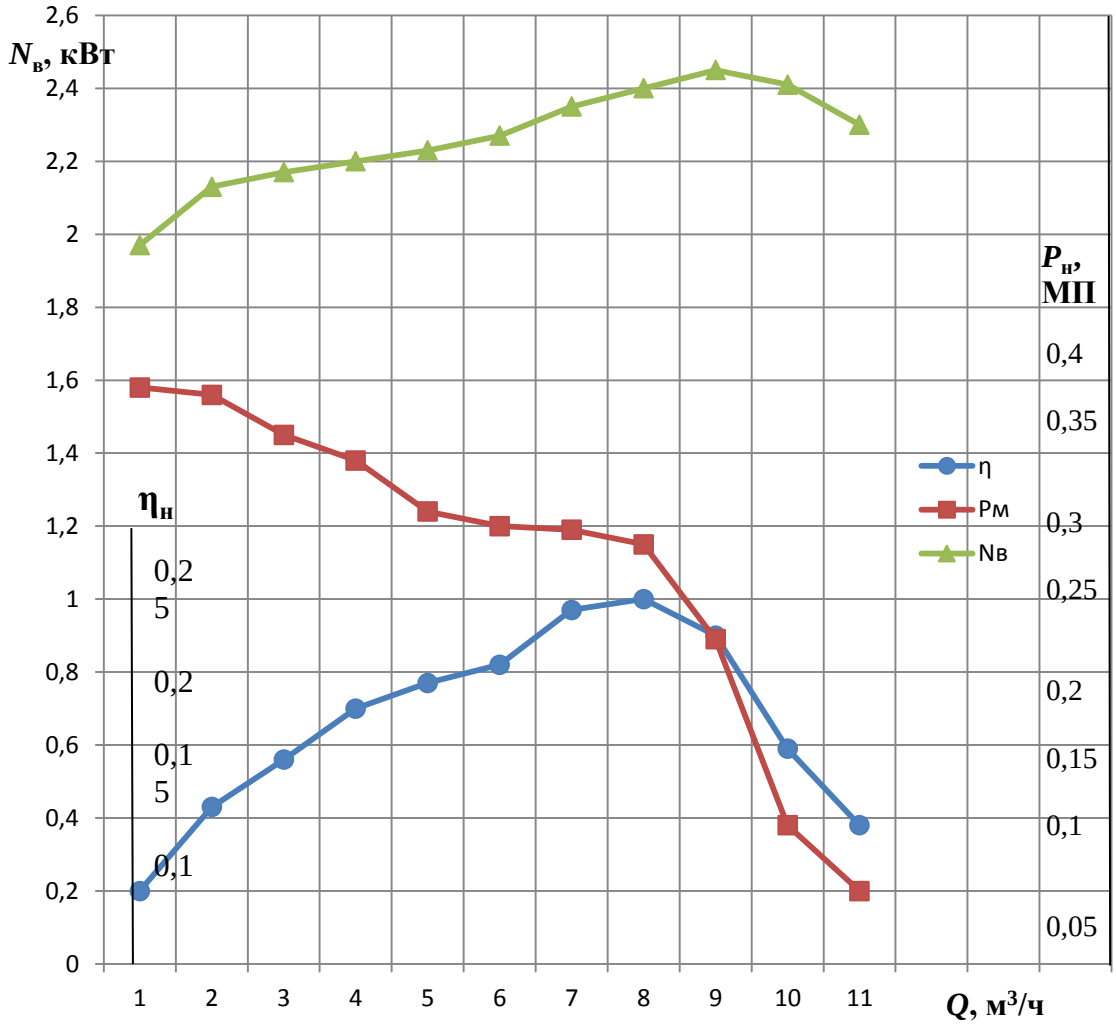


Рис. 2.22. Действительные индивидуальные характеристики насоса

Пояснительная записка отчета по лабораторной работе должна содержать:

а) цель работы;

б) заполненную таблицу «Результаты испытаний».

в) перечень исходных данных, необходимых для проведения расчетов, с указанием единиц измерения;

г) перечень расчетных формул, с расшифровкой условных обозначений;

д) пример расчета для любого режима испытания, кроме первого;

е) заполненную таблицу «Результаты расчетов»;
ж) графическое изображение действительной индивидуальной характеристики испытанного насоса, построенной по данным таблицы «Результаты расчетов», для фактической и заданной частоты вращения;
з) выводы по результатам проведенной работы.
Результаты работы оформляются в отдельной тетради или на листах формата А4.

Список литературы

1. ***Носырев Б. А.*** Теоретические основы рудничных турбомашин: учебное пособие. - Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1995. – 96 с.

2. ***Тимухин С. А.*** СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ. Вопросы теории. Насосы и вентиляторы: учебник/ Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017 .- 251 с.

3. ***Алексеев В.В.*** Стационарные машины: Учеб. Для вузов. – М.: Недра, 1989. – 416 с.

3. ***Картавый Н. Г.*** Стационарные машины: Учебник для вузов. – М., Недра, 1981. 327 с.

5.Центробежные компрессоры принцип работы :www.cvert.ru/komprprincrab.html

6.Испытание - турбокомпрессор - Большая Энциклопедия... ngpedia.ru›id68401p2.html

7. ***Попов В.М.*** Шахтные насосы (теория, расчет и эксплуатация): Справочное пособ. – М.: Недра, 1993 . – 224 с.

Учебное издание

Герман Петрович Дылдин
Николай Владимирович Макаров

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ И ИСПЫТАНИЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Насосы и компрессоры»

Редактор В.В. Баклаева
Компьютерная верстка Г.П. Дылдин

Подписано в печать 10. 07. 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 х 84 1/16
Гарнитура TimesNewRoman. Печать на ризографе
Печ. л. 2,375. Уч.-изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ «ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ»

Специальность

По программе специалитета

21.05.04 Горное дело

«Горные машины и оборудование»

квалификация выпускника: **бакалавр**

Автор: Золкин А.П.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Таугер В.М.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Методические указания адресованы студентам, обучающимся по направлению подготовки 21.05.04 Горное дело, и призваны обеспечить эффективную самостоятельную работу по курсу «ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ».

ОБЪЕМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Суммарный объем часов на СРО *очной формы обучения* составляет 116 часов.

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Единица измерения	Норма времени, час	Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.	Принятая трудоемкость СРО, час.
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					53
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	2,0 х16= 8,0	8
2	Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля)	1 тема	0,3-0,5	0,4 х 12 = 5	5
3	Подготовка к практическим занятиям	1 занятие	0,3-2,0	2,0 х 8= 16,0	16
Другие виды самостоятельной работы					27
4	Подготовка к экзамену	1 экзамен		27	27
	Итого:				90

Суммарный объем часов на СРО *заочной формы* обучения составляет 164 час.

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Единица измерения	Норма времени, час	Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.	Принятая трудоемкость СРО, час.
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					127
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	4,0 х 4= 16	16
2	Самостоятельное изучение тем курса	1 тема	1,0-8,0	8 х 12 = 95	95
3	Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля)	1 тема	0,3-0,5	0,5 х 16 = 8	8
4	Подготовка к практическим занятиям	1 занятие	0,3-2,0	2 х 4 = 8	8
Другие виды самостоятельной работы					9
5	Подготовка к экзамену	1 экзамен		9	9
	Итого:				136

Форма контроля самостоятельной работы студентов – проверка на практическом занятии, контрольные работы, экзамен.

Задача 200 [1]. На конце консоли двутаврового сечения длиной Lразмещён двигатель (рис. 1а). Масса двигателя m; момент инер-ции двигателя относительно оси, проведённой через конец консоли перпендикулярно плоскости чертежа, принять равным$I = \frac{m}{2}\frac{L}{10}^2$ кгм^2. Модуль упругости стали равен $E = 200000$МПа.

Определить собственные частоты вертикальных и угловых колеба-ний системы и найти формы собственных колебаний.

Масса двигателяm, номер двутавра и длина консолиLданы в табл. 1.

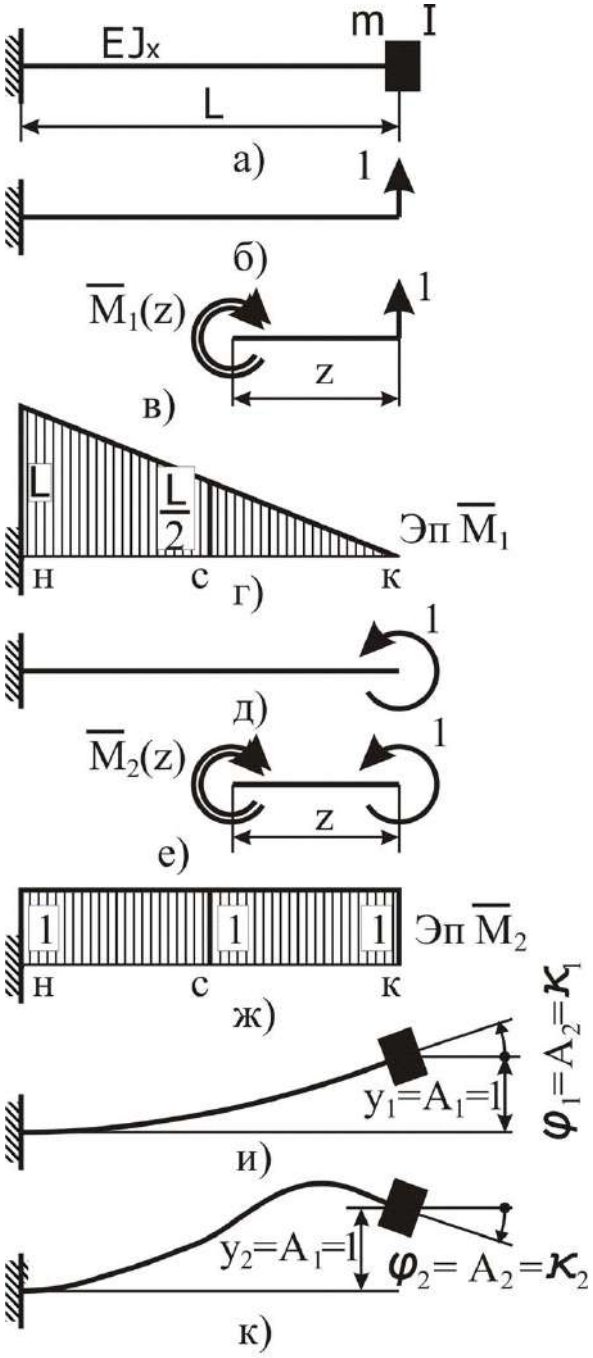


Рис. 200 К задаче 200

Решение. 1. Исходные данные: масса груза$m = 500$кг,длина консоли$L = 2{,}50$м,двутавр № 30.

2. Модуль упругости стали переводим в *Па.* $E = 200000\text{МПа} = 2 \cdot 10^{11}\text{Па}$.

3. Момент инерцииJ_xдвутавра № 30, заданный по ГОСТ 2839 — 89 всм^4, переводим вм^4: $J_x = 7080\text{см}^4 = 7080 \cdot \frac{\text{м}}{100}^4 = 7{,}08 \cdot 10^{-5}\text{м}^4$.

Не следует округлять заданное в официальном документе значение (Задан двутавр № 60:$J_x = 76806\text{см}^4 = 76806 \cdot \frac{\text{м}}{100}^4 = 7{,}6806 \cdot 10^{-4}\text{м}^4$).

4. За обобщённые координаты берём прогиб конца консолиyи угол поворота касательной к упругой линии балки на конце консоли ϕ. Положительным считаем угол поворота против хода стрелки часов.

5. Применяем обратный способ составления уравнений движения: отбрасываем массу и прикладываем к балке инерционные силу$-m\ddot{y}$и момент$-I\ddot{\phi}$, возникающие при колебаниях.

6. Находим податливость балки. Для того строим эпюру изгибающего момента M_1от действия единичной силы (рис. 1г) и эпюру изгибающего моментаM_2от единичного момента (рис. 1ж). Единичные сила и момент положительны и приложены на краю консоли. Аналитические выражения для единичных моментов$M_1 = 1 \cdot z$и$M_2 = 1$. Здесь-z- текущая координата, отсчитываемая от конца консоли.

7. Податливость балки определяется интегралом перемещений $\delta_{ij} = \int_0^L \frac{M_i(z) \cdot M_j(z)}{E \cdot J_x} dz$. Интеграл перемещений можно найти прямым интегрированием. В нашем случае единичные моменты равны $M_1(z) = z; M_2(z) = 1$.Интеграл можно вычислить по формуле Симпсона $\delta_{ij} = \frac{L}{6EJ_x} M_i(\text{н}) \cdot M_j(\text{н}) + 4 \cdot M_i(\text{с}) \cdot M_j(\text{с}) + M_i(\text{к}) \cdot M_j(\text{к})$,

$M_i(\text{н}), M_i(\text{с}), M_i(\text{к})$-- значения момента M_iв начале, середине и конце участка L.

Прогиб конца консоли от единичной силы, приложенной там же, равен$\delta_{11} = \int_0^L \frac{{M_1}^2}{EJ_x} dz = \int_0^L \frac{z^2}{EJ_x} dz = \frac{L^3}{3EJ_x} = \frac{2{,}5^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-11} 7{,}08 \cdot 10^{-5}} = 3{,}68 \cdot 10^{-7}$.

Податливости $\delta_{12} = \delta_{21} = \int_0^L \frac{M_1 M_2}{EJ_x} dz = \int_0^L \frac{z \cdot 1}{EJ_x} dz = \frac{L^2}{2EJ_x} = \frac{2{,}5^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} 7{,}08 \cdot 10^{-5}} = 2{,}21 \cdot 10^{-7}$-- прогиб конца консоли от действия единичного момента и угол поворота оси на конце консоли от единичной силы.

Податливость$\delta_{22} = \int_0^L \frac{{M_2}^2}{EJ_x} dz = \int_0^L \frac{1}{EJ_x} dz = \frac{L}{EJ_x} = \frac{2{,}5}{2 \cdot 10^{11} 7{,}08 \cdot 10^{-5}} = 1{,}77 \cdot 10^{-7}$-- угол поворота оси на конце консоли от действия единичного момента.

8. Момент инерции задан формулой $I = \frac{m}{2} \cdot \frac{L}{10}^2 = \frac{500}{2} \cdot \frac{2{,}5}{10}^2 = 15{,}6\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

9. Обобщённые перемещения конца консоли от действия сил инерции выражаем через податливости $\left.\begin{matrix} y = -m\ddot{y}\delta_{11} - I\ddot{\phi}\delta_{12}; \\ \phi = -m\ddot{y}\delta_{21} - I\ddot{\phi}\delta_{22}. \end{matrix}\right\}$

10. Решение системы уравнений ищем в виде $y = A_1 \sin pt, \phi = A_2 \sin pt$. Дважды дифференцируем y, ϕ. Подставляя в систему уравнений получаем систему двух однородных линейных уравнений относительно амплитуд A_1, A_2.

11. Система однородных линейных уравнений имеет ненулевое решение, если определитель матрицы коэффициентов при неизвестных равен нулю

$$\begin{bmatrix} (mp^2\delta_{11} - 1) & Ip^2\delta_{12} \\ mp^2\delta_{21} & (Ip^2\delta_{22} - 1) \end{bmatrix} = 0.$$

12. Раскрывая определитель получаем биквадратное уравнение

$$mI(\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2)p^4 - (m\delta_{11} + I\delta_{22})p^2 + 1 = 0.$$

13. Решая биквадратное уравнение, определяем квадраты собственных частот $p_1^2 = \frac{m\delta_{11} + I\delta_{22} - \sqrt{m\delta_{11} + I\delta_{22}{}^2 - 4mI(\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2)}}{2mI(\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2)} =$

$$= \frac{500 \cdot 3{,}68 \cdot 10^{-7} + 15{,}6 \cdot 1{,}77 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 500 \cdot 15{,}63{,}68 \cdot 10^{-7} 1{,}77 \cdot 10^{-7} - (2{,}21 \cdot 10^{-7})^2} -$$

$$- \frac{\sqrt{(500 \cdot 3{,}68 \cdot 10^{-7} + 15{,}6 \cdot 1{,}77 \cdot 10^{-7})^2 - 4 \cdot 500 \cdot 15{,}6(3{,}68 \cdot 10^{-7} 1{,}77 \cdot 10^{-7} - (2{,}21 \cdot 10^{-7})^2)}}{2 \cdot 500 \cdot 15{,}6 \cdot (3{,}68 \cdot 10^{-7} 1{,}77 \cdot 10^{-7} - (2{,}21 \cdot 10^{-7})^2)}$$

$$=$$

$$= 5380\text{с}^{-2};$$

$$p_2^2 = \frac{m\delta_{11} + I\delta_{22} + \sqrt{m\delta_{11} + I\delta_{22}{}^2 - 4mI(\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2)}}{2mI(\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2)} =$$

$$= \frac{500 \cdot 3{,}68 \cdot 10^{-7} + 15{,}6 \cdot 1{,}77 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 500 \cdot 15{,}63{,}68 \cdot 10^{-7} 1{,}77 \cdot 10^{-7} - (2{,}21 \cdot 10^{-7})^2}$$

$$+ + \frac{\sqrt{(500 \cdot 3{,}68 \cdot 10^{-7} + 15{,}6 \cdot 1{,}77 \cdot 10^{-7})^2 - 4 \cdot 500 \cdot 15{,}6(3{,}68 \cdot 10^{-7} 1{,}77 \cdot 10^{-7} - (2{,}21 \cdot 10^{-7})}}{2 \cdot 500 \cdot 15{,}6 \cdot (3{,}68 \cdot 10^{-7} 1{,}77 \cdot 10^{-7} - (2{,}21 \cdot 10^{-7})^2)}$$

$$=$$

$$= 1.47 \cdot 10^6 \text{с}^{-2}.$$

14. Находим собственные частоты $p_1 = \sqrt{p_1^2} = \sqrt{5850} = 73{,}3\text{с}^{-1}., p_2 = \sqrt{p_2^2} = \sqrt{1.47 \cdot 10^6} = 1210\text{с}^{-1}$.

15. Ищем формы собственных колебаний. Из первого уравнения колебаний находим отношение амплитуды второй гармоники к первой гармонике для первой собственной частоты $\kappa_1 = \frac{A_2}{A_1} = -\frac{m\delta_{11}p_1^2 - 1}{I\delta_{12}p_1^2} =$

$\frac{500 \cdot 3{,}68 \cdot 10^{-7} 5380 - 1}{15.6 \cdot 2{,}21 \cdot 10^{-7} 5380} = 0{,}602$ и для второй собственной частоты $\kappa_2 = \frac{A_2}{A_1} =$

$-\frac{m\delta_{11}p_2^2 - 1}{I\delta_{12}p_2^2} = \frac{500 \cdot 3{,}68 \cdot 10^{-7} 1.47 \cdot 10^6 - 1}{174 \cdot 2{,}21 \cdot 10^{-7} 1.47 \cdot 10^6} = -4{,}71.$

16. Изображаем формы колебаний на рис. 2.

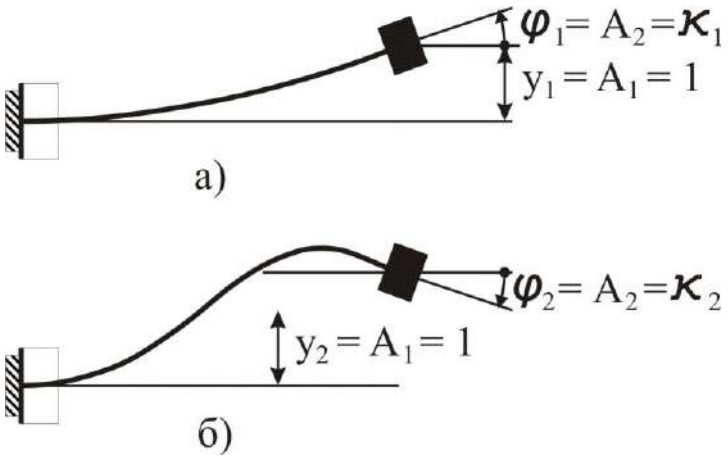


Рис. 2. Формы собственных колебаний: а) первая; б) вторая

Исходные данные к задаче 200 Таблица 1

N^o	Масса двигателя m, *кг*	Номер двутавра	Длина консоли l_1, *м*
1	120	10	1,8
2	130	12	2,0
3	140	14	2,2
4	150	16	2,4
5	160	18	2,6
6	170	20	2,8
7	180	22	3,0
8	190	24	3,2
9	200	27	3,4
10	210	30	3,6
11	220	27	3,8
12	230	24	3,4
13	240	22	3,0
14	250	20	2,6
15	260	18	2,2
16	270	20	2,4
17	280	22	2,6
18	290	24	2,8
19	300	27	3,0

20	310	30	3,2

Задача 201 [1]. Консольная стальная балка несёт две точечные массы:$m_1 = 200$кгв пролёте иm_2на конце консоли. Длина пролёта равна$l = 3{,}00$м,длина консоли равнаa. Расстояния массыm_1до ле-вой и правой опор пролёта равны, соответственноaиb(рис. 3а).
Считая массы точечными и пренебрегая массой вала, найти собственные частоты и формы изгибных вала. Величиныm_2,aи номер двутавра даны в табл. 2.

Решение. 1. Дано: двутавр № 30,$m_2 = 500$кг; $a = 1{,}45$м.
2. Модуль упругости стали выразим в Па$E = 200000\text{МПа} = 2 \cdot 10^{11}\text{Па}.$
3. В ГОСТ 2839 — 89 момент инерции двутавра № 30 задан в см^4.Переводим его вм^4 $J_x = 7080\text{см}^4 = 7080 \cdot \frac{\text{м}}{100}^4 = 7{,}08 \cdot 10^{-5}\text{м}^4$.(Не округляйте заданное в официальном документе значение до трёх значащих цифры. Момент инерции двутавра № 60 по ГОСТ 2839 — 89 равен $J_x = 76806\text{см}^4 = 76806 \cdot \frac{\text{м}}{100}^4 = 7{,}6806 \cdot 10^{-4}\text{м}^4$.В расчёте используем это значение.)
4. К массам приложим силы инерции$-m_1\ddot{y}_1$,$-m_2\ddot{y}_2$.
5. Перемещения масс под действием сил инерции выразим через податливости
$\left.\begin{matrix} y_1 = -m_1\ddot{y}_1\delta_{11} - m_2\ddot{y}_2\delta_{12}; \\ y_2 = -m_1\ddot{y}_1\delta_{21} - m_2\ddot{y}_2\delta_{22}. \end{matrix}\right\}$Получим дифференциальные уравнения собственных колебаний балки с массами.
6. Решение системы уравнений собственных колебаний ищем в виде $y_1 = A_1\sin pt$,$y_2 = A_2\sin pt$. Дважды дифференцируем y_1, y_2. Подставляя в систему дифференциальных уравнений колебаний, получаем систему двух линейных однородных уравнений относительно неизвестных A_1, A_2.
7. Система линейных однородных уравнений имеет ненулевое решение, если определитель матрицы коэффициентов при неизвестных равен нулю
$$\begin{bmatrix} (1 - m_1p^2\delta_{11}) & -m_2p^2\delta_{12} \\ -m_1p^2\delta_{21} & (1 - m_2p^2\delta_{22}) \end{bmatrix} = 0.$$
8. Раскрывая определитель получаем биквадратное уравнение $m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22} - (\delta_{12})^2)p^4 - (m_1\delta_{11} + m_2\delta_{22})p^2 + 1 = 0.$
9. Податливостью балки называют перемещение точкиiв направлении единичной силы P_iот действия единичной силы P_j, приложенной в точке j. Податливость балки определяется интегралом перемещений $\delta_{ij} = \int_0^L \frac{M_i(z) \cdot M_j(z)}{E \cdot J_x} dz$. Интеграл берётся аналитически или численными методами (например, по формуле Симпсона):
$$\delta_{ij} = \frac{L}{EJ_x} M_i(\text{н}) \cdot M_j(\text{н}) + 4 \cdot M_i(\text{с}) \cdot M_j(\text{с}) + M_i(\text{к}) \cdot M_j(\text{к}),$$

где $M_i(\text{н}), M_i(\text{с}), M_i(\text{к})$-- значения момента в начале, середине и конце участка интегрирования.

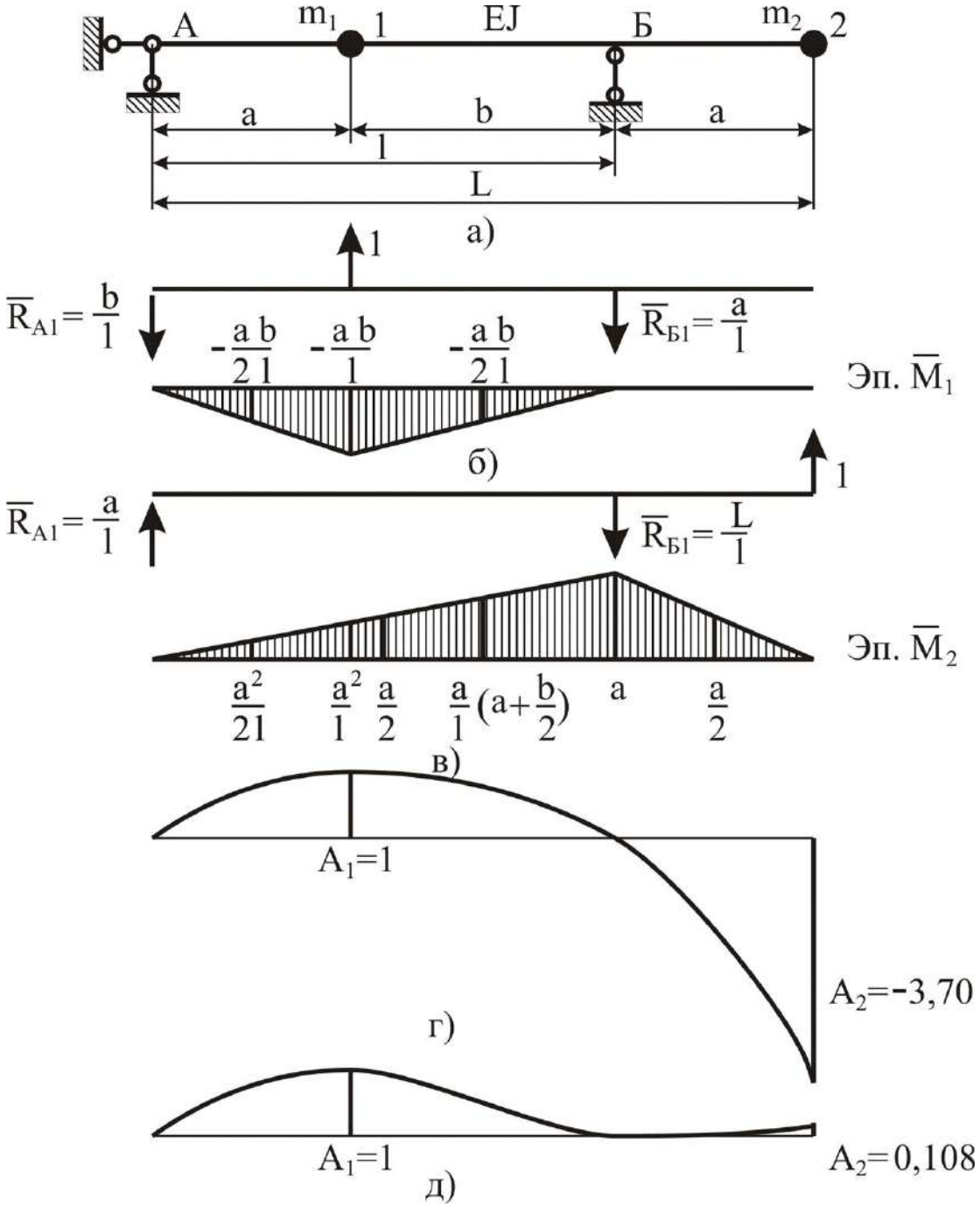


Рис. 3. Схема балки. Эпюры изгибающих моментов от единичных сил. Формы собственных колебаний: г) первая; д) вторая

Прогиб первой массы от приложенной к ней единичной силы, равен$\delta_{11}=\int_0^L \frac{{M_1}^2}{EJ_x}dz=\frac{a^2b^2}{3EJ_xl}$.

Податливости $\delta_{12}=\int_0^L \frac{M_1M_2}{EJ_x}dz=-\frac{a^2bL}{6EJ_xl}$-прогиб первой массы от единичной силы действующей на конце консоли и прогиб конца консоли от действия единичной силы, приложенной к первой массе.

Податливость$\delta_{22} = \int_0^L \frac{M_2{}^2}{EJ_x} dz = \frac{a^2 L}{3EJ_x}$ =-- прогиб конца консоли от действия единичной силы, приложенной там же. Здесь $L = 2a + b = 2 \cdot 1{,}45 + 1{,}55 = 4{,}45$ *м*.

10. Вычисляем квадраты собственных частот

$$p_1^2 = \frac{(m_1\delta_{11}+m_2\delta_{22}) - \sqrt{(m_1\delta_{11}+m_2\delta_{22})^2 - 4m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}{}^2)}}{2m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}{}^2)} c^{-2}; p_2^2 =$$

$$\frac{(m_1\delta_{11}+m_2\delta_{22}) + \sqrt{(m_1\delta_{11}+m_2\delta_{22})^2 - 4m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}{}^2)}}{2m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}{}^2)} c^{-2}.$$

11. Первая собственная частота $p_1 = \sqrt{p_1^2} c^{-1}$;

12. Вторая собственная частота $p_2 = \sqrt{p_2^2} c^{-1}$.

13. Отношение амплитуды второй собственной частоты к первой в первой форме собственных колебаний (коэффициент распределения) $k_1 = -\frac{m_1\delta_{11}p_1^2 - 1}{m_2\delta_{12}p_1^2}$.

14. Отношение амплитуды второй собственной частоты к первой во второй форме собственных колебаний (коэффициент распределения) $k_2 = -\frac{m_1\delta_{11}p_2^2 - 1}{m_2\delta_{12}p_2^2}$..

15. Изображаем формы колебаний на рис. 3*г*, *д*.

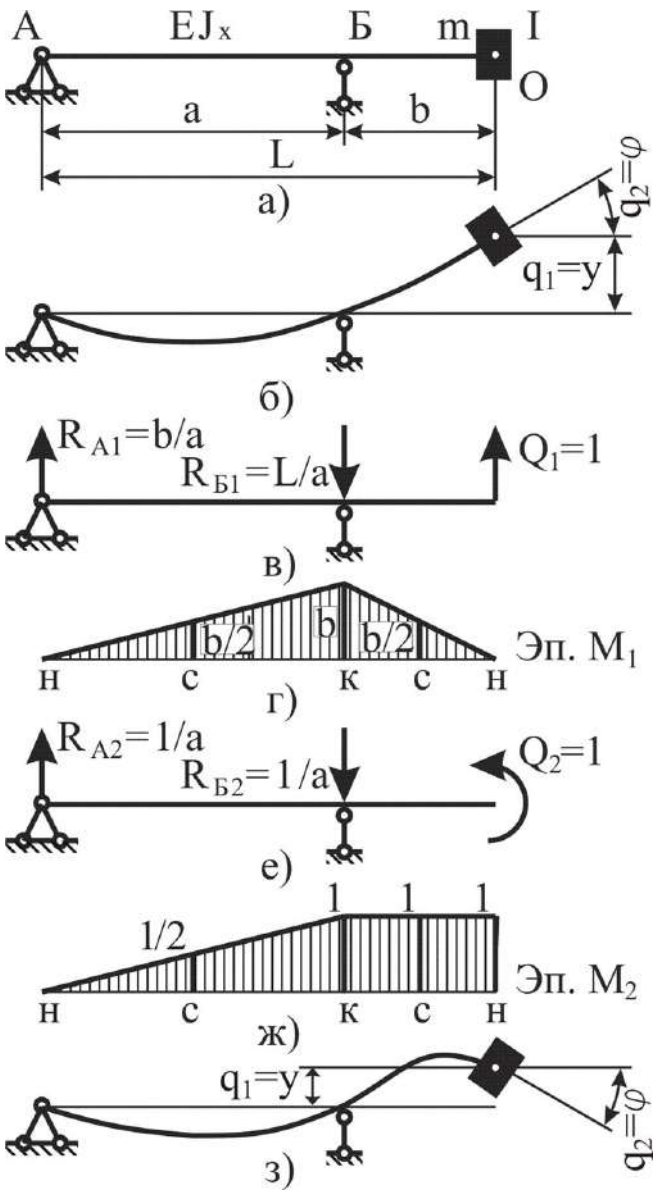
Исходные данные к задаче 201 Таблица 2

N^o	Масса m_2, *кг*	Номер двутавра	Расстояние от левой опоры пролёта до массы a, *м*
1	240	10	0,5
2	260	12	0,6
3	280	10	0,7
4	300	12	0,8
5	320	14	0,9
6	340	16	1,0
7	360	14	1,1
8	380	16	1,2
9	400	18	1,3
10	420	20	1,4
11	440	18	1,5
12	460	20	1,6
13	480	22	1,7

14	500	24	1,8
15	520	22	1,9
16	540	24	2,0
17	560	27	2,1
18	580	30	2,2
19	600	27	2,3
20	620	30	2,4

В заданиях 2013 — 14 года использовать случаи: длина консоли равна $b; l$;длина консоли произвольнаe.

Задача 2026 [1]. Определить собственные частоты и формы вер-тикальных и угловых колебаний двухопорной балки, несущей на краю консоли груз (рис. 3а). Массаm, № двутавра и размерыaиbданы в табл. 3. Момент инерции массы относительно оси, проведённой через точкуOперпендикулярно плоскости чертежа, вычислить по формуле $I = \frac{m}{2}\frac{a^2}{5}$. Массой балки пренебречь. Материал балки — сталь, модуль упругости $E = 200000$МПа.



Решение. 1. Дано:$m =$ 500кг,

двутавр № 30; $a = 8{,}5$м,

$b = 3{,}5$м.

2. Представим в *Па* модуль упру- гости $E = 200000 = 2 \cdot 10^{11}$Па.

ГОСТ 2839 — 89 момент инер- ции двутавра № 30 задан в $см^4$.Переводим его в$м^4$ $J_x = 7080см^4 = 7080 \cdot \frac{м}{100}^4 =$

$7{,}08 \cdot 10^{-5}$м^4.Не следует окру-глять заданное в официальном документе значение до трёх значащих цифры. (Момент ине- рции двутавра № 60 $J_x = 76806\text{см}^4 = 76806 \cdot \frac{\text{м}}{100}^4 =$ $=7{,}6806 \cdot 10^{-4}\text{м}^4$).

Расстояние до правой опоры $b = L - a = 4 - 1{,}4 = 2{,}6$м.

Применяем обратный способ составления уравнений собст-венных колебаний. Отбрасыва-ем массу, заменяем её действие на балку обобщёнными силами: силой инерции$Q_1 = -m\ddot{y}$и мо-ментом инерции $Q_2 = -I\ddot{\phi}.$

Рис. 3. К задаче 2026

6. При собственных колебаниях балки другие внешние силы на упругую балку не действуют. Обобщённые перемещения груза, вызван-ные этими обобщёнными силами:$q_1 = y$— вертикальное линейное сме-щение и $q_2 = \phi$— угол поворота груза (положительным считаем направ-ление против стрелки часов). Выражаем перемещение груза через обоб-щённые силы: $\left.\begin{matrix} q_1 = \delta_{11}Q_1 + \delta_{12}Q_2; \\ q_2 = \delta_{21}Q_1 + \delta_{22}Q_2. \end{matrix}\right\}$

Здесь δ_{ij}податливость балки по направлению обобщённого перемеще-нияq_iот действия единичной обобщённой силыQ_j.Индексы принима-ют значения $i, j = 1{,}2$.Подставляя в систему значения сил инерции, по-лучаем получаем дифференциальные уравнения упругих колебаний гру-за:

$\left.\begin{matrix} y = -\delta_{11}m\ddot{y} - \delta_{12}I\ddot{\phi}; \\ \phi = -\delta_{21}m\ddot{y} - \delta_{22}I\ddot{\phi}. \end{matrix}\right\}$

7. Решение ищем в виде $y = A_1\sin pt, \phi = A_2\sin pt$.Предполагаем, что угловые и линейные колебания происходят с одинаковыми частотойpи фазой. ЗдесьA_1, A_2— амплитуды колебаний. Дважды дифференцируем$\ddot{y} = -A_1p^2\sin pt, \ddot{\phi} = -A_2p^2\sin pt$.Подставляя неизвестные и их произ-водные в систему, получаем систему линейных однородных уравнений относительно амплитуд A_1иA_2

$\left.\begin{matrix} (\delta_{11}mp^211)A_1 + \delta_{12}Ip^2A_2 = 0; \\ \delta_{21}mp^2A_1 + (\delta_{22}Ip^2 - 1)A_2 = 0. \end{matrix}\right\}$

8. Система линейных уравнений имеет ненулевое решение в случае, ес-ли определитель матрицы коэффициентов при

неизвестных равен нулю. Приравнивая нулю определитель$\begin{vmatrix} \delta_{11}mp^2-1 & \delta_{12}Ip^2 \\ \delta_{21}mp^2 & \delta_{22}Ip^2-1 \end{vmatrix}=0$.Получаем биквадратное уравнение относительно частотыpсобственных колеба-ний $mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)p^4-(\delta_{11}m+\delta_{22}I)p^2+1=0$.Положительные корни ве-кового (частотного или характеристического) уравнения являются часто-тами собственных колебаний груза. Частоты нумеруются в порядке воз-растания $p_1^2=\frac{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)-\sqrt{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)^2-4mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}}{2mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}$и $p_2^2=\frac{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)+\sqrt{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)^2-4mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}}{2mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}$.Собственные частоты равны$p_1=\sqrt{p_1^2}$и$p_2=\sqrt{p_2^2}$.

9. Податливости ищем методами сопротивления материалов: строим эпюры изгибающих моментов$\overline{M_i}(z)$от действия единичных обобщён-ных силQ_i;вычисляем интеграл перемещений$\delta_{ij}=\int_0^L \overline{M_i}(z)\overline{M_j}(z)dz$, равный податливости в направлении обобщённого перемещенияq_iот действия обобщённой силыQ_j.На рис. 3,*в* дана расчётная схема для построения эпюры единичного момента$\overline{M_1}(z)$.Эпюра$\overline{M_1}(z)$.построе-на на рис. 3,*г.* На рис. 3,*е* приведена расчётная схема для построения эпюры единичного момента$\overline{M_2}(z)$.На рис. 3,*ж* построена эпюра еди-ничного момента$\overline{M_2}(z)$.

10. Приведём аналитические выражения для единичных изгибающих моментов:

$$\left.\begin{aligned}\overline{M_1}(z)=R_{А1}z-R_{Б1}(z-a)H(z-a)=\frac{b}{a}z-\frac{L}{a}(z-a)H(z-a);\\ \overline{M_1}(z)=R_{А2}z-R_{Б2}(z-a)H(z-a)=\frac{1}{a}z-\frac{1}{a}(z-a)H(z-a).\end{aligned}\right\}$$

Здесь $H(z)=\begin{cases}0\text{при}z<0,\\1\text{при}z\geq 0\end{cases}$— функция Хевисайда. Аналитические выраже-ния моментов используются для вычислений собственных колебаний на ЭВМ.

11. Отношение амплитуд углового и линейного колебаний остаётся пос-тоянным на протяжении цикла колебаний. Из первого уравнения нахо-дим отношение амплитуд $k=\frac{A_2}{A_1}=\frac{\delta_{11}mp^2-1}{\delta_{12}Ip^2}$.Подставляя в это выраже-ние поочерёдно значения первой и второй собственных частот, получа-ем

коэффициенты формы для первой и второй форм собственных коле-баний $k_1 = \frac{A_2}{A_1} = -\frac{\delta_{11} m p_1^2 - 1}{\delta_{12} I p_1^2}$ и $k_2 = \frac{A_2}{A_1} = -\frac{\delta_{11} m p_2^2 - 1}{\delta_{12} I p_2^2}$.Первая и вторая фор-мы колебаний изображены на рис. 3,*б* и 3,*з*.

12. Интеграл перемещений берётся непосредственным интегрированием, либо вычисляется по правилу Верещагина или по формуле Симпсона. Формула Симпсона для интеграла перемещений имеет вид$\delta_{ij} = \int_0^e \frac{\overline{M_i}(z)\overline{M_j}(z)}{EJ_x} dz = \frac{e}{6EJ_x}[\overline{M_i}(\text{н})\overline{M_j}(\text{н}) + 4\overline{M_i}(\text{с})\overline{M_j}(\text{с}) + \overline{M_i}(\text{к})\overline{M_j}(\text{к})]$.

Здесь*e*— длина участка интегрирования, вдоль которого аналитичес-кие выражения для подинтегральных функций неизменяются;

$\overline{M_i}(\text{н}), \overline{M_i}(\text{с}), \overline{M_i}(\text{к})$— значения функции в начале, середине и конце участка интегрирования.

В формуле Симпсона выражение в квадратных скобках не изменит свое-го значения, если аргументы *н* и *к* поменять местами. Подобная симмет-рия относительно индексов указывает, что при вычислении интеграла по формуле Симпсона безразлично, какую границу участка брать в качест-ве начальной. Единичные моменты $\overline{M_i}(z), \overline{M_j}(z)$имеют различные ана-литические выражения на участках *АБ* и *БО.* При вычислении интеграла перемещений формулу Симпсона применяем отдельно для участков *АБ* и *БО*, а результаты вычислений суммируем. Получаем:

$$\delta_{11} = \frac{a}{6EJ_x}[0 + 4 \cdot (\frac{b}{2})^2 + b^2] + \frac{b}{6EJ_x}[0 + 4 \cdot (\frac{b}{2})^2 + b^2] = \frac{Lb^2}{3EJ_x};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{a}{6EJ_x}[0 + 4 \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{2} + b \cdot 1] + \frac{b}{6EJ_x}[0 \cdot 1 + 4 \cdot \frac{b}{2} \cdot 1 + b \cdot 1] = \frac{ab}{3EJ_x} + \frac{b^2}{2EJ_x};$$

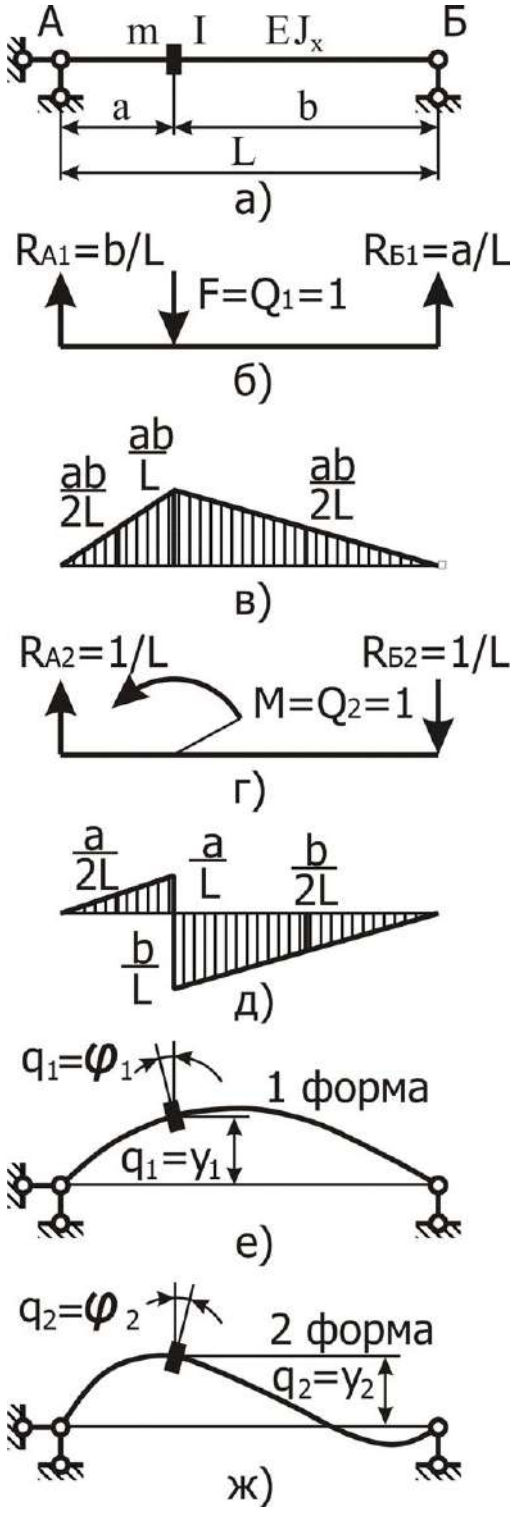
$$\delta_{22} = \frac{a}{6EJ_x}[0 + 4 \cdot (\frac{1}{2})^2 + 1^2] + \frac{b}{6EJ_x}[1 \cdot 1 + 4 \cdot 1^2 + 1^2] = \frac{a}{3EJ_x} + \frac{b}{EJ_x}.$$

Исходные данные Табл. 3

№	Масса m, *кг*	№ двутавра	База a, *м*	Консоль b, *м*
1	220	10	1,9	0,5
2	240	10	2,1	0,7
3	260	12	2,3	0,7

4	280	12	2,5	0,65
5	300	14	2,7	0,9
6	320	14	2,9	0,95
7	340	16	3,2	0,80
8	360	16	3,5	1,05
9	380	18	3,8	1,3
10	400	18	4,1	1,5
11	420	20	4,4	1,7
12	440	20	4,7	1,95
13	460	22	5,0	2,1
14	480	22	5,3	2,15
15	500	24	5,6	2,2
16	520	24	5,9	2,25
17	540	27	6,2	2,5
18	560	27	6,5	2,7
19	580	30	6,8	3,0
20	600	30	7,1	3,25

Задача 202в [1]. Определить собственные частоты и формы вертикальных и угловых колебаний двухопорной балки, несущей в пролёте груз (рис. 4а). Масса m, № двутавра и размеры a и b даны в табл. 3. Момент инерции массы относительно оси, проведённой через точку O перпендикулярно плоскости чертежа, найти по формуле $I = \frac{m}{2}\frac{a^2}{6}$. Массой балки пренебречь. Модуль упругости *стали* $E = 200000\text{МПа}$.



Решение. 1. Дано: двутавр № 30; $a = 8{,}5\text{м}, b = 3{,}5\text{м}$.**2.** Представим в *Па* модуль упругости $E = 200000 = 2 \cdot 10^{11}\text{Па}$.3. В ГОСТ 2839 — 89 момент инерции двутавра № 30 задан всм^4.Переводим в$\text{м}^4 J_x = 7080\text{см}^4 = 7{,}08 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{100}^4 = 7{,}0810^{-5}\text{м}^4$ Не следует округлять заданное в официальном документе значение до трёх значащих цифр. (Момент инерции двутавра № 60 $J_x = 76806\text{см}^4 = 76806 \cdot \frac{\text{м}}{100}^4 = 7{,}6806 \cdot 10^{-6}\text{м}^4$

4. Расстояние до правой опоры $b = L - a = 4 - 1{,}4 = 2{,}6\text{м}$.5. Применяем об-ратный способ составления уравнений собственных колебаний. Отбрасываем мас-су, заменяем её действие на балку обоб-щёнными силами: силой инерции$Q_1 = -m\ddot{y}$и моментом инерции$Q_2 = -I\ddot{\phi}$.6. При соб-ственных колебаниях другие внешние силы на упругую балку не действуют. Обобщён-ные перемещения груза, вызванные обоб-щёнными силами:$q_1 = y$— вертикальное линейное смещение и $q_2 = \phi$— угол пово-рота груза (положительным считаем на-правление против хода стрелки часов). Вы-ражаем перемещение груза через обобщён-ные силы: $\left.\begin{matrix} q_1 = \delta_{11}Q_1 + \delta_{12}Q_2; \\ q_2 = \delta_{21}Q_1 + \delta_{22}Q_2. \end{matrix}\right\}$

Здесь δ_{ij}податливость балки по направле-нию обобщённого перемещенияq_iот действия единичной обобщённой силыQ_j.Рис. 4. К задаче 202в Индексы принимают значения $i, j = 1{,}2$.Подставляя в систему значения сил инерции, получаем получаем диффе-ренциальные уравнения упругих колебаний груза: $\left.\begin{matrix} y = -\delta_{11}m\ddot{y} - \delta_{12}I\ddot{\phi}; \\ \phi = -\delta_{21}m\ddot{y} - \delta_{22}I\ddot{\phi}. \end{matrix}\right\}$

7. Решение ищем в виде $y = A_1\sin pt, \phi = A_2\sin pt$.Полагаем, что угло-вые и линейные колебания происходят с одинаковыми частотойpи фа-зой. ЗдесьA_1, A_2— амплитуды колебаний. Дважды дифференцируем$\ddot{y} = -A_1p^2\sin pt, \ddot{\phi} = -A_2p^2\sin pt$.Подставляя неизвестные и их произ-водные в

систему, получаем систему линейных однородных уравнений относительно амплитуд A_1 и A_2 $\left.\begin{matrix}(\delta_{11}mp^2 11)A_1+\delta_{12}Ip^2A_2=0;\\ \delta_{21}mp^2A_1+(\delta_{22}Ip^2-1)A_2=0.\end{matrix}\right\}$

8. Система линейных уравнений имеет ненулевое решение в случае, ес-ли определитель матрицы коэффициентов при неизвестных равен нулю. Приравнивая нулю определитель $\begin{vmatrix}\delta_{11}mp^2-1 & \delta_{12}Ip^2\\ \delta_{21}mp^2 & \delta_{22}Ip^2-1\end{vmatrix}=0$. Получаем биквадратное уравнение относительно частоты p собственных колеба-ний $mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)p^4-(\delta_{11}m+\delta_{22}I)p^2+1=0$. Положительные корни ве-кового (частотного или характеристического) уравнения являются часто-тами собственных колебаний груза. Частоты нумеруются в порядке воз-растания $p_1^2=\frac{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)-\sqrt{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)^2-4mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}}{2mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}$ и $p_2^2=\frac{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)+\sqrt{(\delta_{11}m+\delta_{22}I)^2-4mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}}{2mI(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}$. Собственные частоты равны $p_1=\sqrt{p_1^2}$ и $p_2=\sqrt{p_2^2}$.

9. Податливости ищем методами сопротивления материалов: строим эпюры изгибающих моментов $\overline{M_i}(z)$ от действия единичных обобщён-ных сил Q_i; вычисляем интеграл перемещений $\delta_{ij}=\int_0^L \overline{M_i}(z)\overline{M_j}(z)dz$, равный податливости в направлении обобщённого перемещения q_i от действия обобщённой силы Q_j. На рис. 3, *в* дана расчётная схема для построения эпюры единичного момента $\overline{M_1}(z)$. Эпюра $\overline{M_1}(z)$. построе-на на рис. 3, *г*. На рис. 3, *е* приведена расчётная схема для построения эпюры единичного момента $\overline{M_2}(z)$. На рис. 3, *ж* построена эпюра еди-ничного момента $\overline{M_2}(z)$.

10. Приведём аналитические выражения для единичных изгибающих моментов: $\left.\begin{matrix}\overline{M_1}(z)=R_{\text{А}1}z-R_{\text{Б}1}(z-a)H(z-a)=\frac{b}{a}z-\frac{L}{a}(z-a)H(z-a);\\ \overline{M_1}(z)=R_{\text{А}2}z-R_{\text{Б}2}(z-a)H(z-a)=\frac{1}{a}z-\frac{1}{a}(z-a)H(z-a).\end{matrix}\right\}$

Здесь $H(z)=\begin{cases}0\text{при}z<0,\\ 1\text{при}z\geq 0\end{cases}$ — функция Хевисайда. Аналитические выраже-ния моментов используются для вычислений собственных колебаний на ЭВМ.

11. Отношение амплитуд углового и линейного колебаний остаётся пос-тоянным на протяжении цикла колебаний. Из первого уравнения нахо-дим отношение амплитуд $k=\frac{A_2}{A_1}=\frac{\delta_{11}mp^2-1}{\delta_{12}Ip^2}$. Подставляя в это выраже-ние поочерёдно значения первой и второй собственных частот, получа-ем коэффициенты формы для первой и второй форм собственных коле-баний $k_1=\frac{A_2}{A_1}=\frac{\delta_{11}mp_1^2-1}{\delta_{12}Ip_1^2}$ и $k_2=\frac{A_2}{A_1}=\frac{\delta_{11}mp_2^2-1}{\delta_{12}Ip_2^2}$. Первая и вторая фор-мы колебаний изображены на рис. 3, *б* и 3, *з*.

12. Интеграл перемещений берётся непосредственным интегрированием, либо вычисляется по правилу Верещагина или по

формуле Симпсона. Формула Симпсона для интеграла перемещений имеет вид$\delta_{ij} = \int_0^e \frac{\overline{M_i}(z)\overline{M_j}(z)}{EJ_x} dz = \frac{e}{6EJ_x}[\overline{M_i}(\text{н})\overline{M_j}(\text{н}) + 4\overline{M_i}(\text{с})\overline{M_j}(\text{с}) + \overline{M_i}(\text{к})\overline{M_j}(\text{к})]$.

Здесьe— длина участка интегрирования, вдоль которого аналитические выражения для подинтегральных функций неизменяются;

$\overline{M_i}(\text{н}), \overline{M_i}(\text{с}), \overline{M_i}(\text{к})$— значения функции в начале, середине и конце участка интегрирования.

В формуле Симпсона выражение в квадратных скобках не изменит свое-го значения, если аргументы *н* и *к* поменять местами. Подобная симмет-рия относительно индексов указывает, что при вычислении интеграла по формуле Симпсона безразлично, какую границу участка брать в качест-ве начальной. Единичные моменты $\overline{M_i}(z), \overline{M_j}(z)$имеют различные ана-литические выражения на участках *АБ* и *БО.* При вычислении интеграла перемещений формулу Симпсона применяем отдельно для участков *АБ* и *БО*, а результаты вычислений суммируем. Получаем:

$$\delta_{11} = \frac{a^2b^2}{3EJ_xL}; \delta_{12} = \frac{ab(a-b)}{3EJ_xL}; \delta_{22} = \frac{a^3+b^3}{3EJ_xL^2}.$$

Исходные данные Табл. 3

№	Масса m, *кг*	№ двутавра	Пролёт L, *м*	a, *м*
1	220	10	2,8	1,0
2	240	12	3,2	1,2
3	260	14	3,6	1,4
4	280	10	3,6	1,4
5	300	12	3,2	1,2
6	320	14	2,8	1,0
7	340	16	4,0	1,6
8	360	18	4,4	1,8
9	380	20	4,8	2,0
10	400	16	4,8	2,0
11	420	18	4,4	1,8
12	440	20	4,0	1,6
13	460	22	5,2	2,2
14	500	24	5,6	2,4
15	550	27	6,0	2,6
16	680	22	6,0	2,6
17	720	24	5,6	2,4

18	740	27	5,2	2,2
19	760	30	6,4	2,8
20	800	30	6,8	3,0

Задача СС203. Стальная двутавровая балка длинойL,несёт на расстоянияхaиbот левой опоры точечные массыm_1иm_2.найти частоты и формы собственных колебаний балки. Данные для вычислений взять в табл. 5.

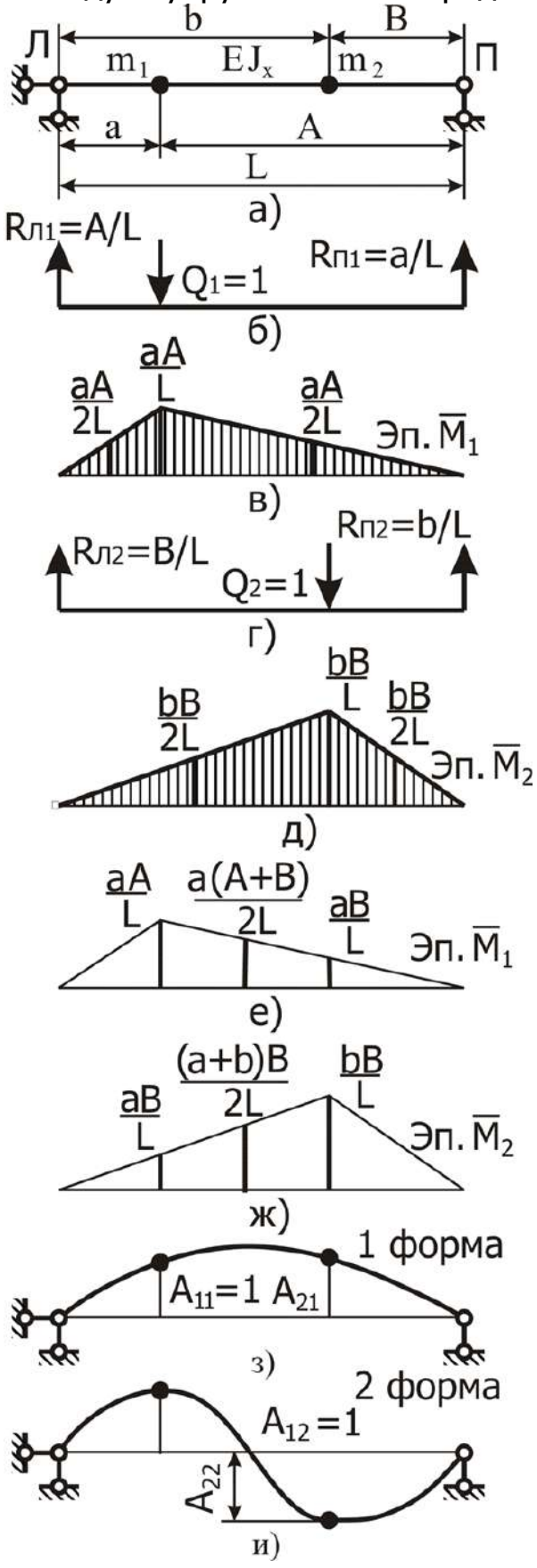
Исходные данные к задаче СС203 Таблица 5

№	Масса, *кг*		Двутавр, №	Длины, *м*		
	m_1	m_2		L	a	b
1	235	585	30	6,8	2,6	3,6
2	250	570	27	6,4	2,4	3,4
3	265	555	24	6,0	2,2	3,2
4	280	540	22	5,6	2,0	3,0
5	295	525	20	5,2	1,8	2,8
6	310	510	18	4,8	1,6	2,6
7	325	495	16	4,4	1,4	2,4
8	340	480	14	4,0	1,2	2,2
9	355	465	12	3,6	1,0	2,0
10	370	450	10	3,2	0,8	1,8
11	385	435	10	3,4	0,9	1,9
12	400	420	12	3,8	1,1	2,1
13	415	405	14	4,2	1,3	2,3
14	430	390	16	4,6	1,5	2,5
15	445	375	18	5,0	1,7	2,7
16	460	360	20	5,4	1,9	2,9
17	475	345	22	5,8	2,1	3,1
18	490	330	24	6,2	2,3	3,3
19	505	315	27	6,6	2,5	3,5
20	520	300	30	7,0	2,7	3,7
21	1	2	а — в	1,5	0,5	1,0

Пример. Решение задачи для варианта № 21. Момент инерции се-чения принять равным$J_x = 1{,}0710^{-7}\text{см}^4$.

1. Момент инерции переведём в$м^4$: $J_x = 10{,}7см^4 = 1{,}07 \cdot 10^1 \frac{м}{100}^4 = 1{,}07 \cdot 10^{-7}м^4$.

2. Модуль упругости стали представим в *Па* $E = 2 \cdot 10^5 МПа = 2 \cdot 10^{11} Па$.



3. Выражаем перемещение груза через обобщённые силы:

$$\left.\begin{aligned} q_1 &= \delta_{11}Q_1 + \delta_{12}Q_2; \\ q_2 &= \delta_{21}Q_1 + \delta_{22}Q_2. \end{aligned}\right\}$$

Здесьδ_{ij}податливость балки по направлению обобщённого перемещенияq_iот действия единичной обобщён-ной силыQ_j.Индексы принимают значения $i, j = 1{,}2$.Подставляя в систему значения сил инерции, получаем получаем дифференциальные уравне-ния упругих колебаний груза:

$$\left.\begin{aligned} y &= -\delta_{11}m_1\ddot{y}_1 - \delta_{12}m_2\ddot{y}_2; \\ y_2 &= -\delta_{21}m_1\ddot{y} - \delta_{22}m_2\ddot{y}_2. \end{aligned}\right\}$$

Решение ищем в виде $y = A_1 \sin pt, y_2 = A_2 \sin pt$.Полагаем, что угловые и линейные колебания происходят с оди-наковыми частотойpи фазой. ЗдесьA_1, A_2— амплитуды колебаний. Дважды дифференцируем$\ddot{y} = -A_1 p^2 \sin pt, \ddot{\phi} = -A_2 p^2 \sin pt$.

Подставляя неизвестные и их произ-водные в систему, получаем систему линейных однородных уравнений отно-сительно амплитуд A_1иA_2:

$$\left.\begin{aligned} (\delta_{11}m_1 p^2 11)A_1 + \delta_{12}m_2 p^2 A_2 &= 0; \\ \delta_{21}m_1 p^2 A_1 + (\delta_{22}m_2 p^2 - 1)A_2 &= 0. \end{aligned}\right\}$$

4. Для поиска податливостей строим эпюры изгибающих моментов$\overline{M_i}(z)$от действия единичных обобщённых силQ_i.На рис. 3,*б* дана расчётная схема для построения эпюры единичного момента$\overline{M_1}(z)$.Эпюра$\overline{M_1}(z)$.дана на рис. 3,*в.* На рис. 3,*г* дана расчётная схема для построения эпюры момента$\overline{M_2}(z)$,который

приведён на рис. 3,*д*

5. Вычисляем интеграл перемещений$\delta_{ij} = \int_0^L \quad \overline{M_\iota}(z)\overline{M_J}(z)dz$,равный податливости в направлении обобщённого перемещенияq_iот действия обобщённой силыQ_j.Интеграл перемещений берём непосредственным интегрированием, либо вычисляем по правилу Верещагина или по формуле Симпсона, которая в нашем случае имеет вид$\delta_{ij} = \int_0^L \frac{\overline{M_\iota(z)}\overline{M_J(z)}}{EJ_x}dz = \frac{L}{6EJ_x}[\overline{M_\iota}(\text{н})\overline{M_J}(\text{н}) + 4\overline{M_\iota}(\text{с})\overline{M_J}(\text{с}) + \overline{M_\iota}(\text{к})\overline{M_J}(\text{к})].$

Здесьe— длина участка интегрирования, вдоль которого аналитические выражения для подинтегральных функций неизменяются;

$\overline{M_\iota}(\text{н}), \overline{M_\iota}(\text{с}), \overline{M_\iota}(\text{к})$— значения функции в начале, середине и конце участка интегрирования.

В формуле Симпсона выражение в квадратных скобках не изменит свое-го значения, если аргументы *н* и *к* поменять местами. Подобная симмет-рия относительно индексов указывает, что при вычислении интеграла по формуле Симпсона безразлично, какую из границ участка брать в качес-тве его начала. Единичные моменты $\overline{M_\iota}(z), \overline{M_J}(z)$имеют различные аналитические выражения на разных участках балки. При вычислении податливости δ_{12}формулу Симпсона применяем отдельно для участков $\text{Л} - \text{М}_1$,$\text{М}_1 - \text{М}_2$ *и* $\text{М}_2 - \text{П}$(рис. 3,*е,*ж). Результаты вычислений на участках суммируем.

Податливости балок равны:

$$\delta_{11} = \frac{a^2A^2}{3EJ_xL}\frac{\text{м}}{\text{Н}}.$$

$$\delta_{22} = \frac{b^2B^2}{3EJ_xL}\frac{\text{м}}{\text{Н}}.$$

$$\delta_{12} = \frac{\left[a^3AB + abB^3 + (b-a)\,a^2AB + abB^2 + \frac{(abAB + a^2B^2)}{2}\right]}{3EJ_xL^2}\frac{\text{м}}{\text{Н}}.$$

Здесь $A = L - a; B = L - b$— расстояние от масс до правой опоры.

5. Приведём аналитические выражения для единичных изгибающих моментов: $\left.\begin{array}{l}\overline{M_1}(z) = R_{\text{А}1}z - R_{\text{Б}1}(z-a)H(z-a) = \frac{b}{a}z - \frac{L}{a}(z-a)H(z-a);\\ \overline{M_2}(z) = R_{\text{А}2}z - R_{\text{Б}2}(z-a)H(z-a) = \frac{1}{a}z - \frac{1}{a}(z-a)H(z-a).\end{array}\right\}$

Здесь $H(z) = \begin{cases}0\text{при}z < 0,\\ 1\text{при}z \geq 0\end{cases}$— функция Хевисайда. Аналитические выражения моментов используются для вычислений собственных колебаний с применением систем символьной математики на ЭВМ.

6. Система линейных уравнений имеет ненулевое решение в случае, ес-ли определитель матрицы коэффициентов при неизвестных равен нулю. Приравнивая нулю определитель$\begin{vmatrix}\delta_{11}m_1p^2 - 1 & \delta_{12}m_2p^2\\ \delta_{21}m_1p^2 & \delta_{22}m_2p^2 - 1\end{vmatrix} = 0$.Получаем биквадратное уравнение относительно частотыpсобственных колеба-ний $m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2)p^4 - (\delta_{11}m_1 + \delta_{22}m_2)p^2 + 1 = 0$.Положительные корни векового (частотного или

характеристического) уравнения являются час-тотами собственных колебаний груза. Частоты нумеруются в порядке возрастания $p_1^2 = \frac{(\delta_{11}m_1+\delta_{22}m_2)-\sqrt{(\delta_{11}m_1+\delta_{22}m_2)^2-4m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}}{2m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}$и $p_2^2 = \frac{(\delta_{11}m_1+\delta_{22}m_2)+\sqrt{(\delta_{11}m_1+\delta_{22}m_2)^2-4m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}}{2m_1m_2(\delta_{11}\delta_{22}-\delta_{12}^2)}$.Собственные частоты равны$p_1 = \sqrt{p_1^2}$и$p_2 = \sqrt{p_2^2}$.

7. Отношение амплитуд колебаний второй массы к первой остаётся пос-тоянным на протяжении цикла колебаний. Из первого уравнения нахо-дим отношение амплитуд колебаний масс$k = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\delta_{11}m_1p^2-1}{\delta_{12}m_2p^2}$.Подстав-ляя поочерёдно в эту формулу значения первой и второй собственных частот, получаем коэффициенты первой и второй форм собственных колебаний $k_1 = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\delta_{11}m_1p_1^2-1}{\delta_{12}m_2p_1^2}$и $k_2 = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\delta_{11}m_1p_2^2-1}{\delta_{12}m_2p_2^2}$.Формы колеба-ний изображены на рис. 3,*з,и*.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению самостоятельной работы по дисциплине

Б1.В.ДВ.04.02 САПР ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация № 9

Горные машины и оборудование

Форма обучения: очная, заочная

Год набора: 2018

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Шестаков В.С., канд. техн. наук, профессор

Одобрено на заседании кафедры
Горных машин и комплексов

Зав.кафедрой _____
Суслов Н.М.
Протокол № 10 от 15.06.2018

Рассмотрена методической комиссией
факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург 2019

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проектирование технических объектов выполняется полностью на ЭВМ, что привело к использованию понятия автоматизированное проектирование. Выпускники университета должны уметь работать на ЭВМ в текстовых и графических редакторах, конструкторских пакетах, позволяющих выполнять проектирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов.

Цель самостоятельной работы: обучение студентов проектированию и расчетам с применением компьютерных технологий. Умение использовать компьютерные технологии при проектировании объектов машиностроения позволит в последующей профессиональной деятельности разрабатывать оптимальные конструкции с минимальной массой и стоимостью и сократить продолжительность разработки проектов.

В методических указаниях приведен один из вариантов типового задания для самостоятельной работы, практикуется применение индивидуальных заданий, соответствующих выбранному студентом направлению будущей работы. Такими заданиями являются разработка проекта отдельных механизмов и узлов экскаваторов, дробилок, буровых установок и т.п.

Соответствие самостоятельной работы компетенциям Государственного стандарта.

При изучении дисциплины студенты наряду с другими осваивали следующие направления:

- проведение расчетов с использованием программных модулей,
- создание проектов объектов машиностроения с использованием конструкторских пакетов 3D моделирования, в частности конструкторского пакета Компас 3D.

Эти направления соответствуют следующим компетенциям Государственного стандарта:

общекультурные:

- готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-7);

общепрофессиональные:

- умением пользоваться компьютером как средством управления и обработки информационных массивов (ОПК-7);

профессионально-специализированные для производственно-технологической деятельности:

- способностью разрабатывать техническую и нормативную документацию для машиностроительного производства, испытания, модернизации, эксплуатации, технического и сервисного обслуживания и ремонта горных машин и оборудования различного функционального назначения с учетом требований экологической и промышленной безопасности (ПСК-9.1).

Результат изучения дисциплины:

Знать:

- приемы получения знаний для развития творческого потенциала;
- функциональные возможности компьютеров, используемых для профессиональной деятельности;
- этапы разработки технической и нормативной документации для горного оборудования;
- возможности пакетов программных продуктов для выполнения профессиональных задач;

Уметь:

- выполнять анализ знаний для повышения творческого потенциала - применять компьютеры для решения задач профессиональной деятельности;

- разрабатывать техническую и нормативную документацию для горного оборудования;

- применять пакеты программных продуктов для выполнения профессиональных задач;

Владеть:

- навыками получения знаний для развития творческого потенциала;

- навыками работы на персональном компьютере;

- навыками разработки технической и нормативной документации для горного оборудования;

- пакетами программных продуктов для выполнения профессиональных задач.

ЗАДАНИЯ САСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание. По выданным эскизам составить 3D модели детали и оформить рабочие чертежи, выполнить сборку, оформить сборочный чертеж и спецификацию. Задание 3.13 приведено ниже, остальные задания согласно варианту выдаются студентам электронном виде.

Варианты заданий:

1. Задание 1.4
2. Задание 2.7
3. Задание 3.13
4. Задание 4.13
5. Задание 5.16
6. Задание 7.22
7. Задание 8.25
8. Задание 9.28
9. Задание 10.31
10. Задание 11.34
11. Задание 12.37
12. Задание 13.40
13. Задание 14.43
14. Задание 15.46
15. Задание16.49
16. Задание 17.52
17. Задание 18.55
18. Задание 19.58
19. Задание 20.61
20. Задание 21.64
21. Задание 22.89

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ.

1. По выделенным эскизам создать все детали. Для обозначения наименования применить ГМО 01.3-13.001 (где ТМО-группа; 01-варианта; 3-13-задание; 001 – группа для детали)
2. Для каждой детали оформить рабочие чертежи
3. Создать сборочную единицу
4. Оформить сборочный чертеж
5. Оформить спецификацию.

ОФОРМЛЕНИЕ И ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ

Выполненное задание представляется преподавателю в электронном виде.

Защита задания выполняется пояснениями о порядке выполнения деталей, составления сборочных единиц, оформления чертежей. Преподавателем оцениваются пояснения студента и ответы на дополнительные вопросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочные материалы конструкторского пакета Компас 3D
2. Сайт с обучающими материалами https://kompas.ru/publications/video/
3. Описание конструкторского пакета Компас 3D.

Задание 3.13

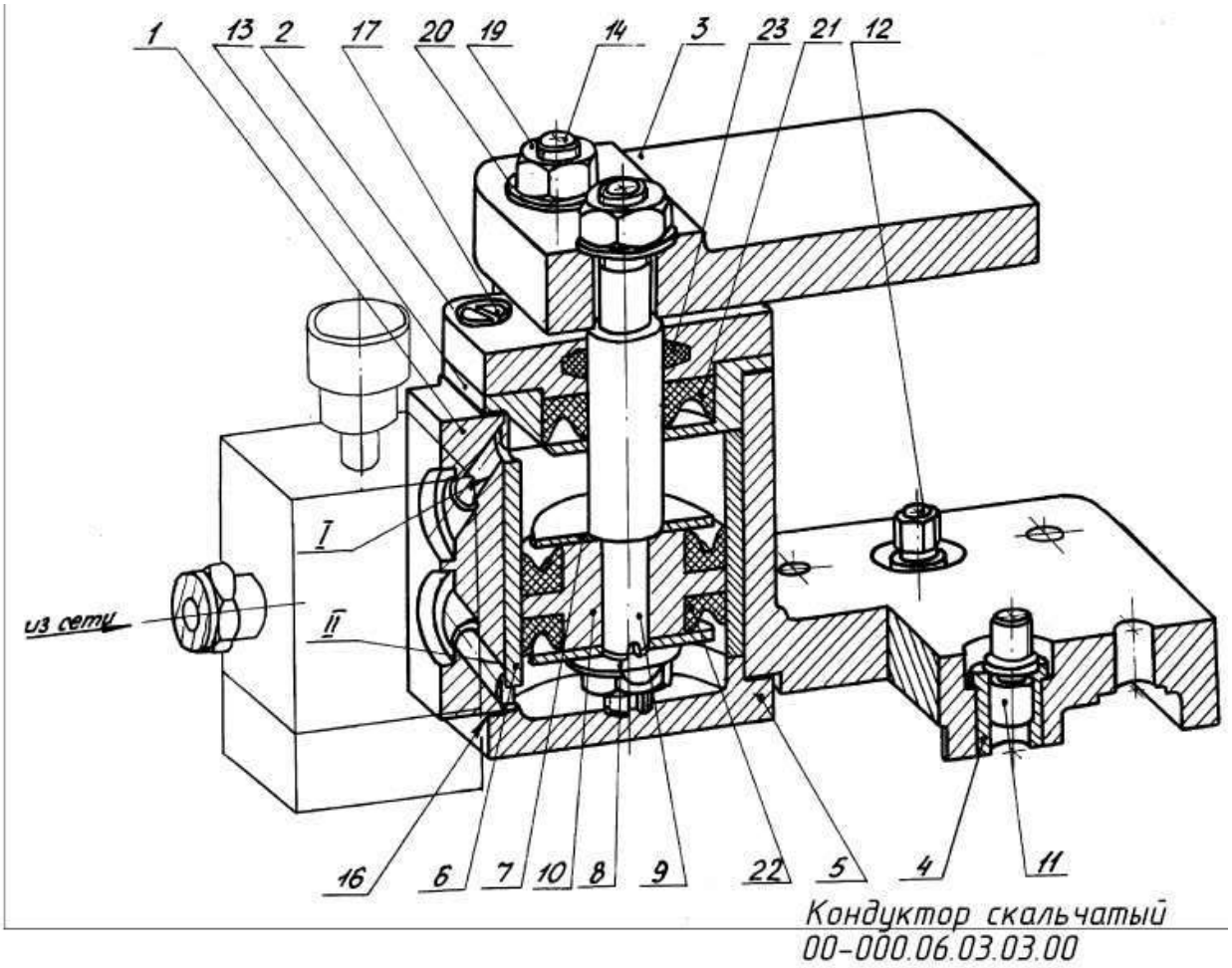
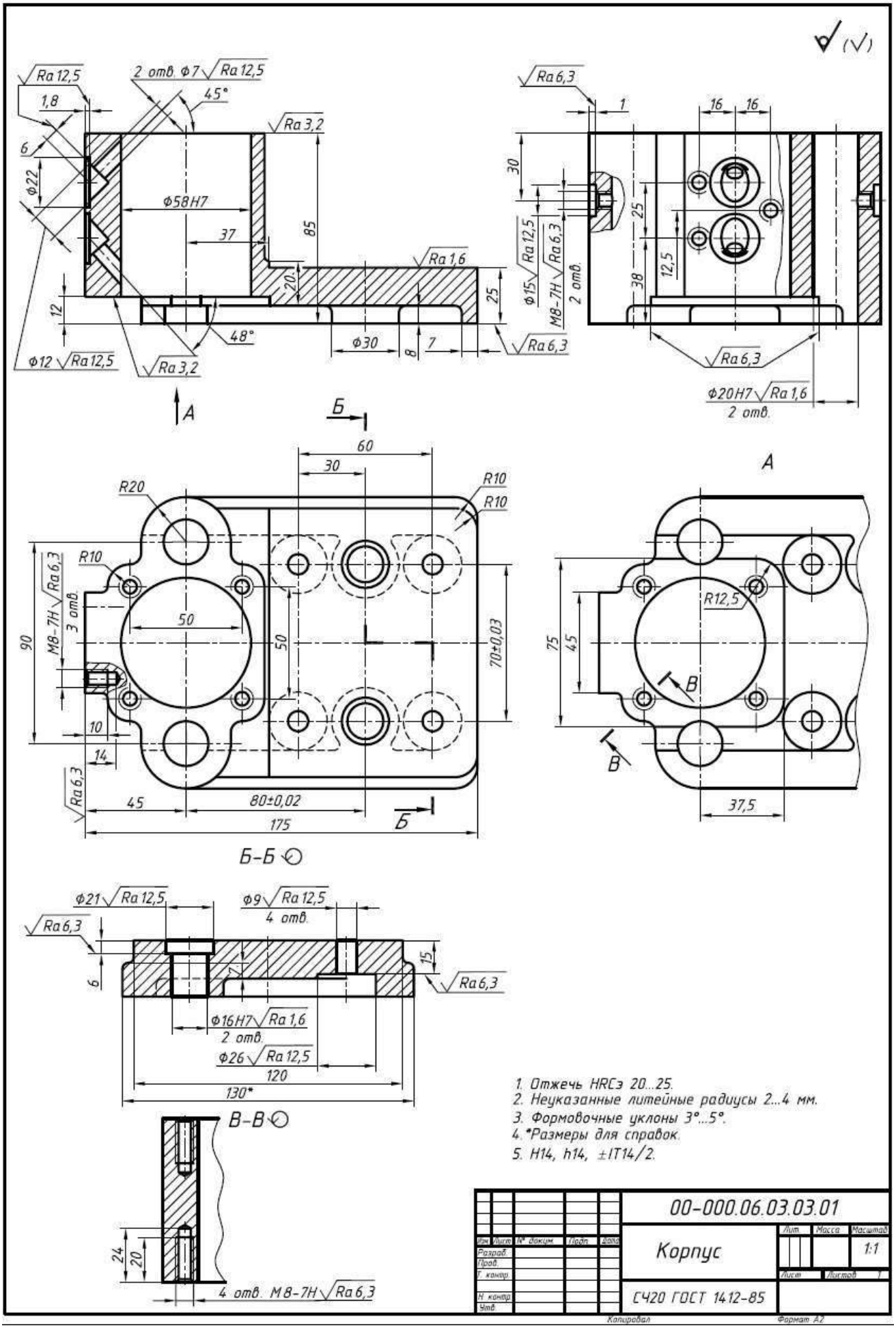
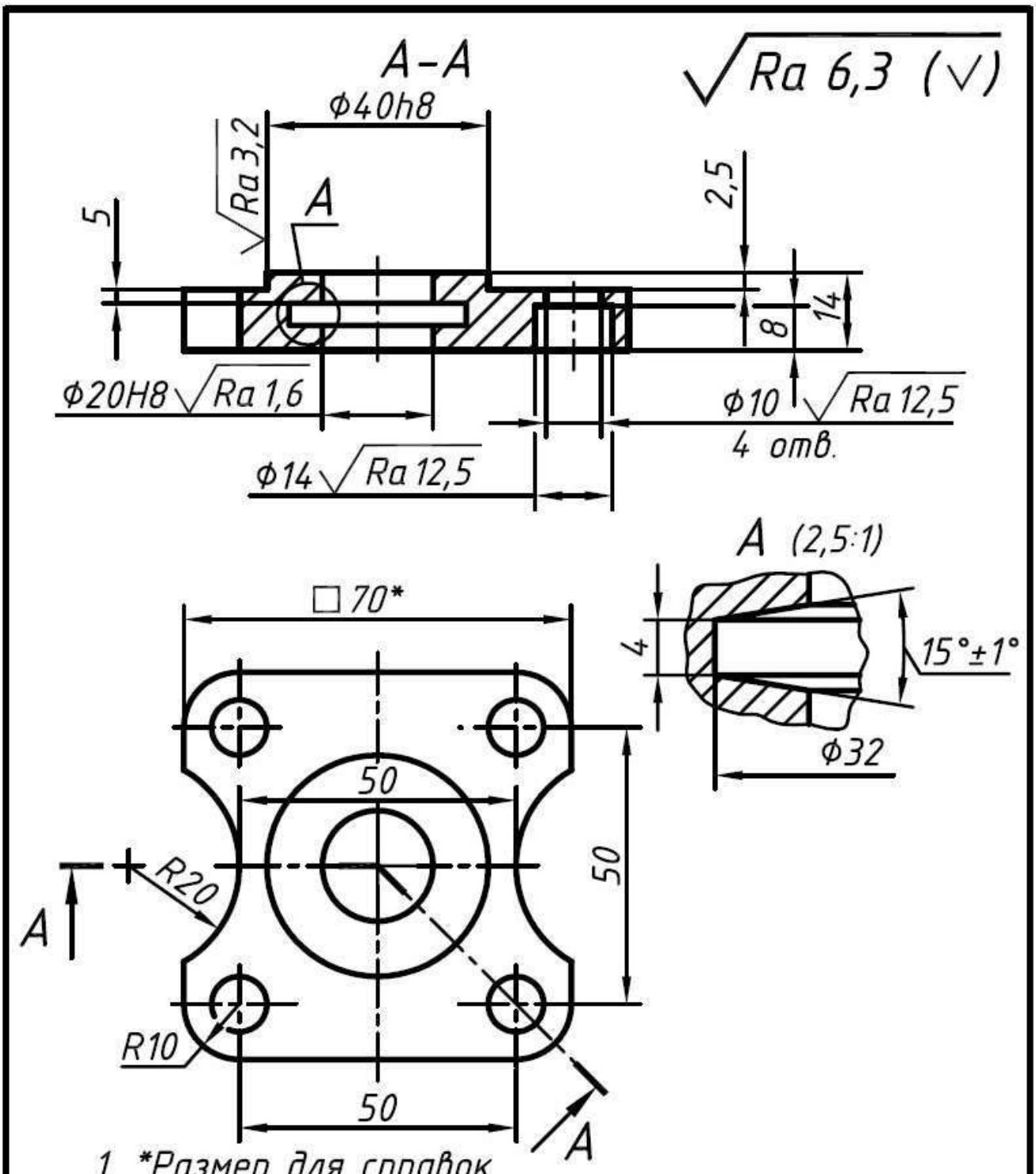


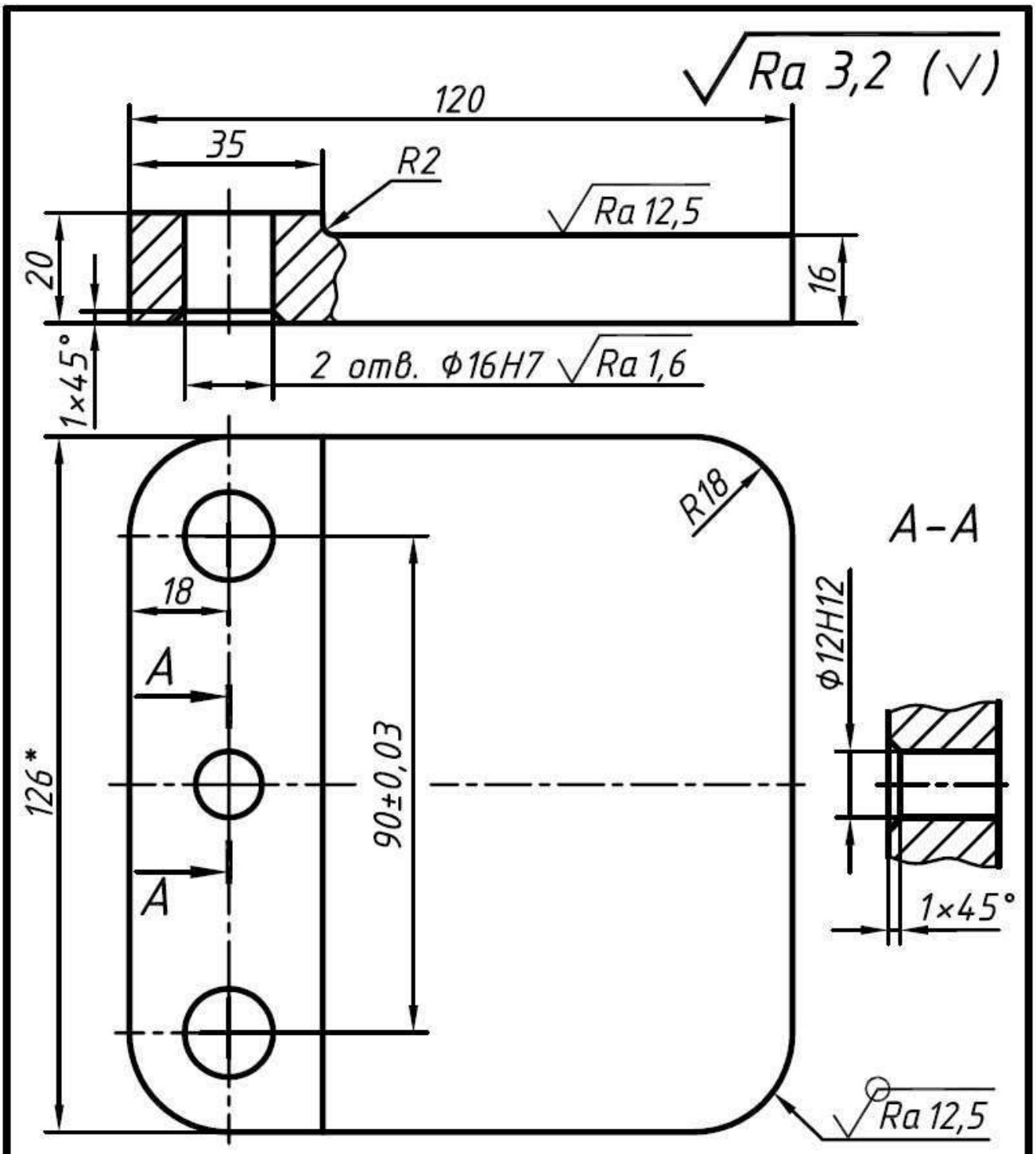
Рис. 1. Вид кондуктора скальчатого


(√)
Ra 12,5
2 отв. ф7 Ra 12,5
45°
1,8
6
ф22
Ra 3,2
ф58H7
37
85
Ra 1,6
20
25
12
48°
ф30
8
7
Ra 6,3
ф12 Ra 12,5
Ra 3,2
А
Б
Ra 6,3
1
16
16
30
25
38
12,5
Ф15 Ra 12,5
M8-7H Ra 6,3
2 отв.
Ra 6,3
Ф20H7 Ra 1,6
2 отв.
А
60
30
R20
R10
R10
R10
M8-7H Ra 6,3
3 отв.
50
50
90
70±0,03
10
14
Ra 6,3
45
80±0,02
175
Б
Б-Б
R12,5
75
45
В
В
37,5
ф21 Ra 12,5
ф9 Ra 12,5
4 отв.
Ra 6,3
6
15
Ra 6,3
ф16H7 Ra 1,6
2 отв.
ф26 Ra 12,5
120
130*
В-В
24
20
4 отв. M8-7H Ra 6,3
1. Отжечь HRCэ 20...25.
2. Неуказанные литейные радиусы 2...4 мм.
3. Формовочные уклоны 3°...5°.
4. *Размеры для справок.
5. H14, h14, ±IT14/2.
00-000.06.03.03.01
Корпус
Лит
Масса
Масштаб
1:1
Лист
Листов 1
СЧ20 ГОСТ 1412-85
Изм Лист № докум Подп Дата
Разраб.
Пров.
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Копировал
Формат А2



					00-000.06.03.03.02	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Крышка	Лит. / Масса / Масштаб 1:1
Разраб.						
Пров.						Лист / Листов 1
Т. контр.						
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88	
Утв.						

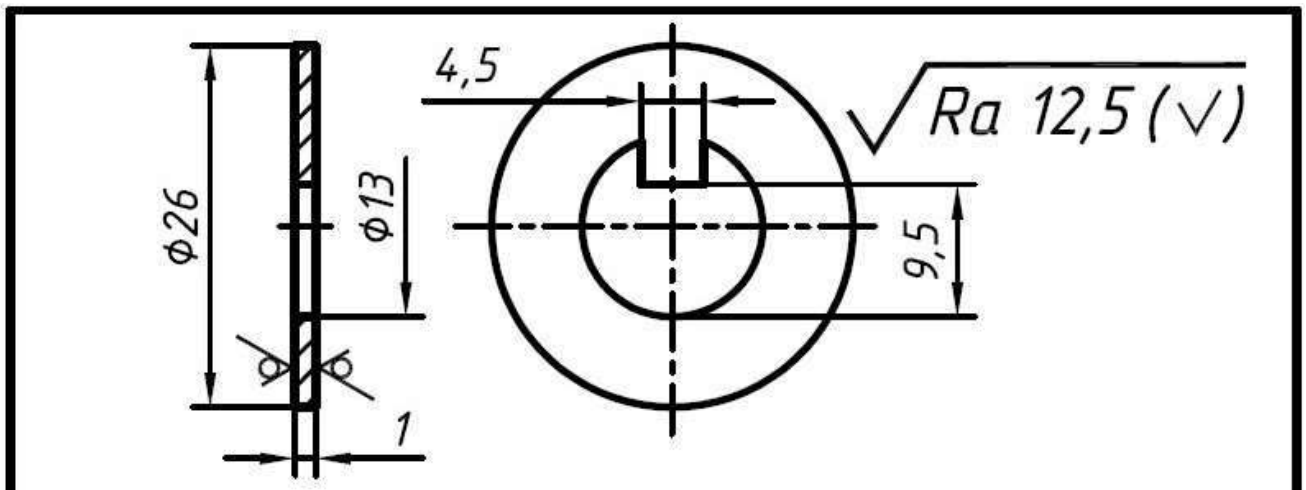
Копировал Формат А4



1. *Размер для справок.
2. ±IT14/2.

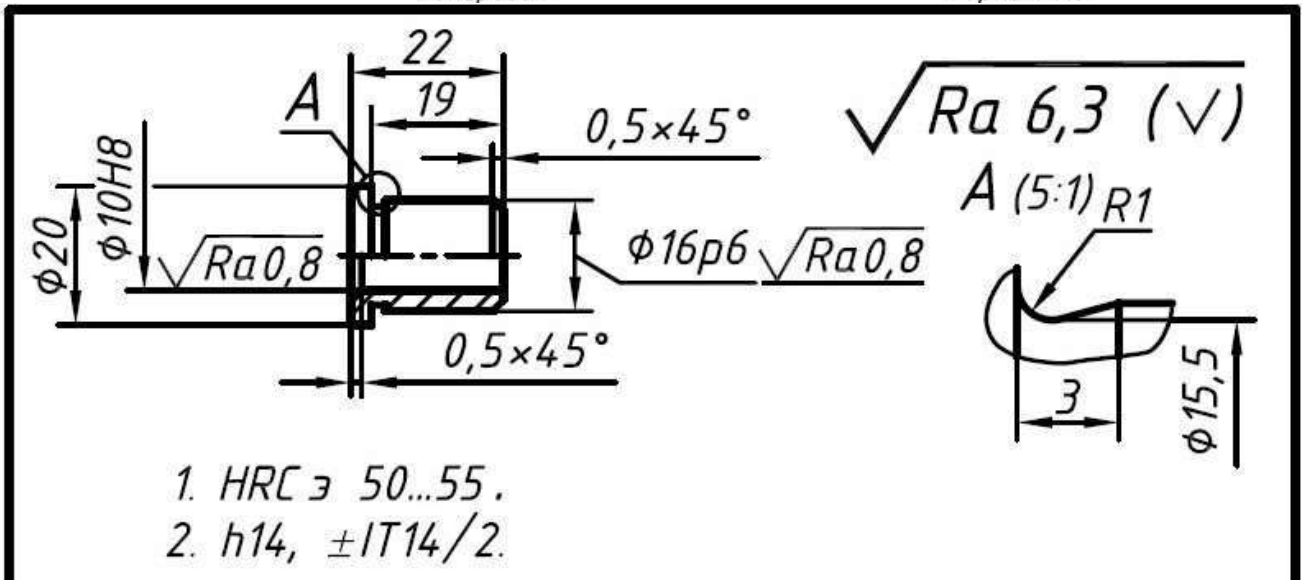
					00-000.06.03.03	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.					Плита	Лит. / Масса / Масштаб 1:1
Пров.						
Т. контр.						Лист / Листов 1
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88	
Утв.						

Копировал Формат А4



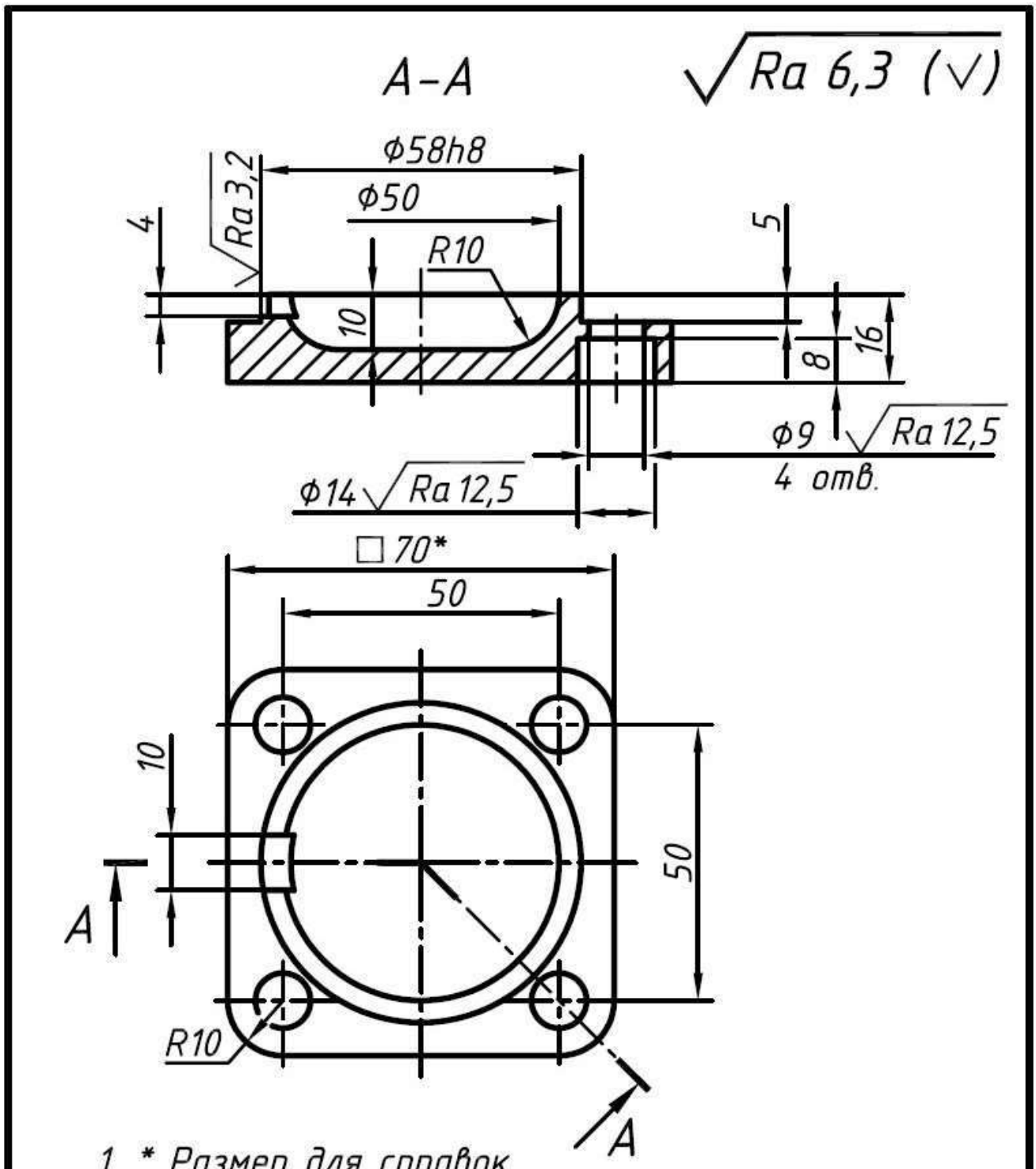
					00-000.06.03.03.08		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Шайба	Лит.	Масса / Масштаб 2:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Ст3 ГОСТ 380-2005		
Утв.							

Копировал Формат А5



					00-000.06.03.03.04		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Втулка	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов
Т. контр.							
Н. контр.					Сталь У8А ГОСТ 1435-99		
Утв.							

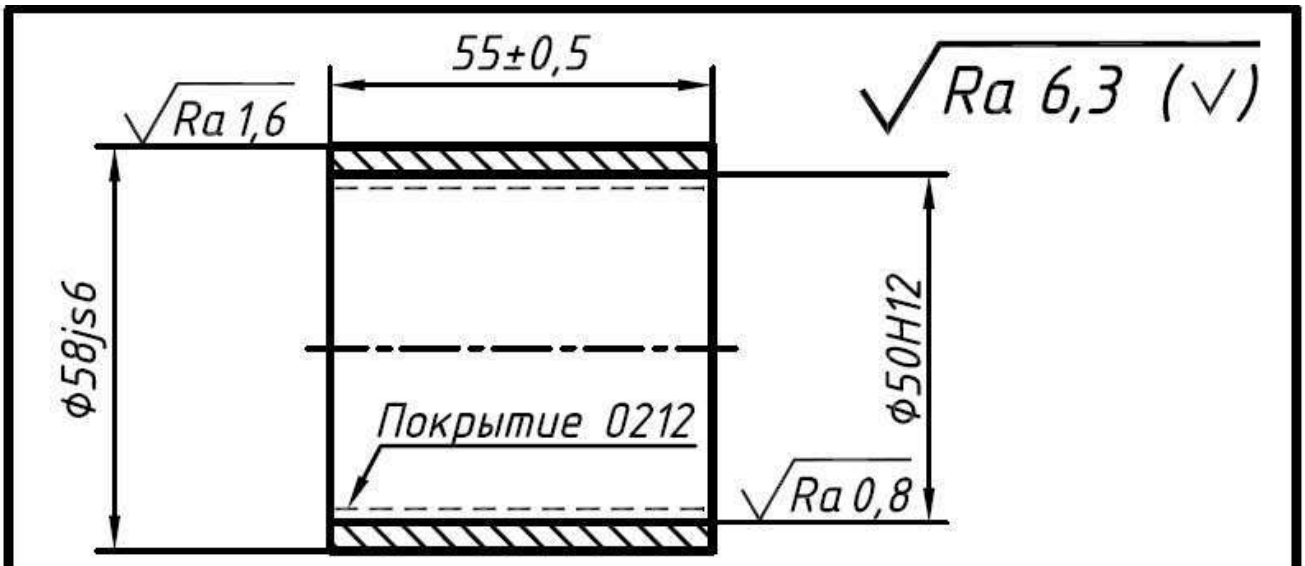
Копировал Формат А5



1. * Размер для справок.
2. H14, h14, ±IT14/2.

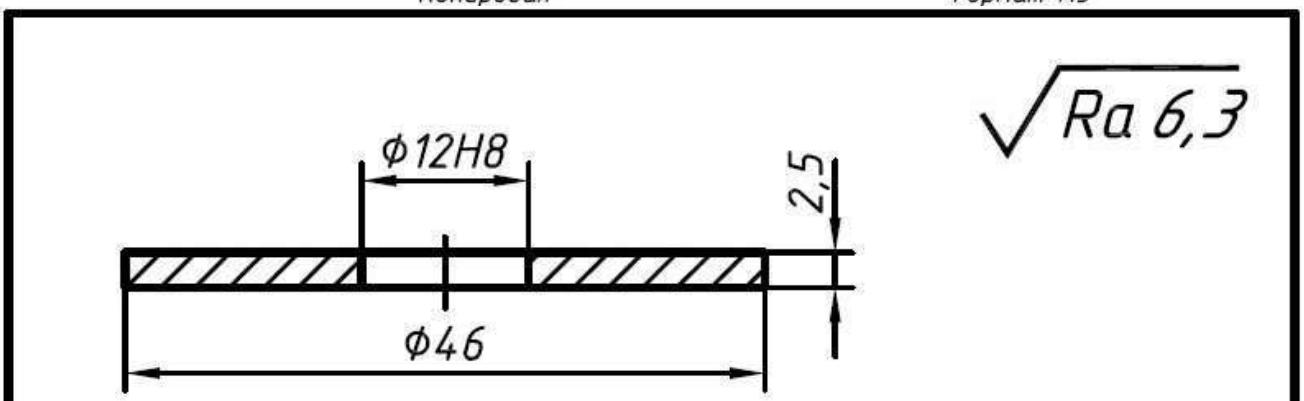
					00-000.06.03.03.05		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Крышка	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.							1:1
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Ст3 ГОСТ 380-2005		
Утв.							

Копировал Формат А4



					00-000.06.03.03.06		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.					Гильза	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Пров.							
Т. контр.						Лист	Листов 1
Н. контр.					Сталь 35 ГОСТ 1050-88		
Утв.							

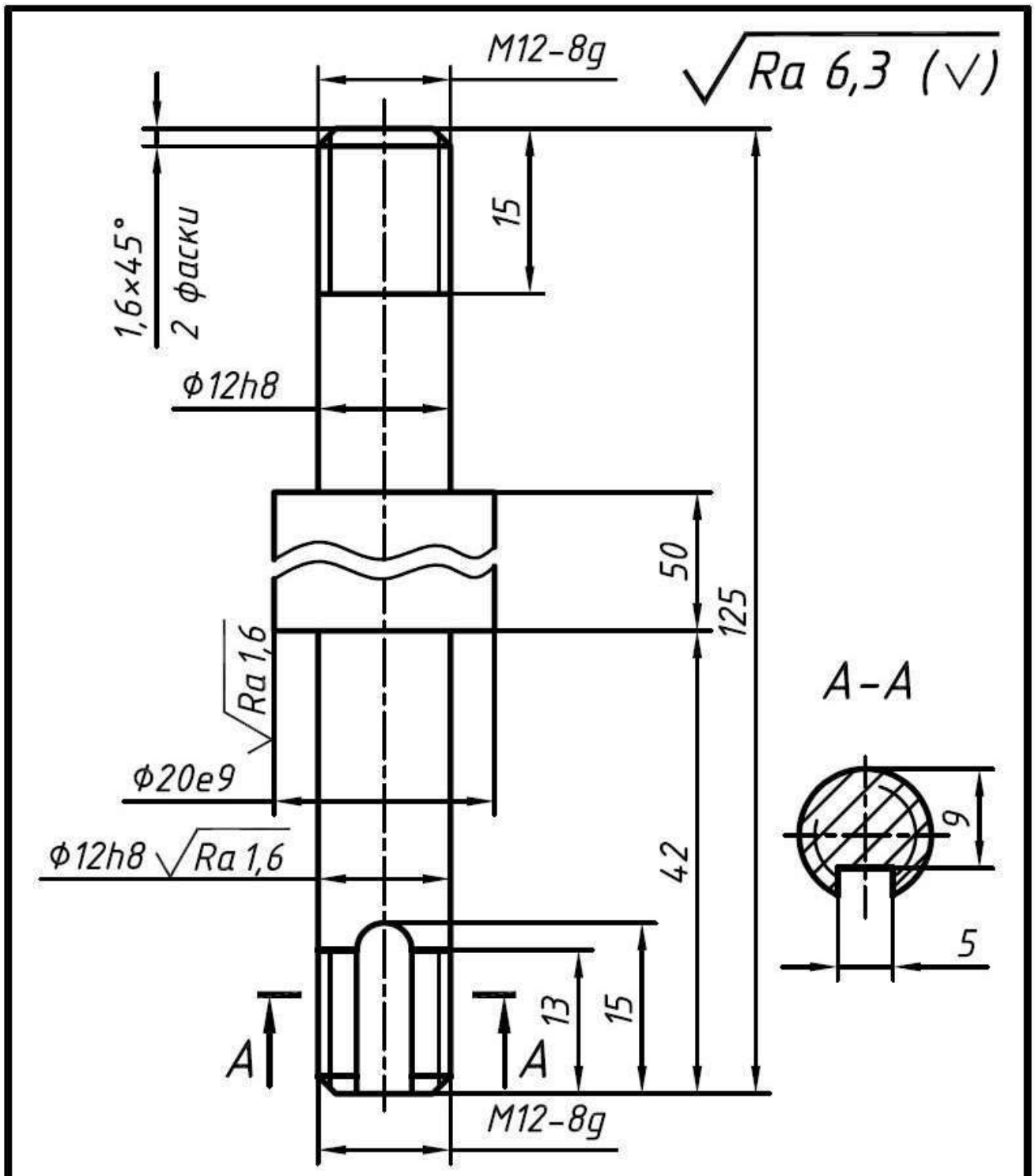
Копировал Формат А5



h14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.08		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.					Кольцо	Лит.	Масса / Масштаб 2:1
Пров.							
Т. контр.						Лист	Листов 1
Н. контр.					Ст3 ГОСТ 380-2005		
Утв.							

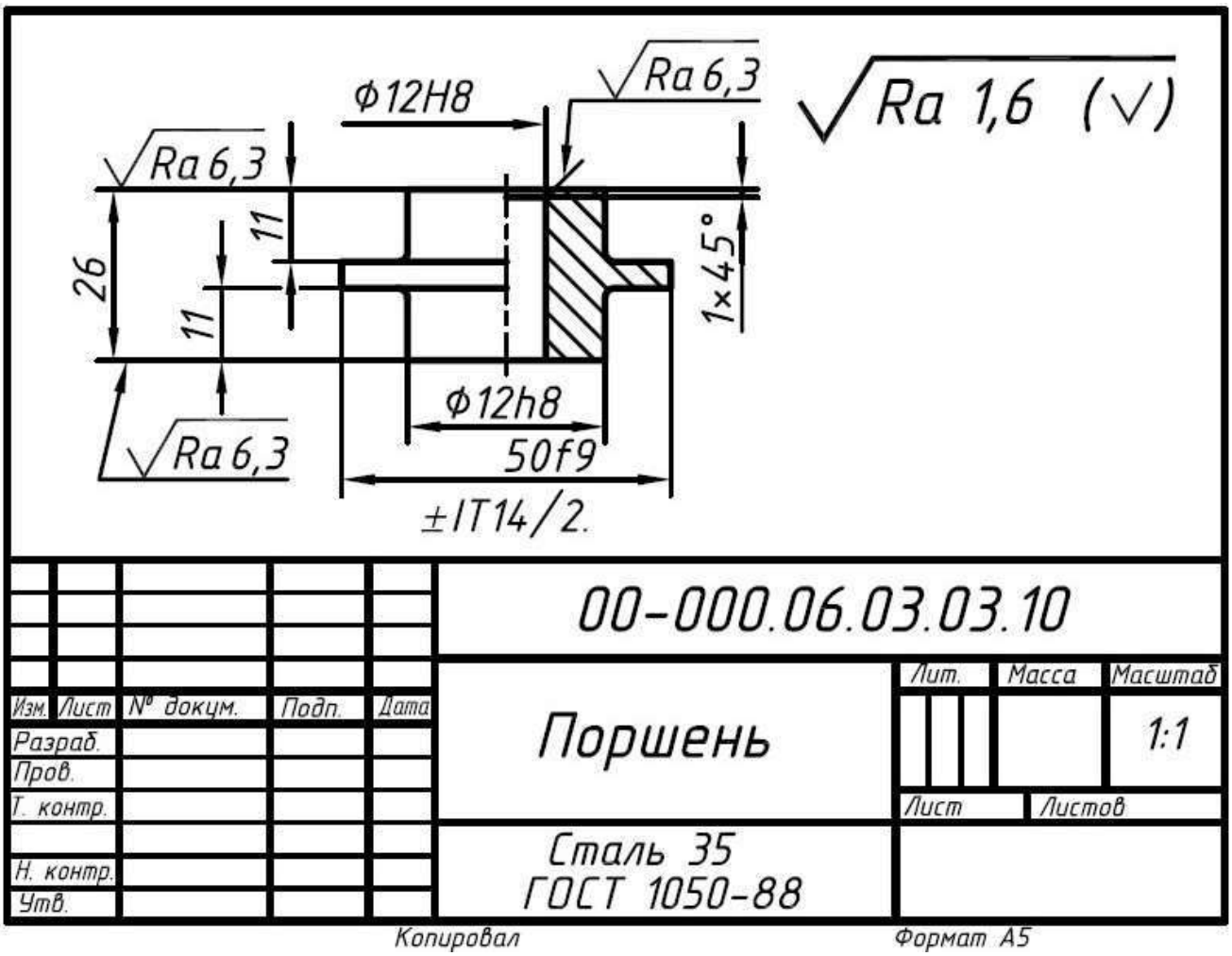
Копировал Формат А5

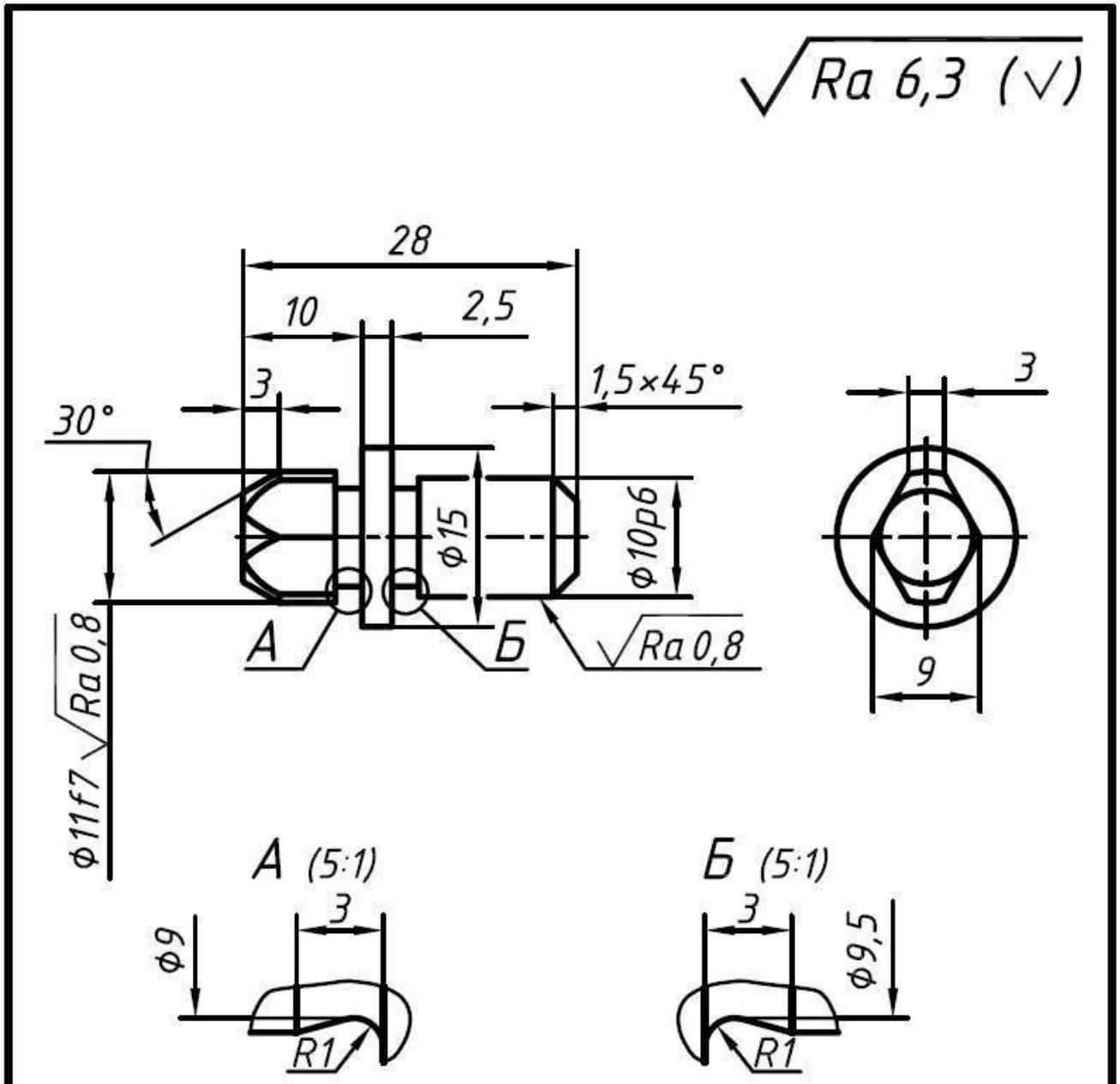


1. HRCэ 30...35.
2. H14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.09		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Шток	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.								2:1
Пров.								
Т. контр.						Лист	Листов 1	
					Сталь 45 ГОСТ 1050-88		
Н. контр.							
Утв.							

Копировал Формат А4

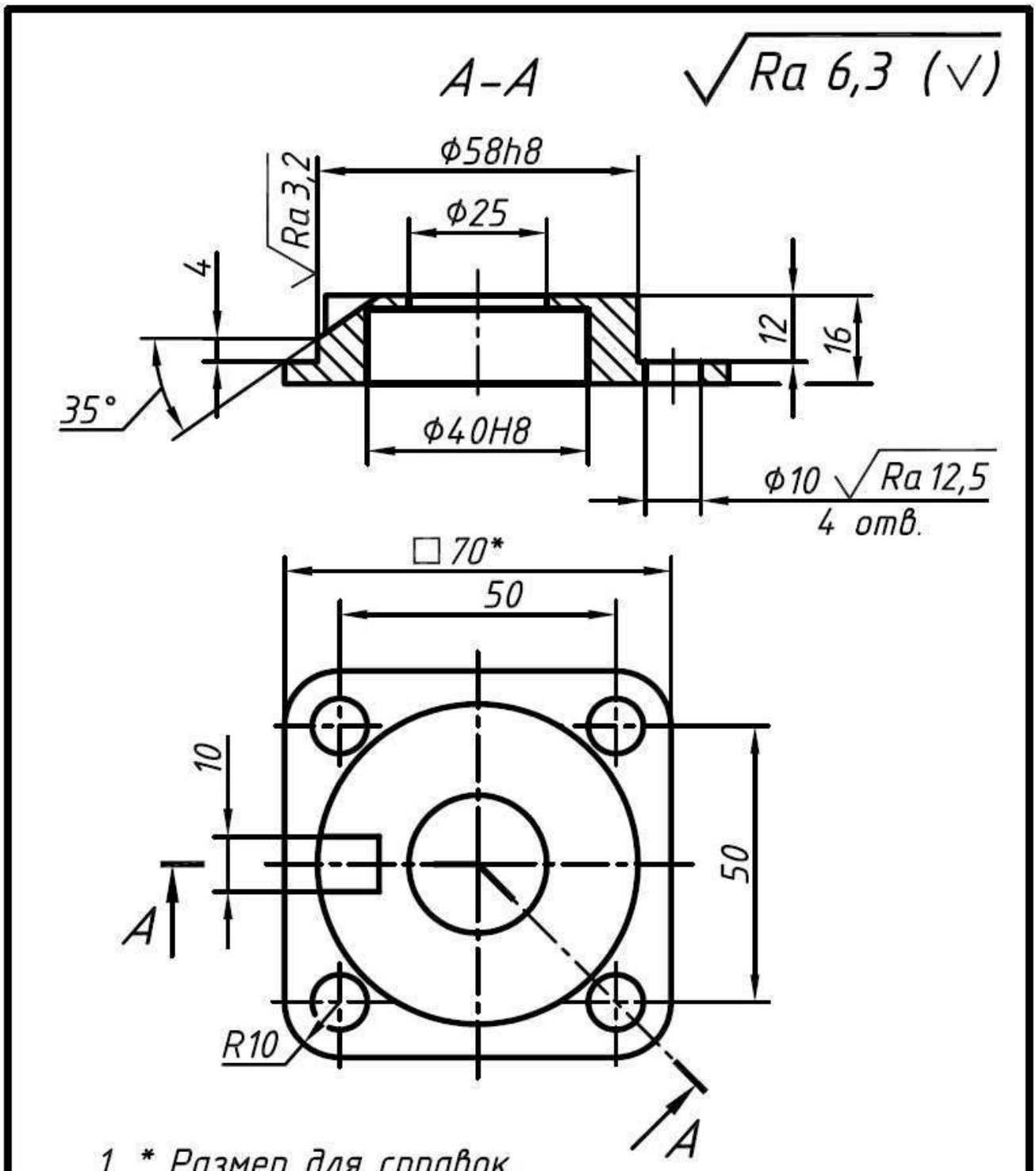

Ra 6,3
Ф12H8
Ra 6,3
Ra 1,6 (√)
26
11
11
1×45°
Ф12h8
Ra 6,3
50f9
±IT14/2.
00-000.06.03.03.10
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб.
Пров.
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Поршень
Лит. Масса Масштаб
1:1
Лист Листов
Сталь 35
ГОСТ 1050-88
Копировал
Формат А5



1. HRCэ 50...55.
2. h14, ±IT14/2.

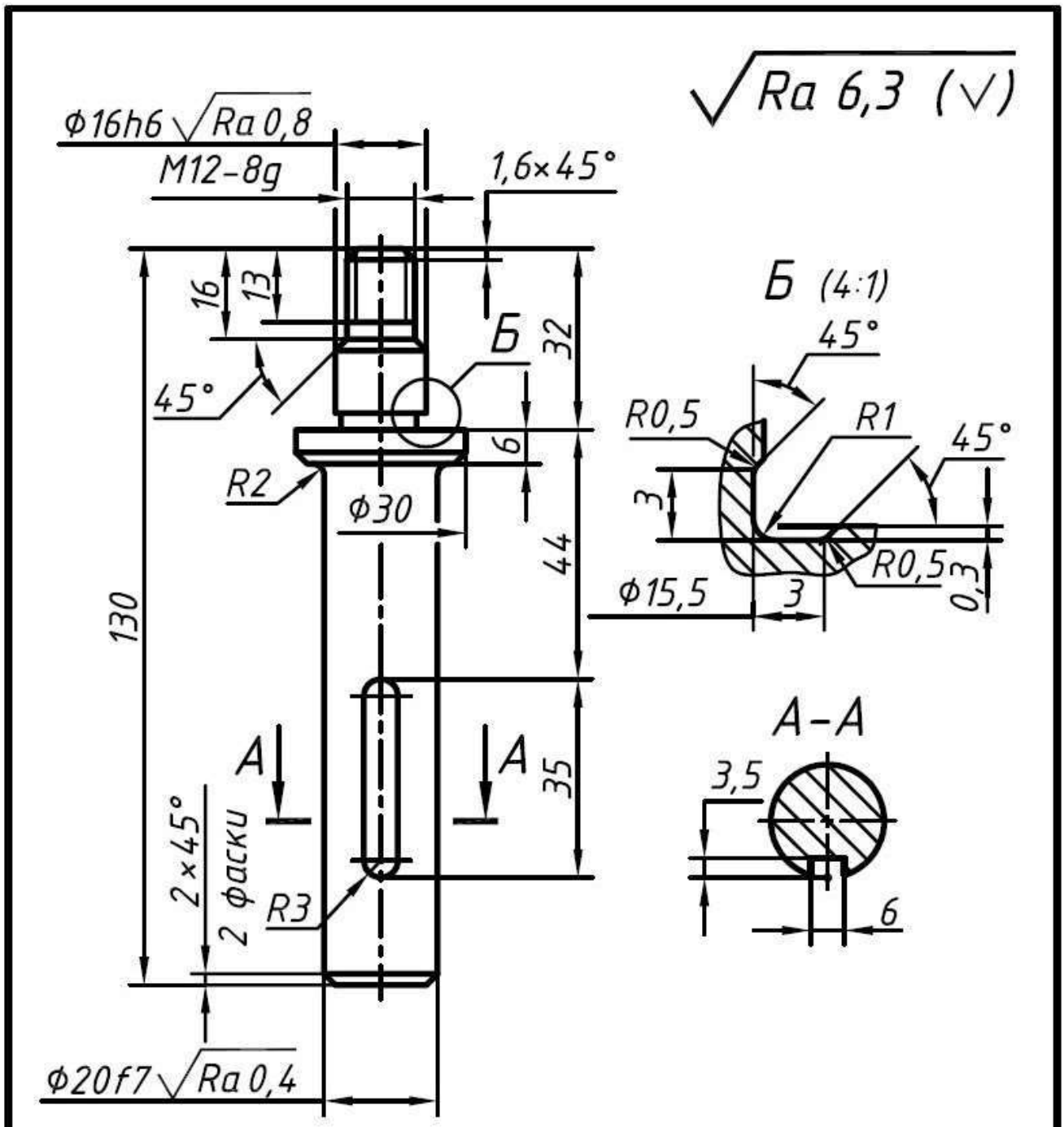
					00-000.06.03.03.11		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Палец	Лит.	Масса / Масштаб 2:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Сталь У8А ГОСТ 1435-99		
Утв.							

Копировал Формат А4



					00-000.06.03.03.13		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Крышка	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88		
Утв.							

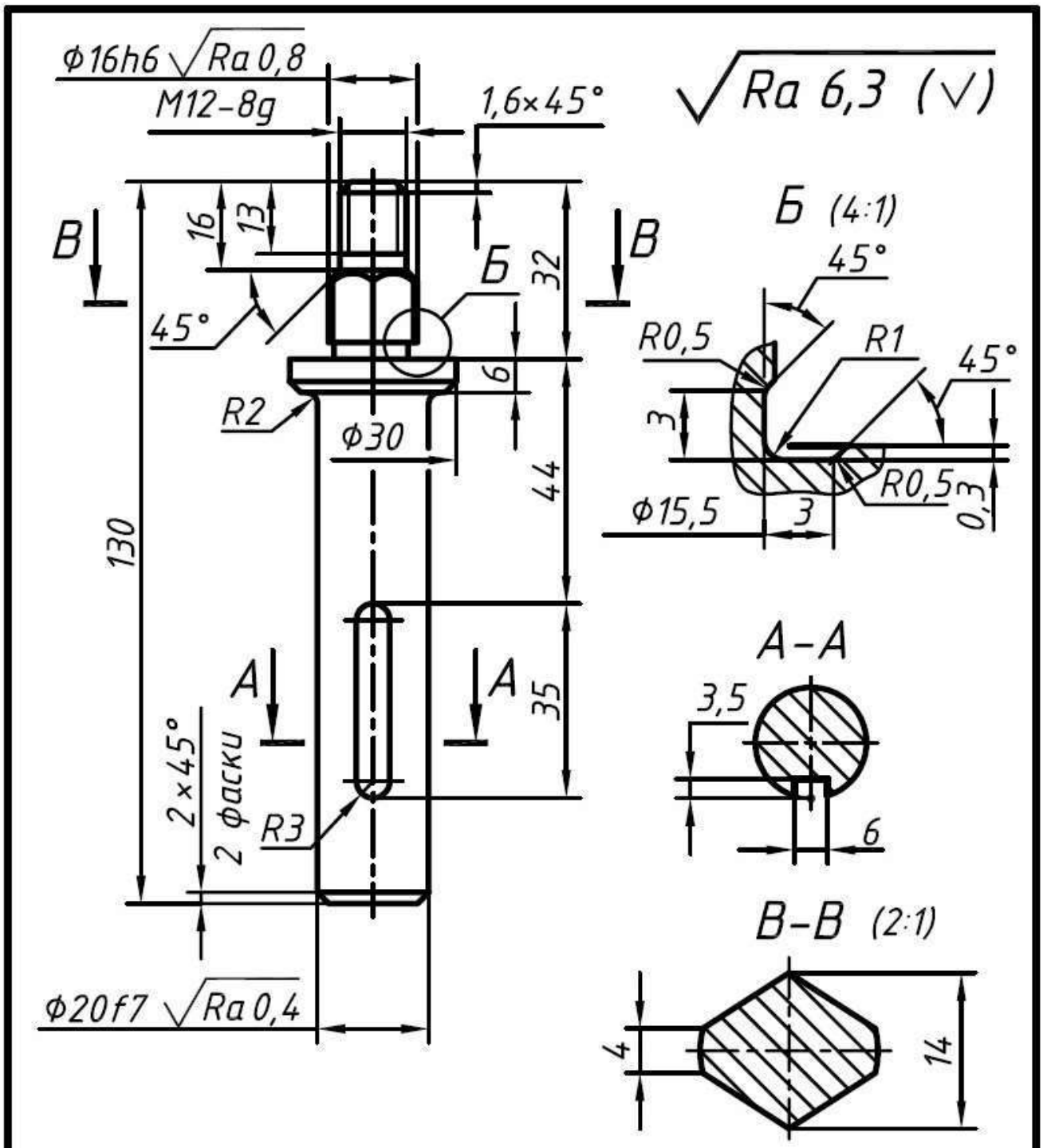
Копировал Формат А4



1. HRCэ 30...35.
2. H14, h14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.14		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Скалка	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Разраб.							
Пров.							
Т. контр.						Лист	Листов 1
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88		
Утв.							

Копировал Формат А4



1. HRCэ 30...35.
2. H14, h14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.15	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.					Скалка	Лит. / Масса / Масштаб 1:1
Пров.						
Т. контр.						Лист / Листов 1
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88	
Утв.						

Копировал Формат А4

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению самостоятельной работы по дисциплине

Б1.В.ДВ.04.01 САПР ГОРНЫХ МАШИН

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация № 9

Горные машины и оборудование

Форма обучения: очная, заочная

Год набора: 2019

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Шестаков В.С., канд. техн. наук, профессор

Одобрено на заседании кафедры
Горных машин и комплексов

Зав.кафедрой _____
Суслов Н.М.

Протокол № 10 от 15.06.2018

Рассмотрена методической комиссией
факультета
Горно-механического
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019

Екатеринбург 2019

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проектирование технических объектов выполняется полностью на ЭВМ, что привело к использованию понятия автоматизированное проектирование. Выпускники университета должны уметь работать на ЭВМ в текстовых и графических редакторах, конструкторских пакетах, позволяющих выполнять проектирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов.

Цель самостоятельной работы: обучение студентов проектированию и расчетам с применением компьютерных технологий. Умение использовать компьютерные технологии при проектировании объектов машиностроения позволит в последующей профессиональной деятельности разрабатывать оптимальные конструкции с минимальной массой и стоимостью и сократить продолжительность разработки проектов.

В методических указаниях приведен один из вариантов типового задания для самостоятельной работы, практикуется применение индивидуальных заданий, соответствующих выбранному студентом направлению будущей работы. Такими заданиями являются разработка проекта отдельных механизмов и узлов экскаваторов, дробилок, буровых установок и т.п.

Соответствие самостоятельной работы компетенциям Государственного стандарта.

При изучении дисциплины студенты наряду с другими осваивали следующие направления:

- проведение расчетов с использованием программных модулей,
- создание проектов объектов машиностроения с использованием конструкторских пакетов 3D моделирования, в частности конструкторского пакета Компас 3D.

Эти направления соответствуют следующим компетенциям Государственного стандарта:

общекультурные:

- готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-7);

общепрофессиональные:

- умением пользоваться компьютером как средством управления и обработки информационных массивов (ОПК-7);

профессионально-специализированные для производственно-технологической деятельности:

- способностью разрабатывать техническую и нормативную документацию для машиностроительного производства, испытания, модернизации, эксплуатации, технического и сервисного обслуживания и ремонта горных машин и оборудования различного функционального назначения с учетом требований экологической и промышленной безопасности (ПСК-9.1).

Результат изучения дисциплины:

Знать:

- приемы получения знаний для развития творческого потенциала;
- функциональные возможности компьютеров, используемых для профессиональной деятельности;
- этапы разработки технической и нормативной документации для горного оборудования;
- возможности пакетов программных продуктов для выполнения профессиональных задач;

Уметь:

- выполнять анализ знаний для повышения творческого потенциала - применять компьютеры для решения задач профессиональной деятельности;

- разрабатывать техническую и нормативную документацию для горного оборудования;

- применять пакеты программных продуктов для выполнения профессиональных задач;

Владеть:

- навыками получения знаний для развития творческого потенциала;

- навыками работы на персональном компьютере;

- навыками разработки технической и нормативной документации для горного оборудования;

- пакетами программных продуктов для выполнения профессиональных задач.

ЗАДАНИЯ САСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание. По выданным эскизам составить 3D модели детали и оформить рабочие чертежи, выполнить сборку, оформить сборочный чертеж и спецификацию. Задание 3.13 приведено ниже, остальные задания согласно варианту выдаются студентам электронном виде.

Варианты заданий:

1. Задание 1.4
2. Задание 2.7
3. Задание 3.13
4. Задание 4.13
5. Задание 5.16
6. Задание 7.22
7. Задание 8.25
8. Задание 9.28
9. Задание 10.31
10. Задание 11.34
11. Задание 12.37
12. Задание 13.40
13. Задание 14.43
14. Задание 15.46
15. Задание16.49
16. Задание 17.52
17. Задание 18.55
18. Задание 19.58
19. Задание 20.61
20. Задание 21.64
21. Задание 22.89

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ.

1. По выделенным эскизам создать все детали. Для обозначения наименования применить ГМО 01.3-13.001 (где ТМО-группа; 01-варианта; 3-13-задание; 001 – группа для детали)
2. Для каждой детали оформить рабочие чертежи
3. Создать сборочную единицу
4. Оформить сборочный чертеж
5. Оформить спецификацию.

ОФОРМЛЕНИЕ И ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ

Выполненное задание представляется преподавателю в электронном виде.

Защита задания выполняется пояснениями о порядке выполнения деталей, составления сборочных единиц, оформления чертежей. Преподавателем оцениваются пояснения студента и ответы на дополнительные вопросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочные материалы конструкторского пакета Компас 3D
2. Сайт с обучающими материалами https://kompas.ru/publications/video/
3. Описание конструкторского пакета Компас 3D.

Задание 3.13

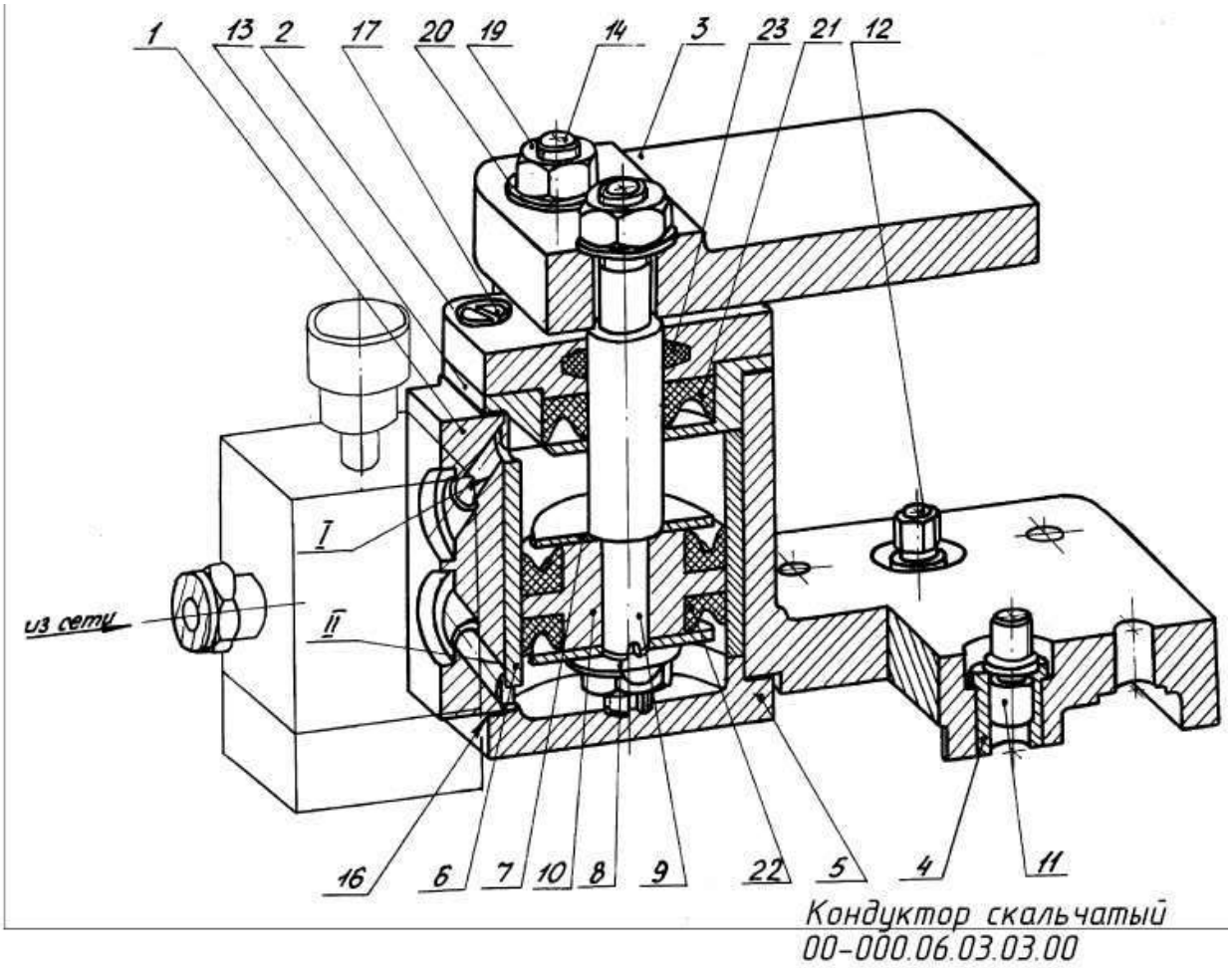
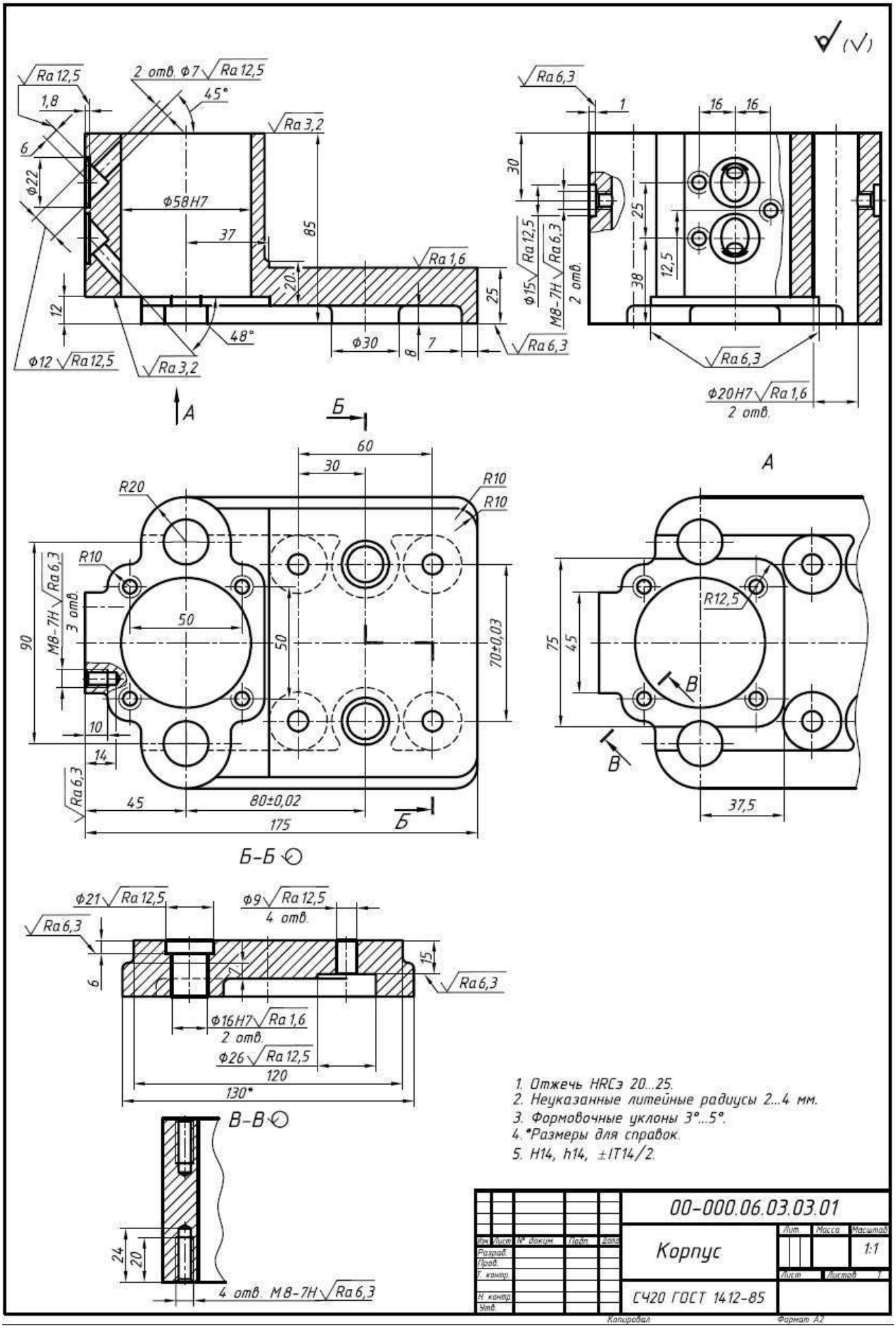
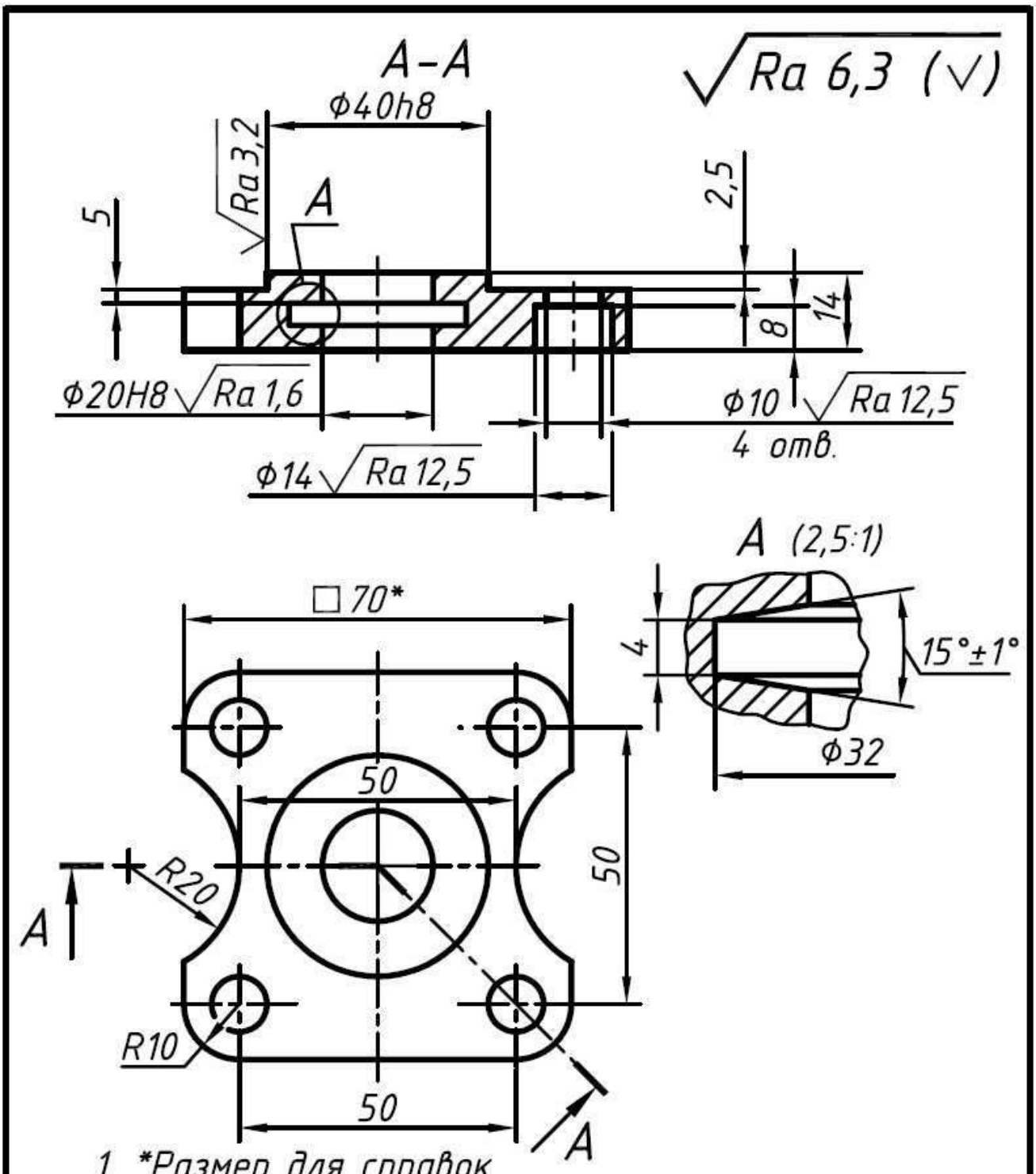


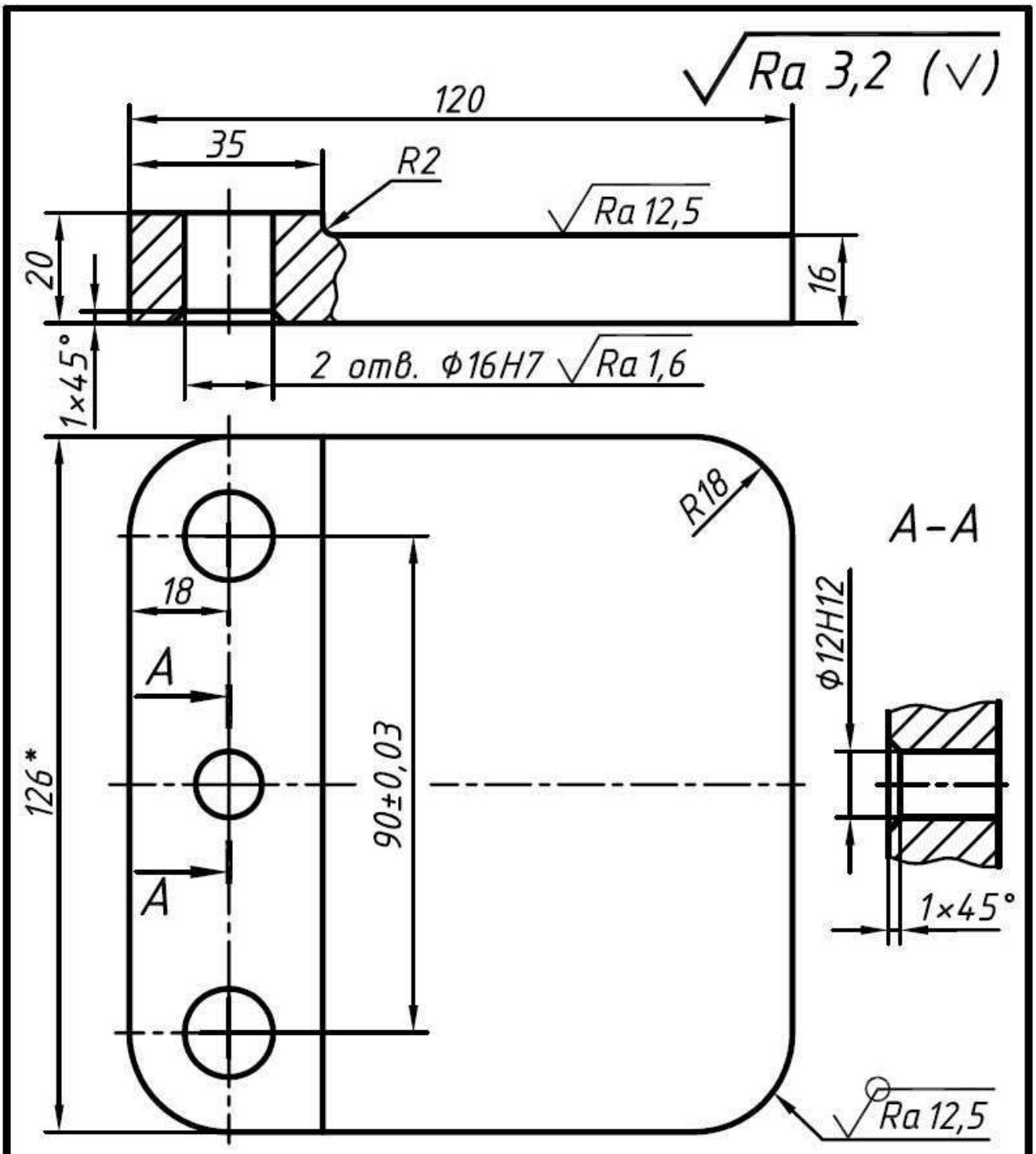
Рис. 1. Вид кондуктора скальчатого


(√)
Ra 12,5
2 отв. ф7 Ra 12,5
45°
1,8
6
ф22
Ra 3,2
ф58H7
37
85
Ra 1,6
20
25
12
48°
ф30
8
7
Ra 6,3
ф12 Ra 12,5
Ra 3,2
А
Б
Ra 6,3
1
16
16
30
25
38
12,5
Ф15 Ra 12,5
M8-7H Ra 6,3
2 отв.
Ra 6,3
Ф20H7 Ra 1,6
2 отв.
А
60
30
R20
R10
R10
R10
M8-7H Ra 6,3
3 отв.
50
50
90
70±0,03
10
14
Ra 6,3
45
80±0,02
175
Б
Б-Б
R12,5
75
45
В
В
37,5
ф21 Ra 12,5
ф9 Ra 12,5
4 отв.
Ra 6,3
6
15
Ra 6,3
ф16H7 Ra 1,6
2 отв.
ф26 Ra 12,5
120
130*
В-В
24
20
4 отв. M8-7H Ra 6,3
1. Отжечь HRCэ 20...25.
2. Неуказанные литейные радиусы 2...4 мм.
3. Формовочные уклоны 3°...5°.
4. *Размеры для справок.
5. H14, h14, ±IT14/2.
00-000.06.03.03.01
Корпус
Лит
Масса
Масштаб
1:1
Лист
Листов 1
СЧ20 ГОСТ 1412-85
Изм Лист № докум Подп Дата
Разраб.
Пров.
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Копировал
Формат А2



					00-000.06.03.03.02	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Крышка	Лит. / Масса / Масштаб 1:1
Разраб.						
Пров.						Лист / Листов 1
Т. контр.						
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88	
Утв.						

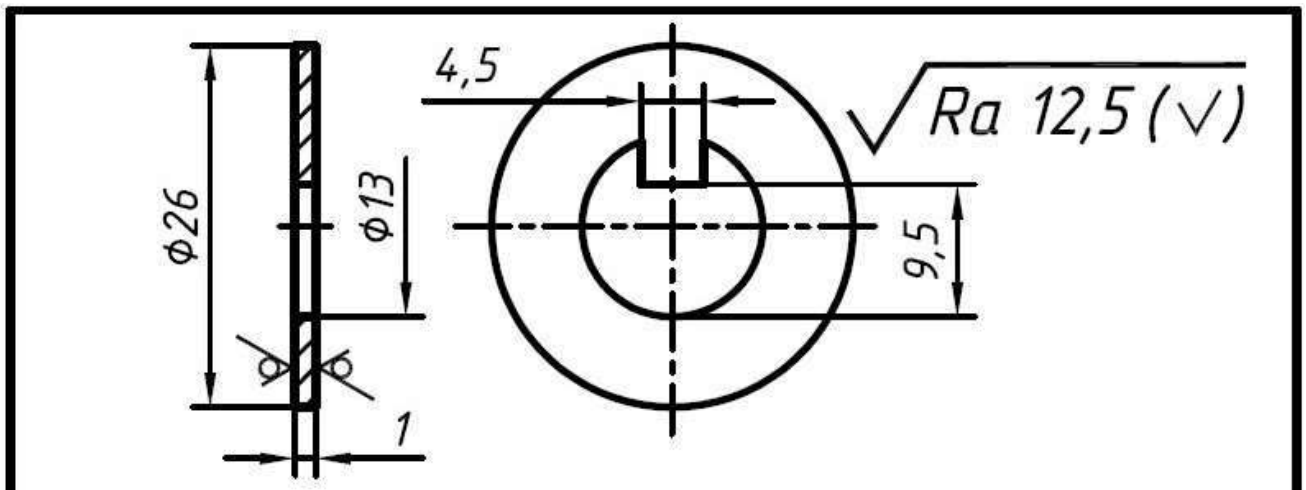
Копировал Формат А4



1. *Размер для справок.
2. ±IT14/2.

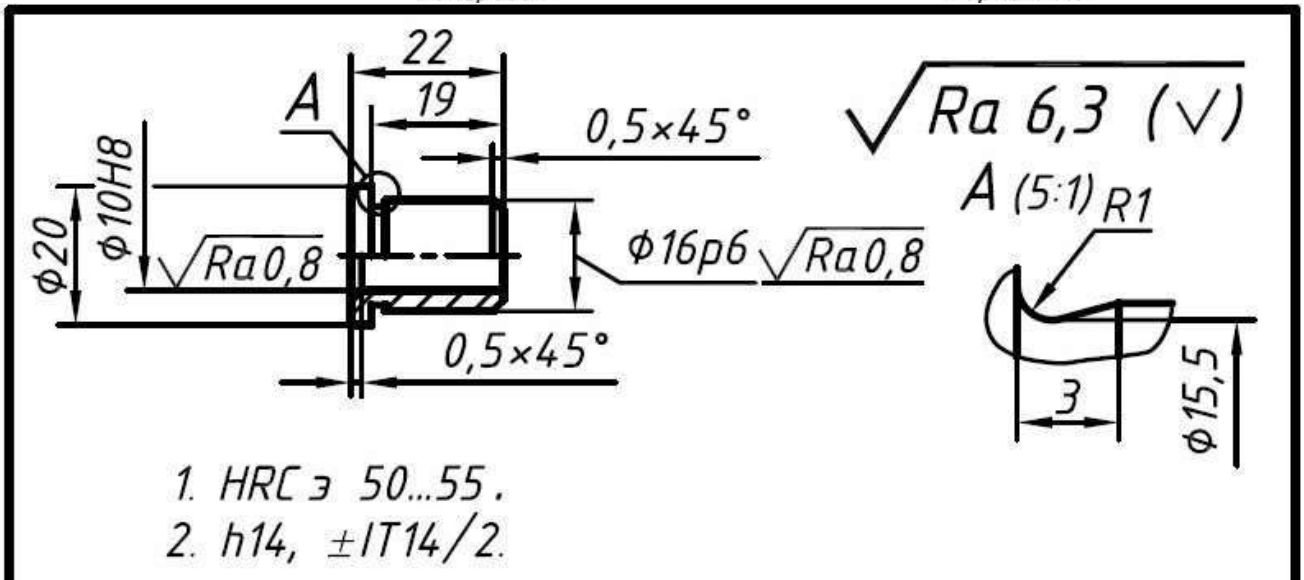
					00-000.06.03.03	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.					Плита	Лит. / Масса / Масштаб 1:1
Пров.						
Т. контр.						Лист / Листов 1
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88	
Утв.						

Копировал Формат А4



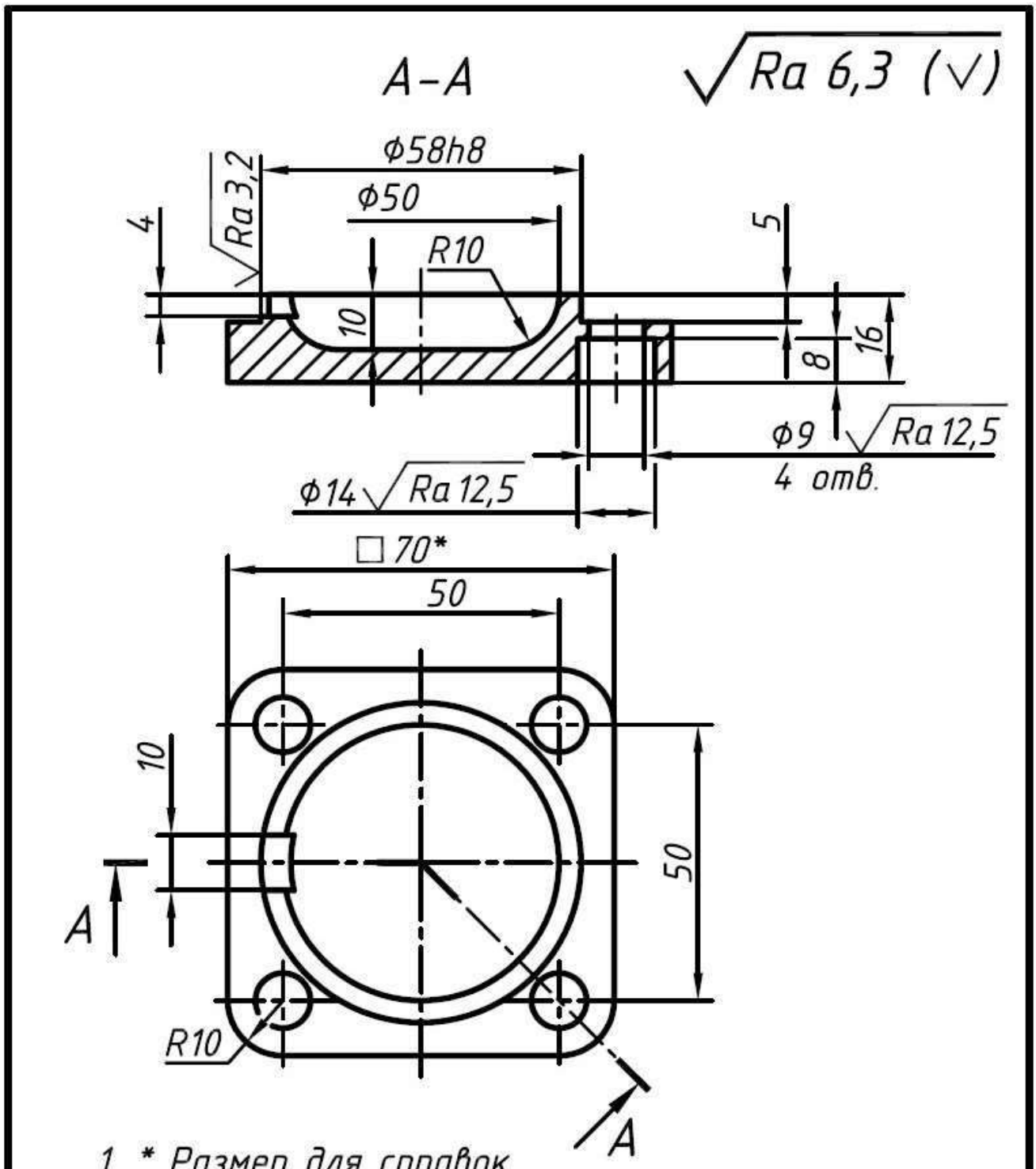
					00-000.06.03.03.08		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Шайба	Лит.	Масса / Масштаб 2:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Ст3 ГОСТ 380-2005		
Утв.							

Копировал Формат А5



					00-000.06.03.03.04		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Втулка	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов
Т. контр.							
Н. контр.					Сталь У8А ГОСТ 1435-99		
Утв.							

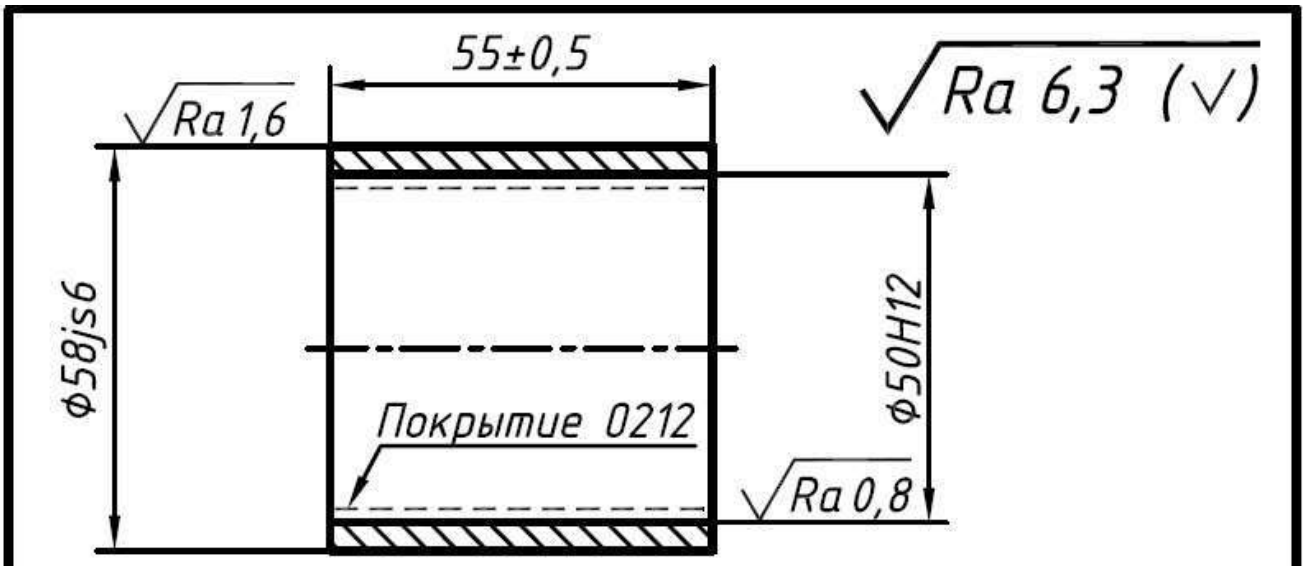
Копировал Формат А5



1. * Размер для справок.
2. H14, h14, ±IT14/2.

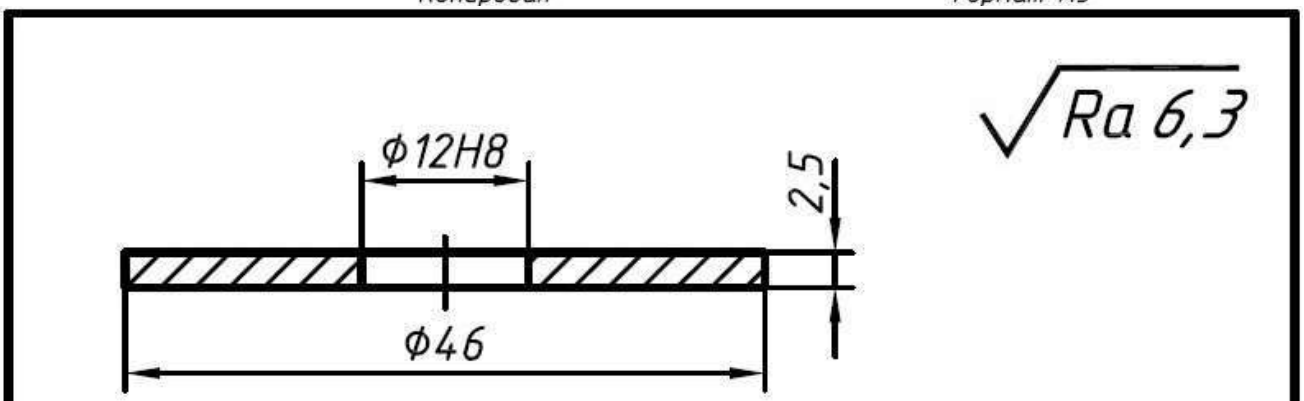
					00-000.06.03.03.05		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Крышка	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.							1:1
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Ст3 ГОСТ 380-2005		
Утв.							

Копировал Формат А4



					00-000.06.03.03.06		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.					Гильза	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Пров.							
Т. контр.						Лист	Листов 1
Н. контр.					Сталь 35 ГОСТ 1050-88		
Утв.							

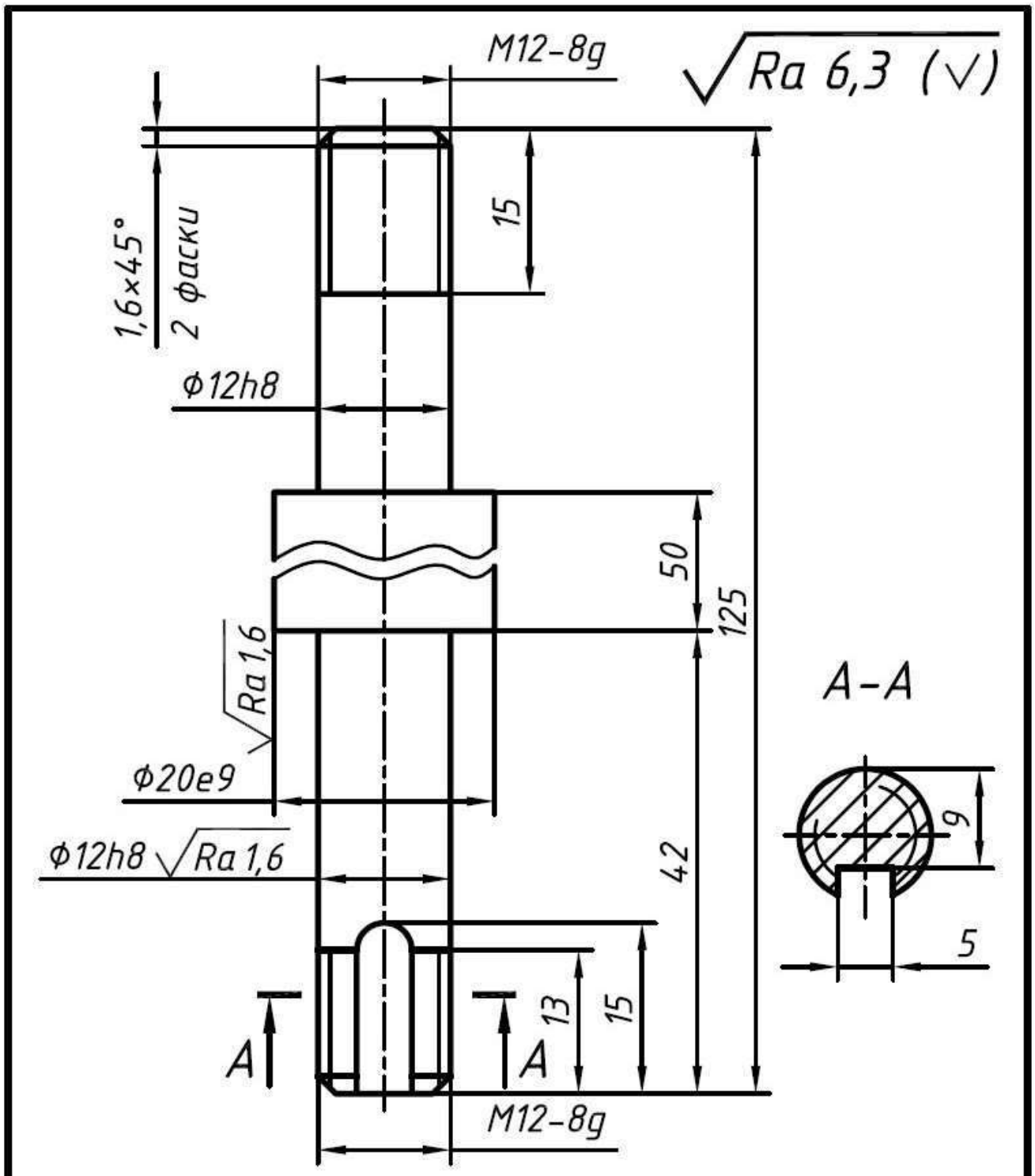
Копировал Формат А5



h14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.08		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.					Кольцо	Лит.	Масса / Масштаб 2:1
Пров.							
Т. контр.						Лист	Листов 1
Н. контр.					Ст3 ГОСТ 380-2005		
Утв.							

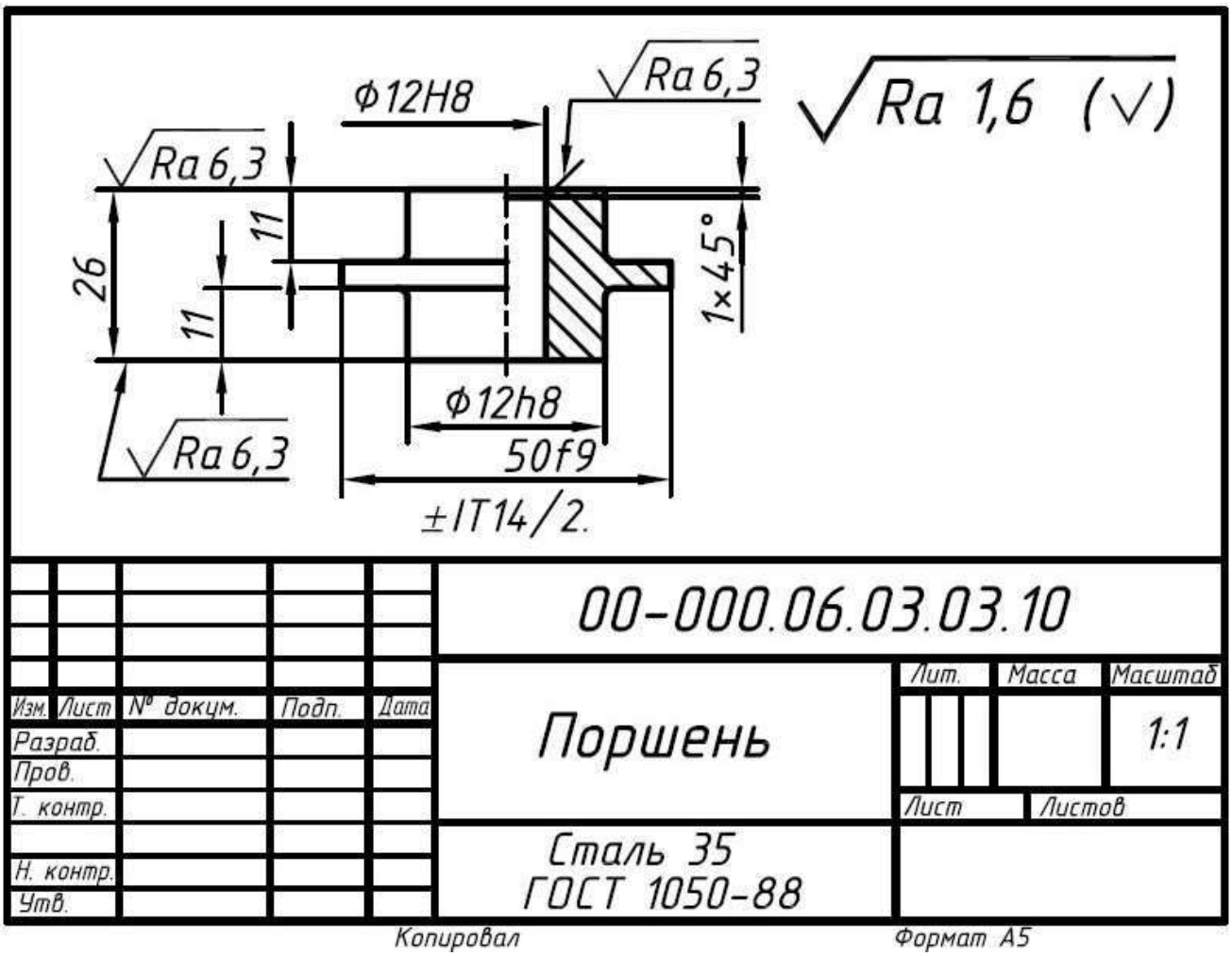
Копировал Формат А5

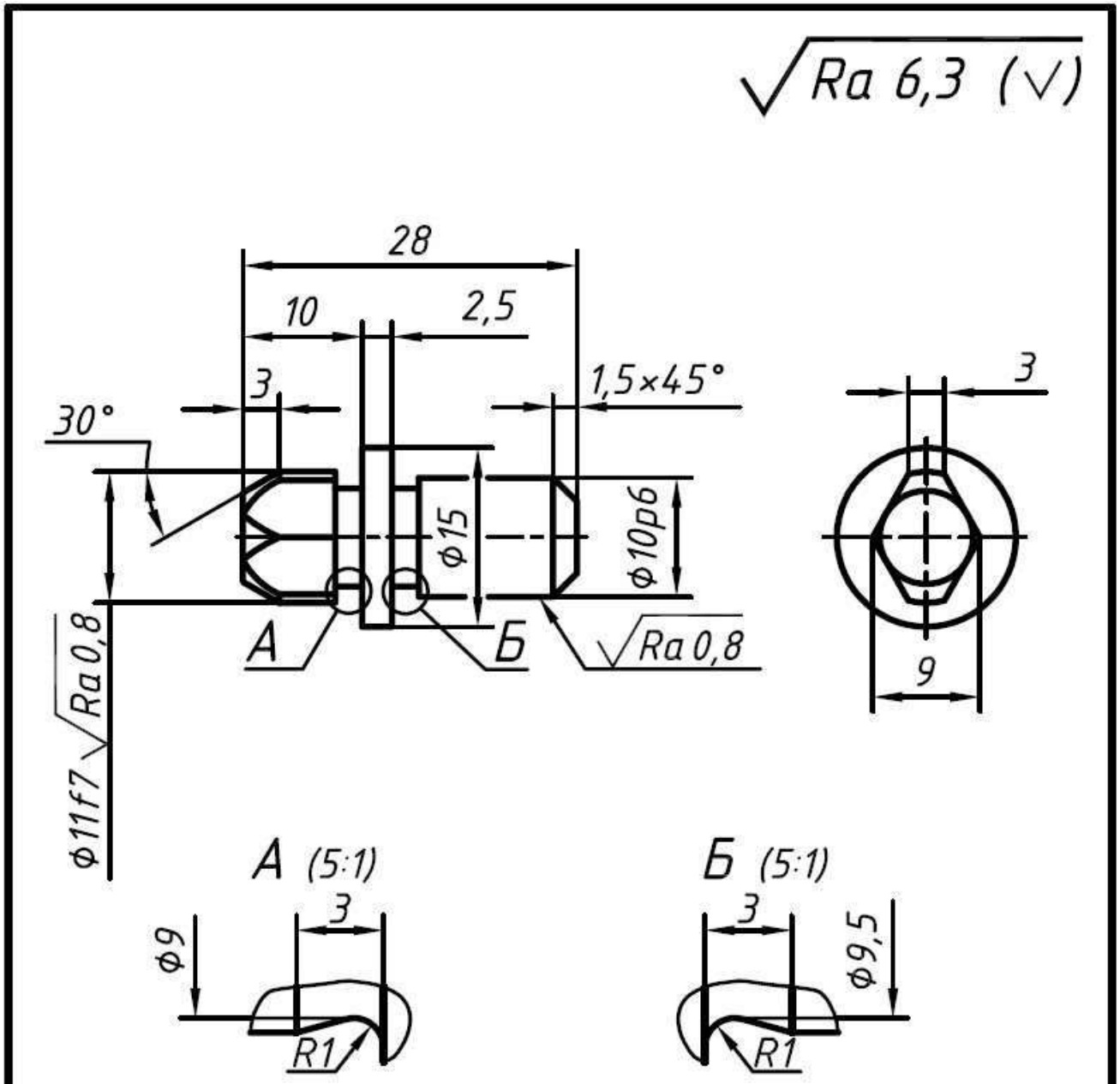


1. HRCэ 30...35.
2. H14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.09		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Шток	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.								2:1
Пров.								
Т. контр.						Лист	Листов 1	
					Сталь 45 ГОСТ 1050-88		
Н. контр.							
Утв.							

Копировал Формат А4

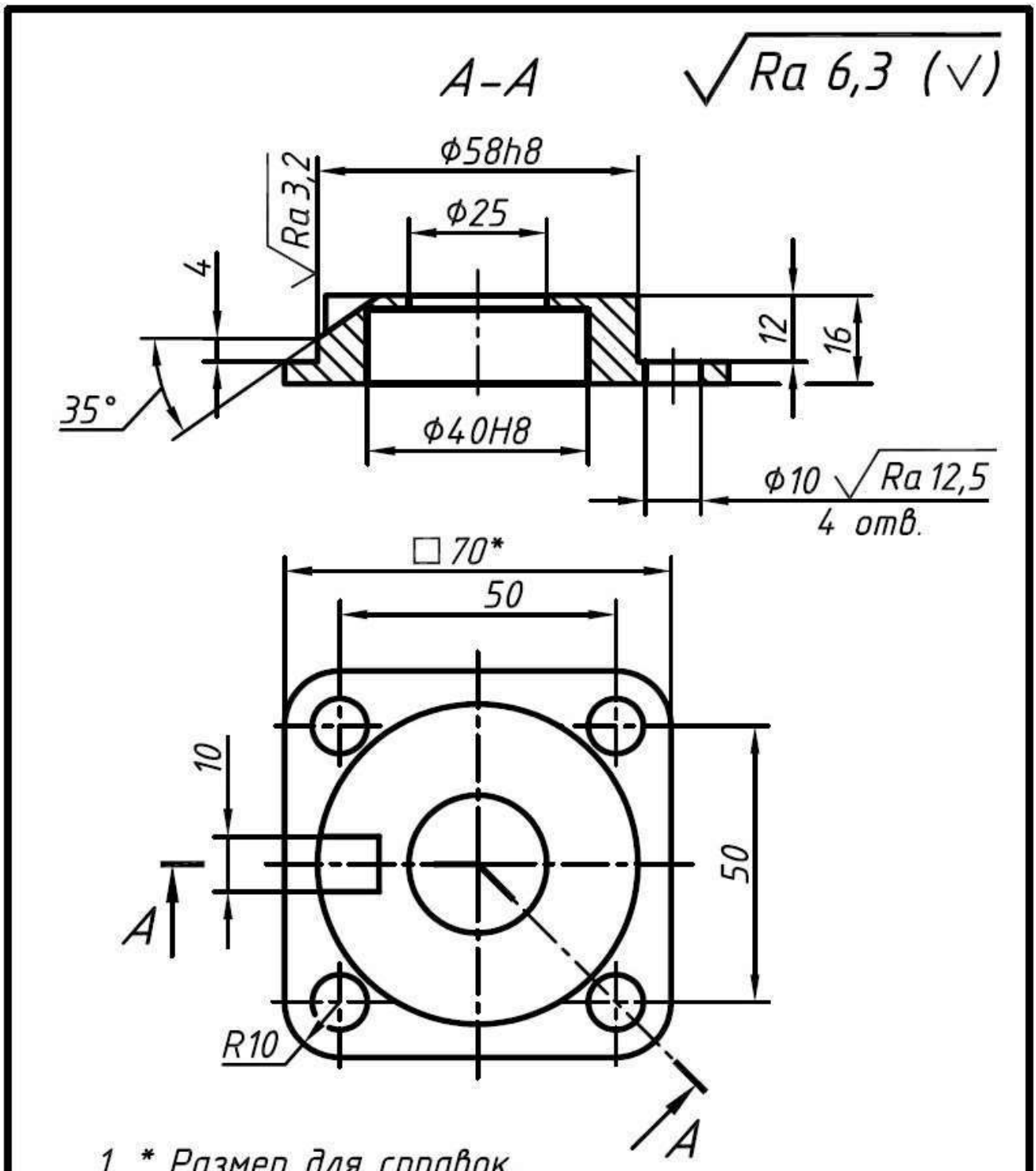

Ra 6,3
Ф12H8
Ra 6,3
Ra 1,6 (√)
26
11
11
1×45°
Ф12h8
Ra 6,3
50f9
±IT14/2.
00-000.06.03.03.10
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб.
Пров.
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Поршень
Лит. Масса Масштаб
1:1
Лист Листов
Сталь 35
ГОСТ 1050-88
Копировал
Формат А5



1. HRCэ 50...55.
2. h14, ±IT14/2.

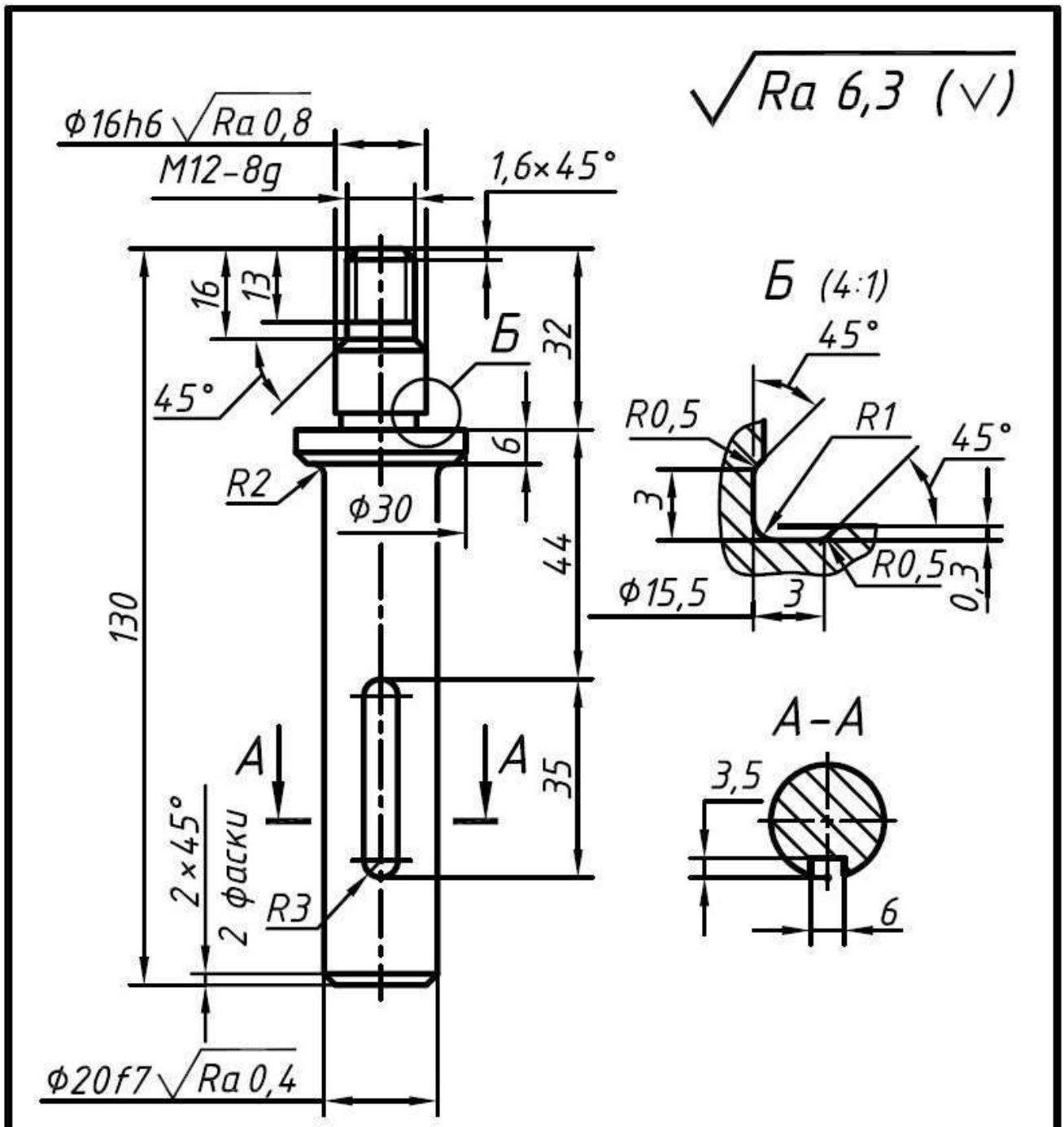
					00-000.06.03.03.11		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Палец	Лит.	Масса / Масштаб 2:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Сталь У8А ГОСТ 1435-99		
Утв.							

Копировал Формат А4



					00-000.06.03.03.13		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Крышка	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Разраб.							
Пров.						Лист	Листов 1
Т. контр.							
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88		
Утв.							

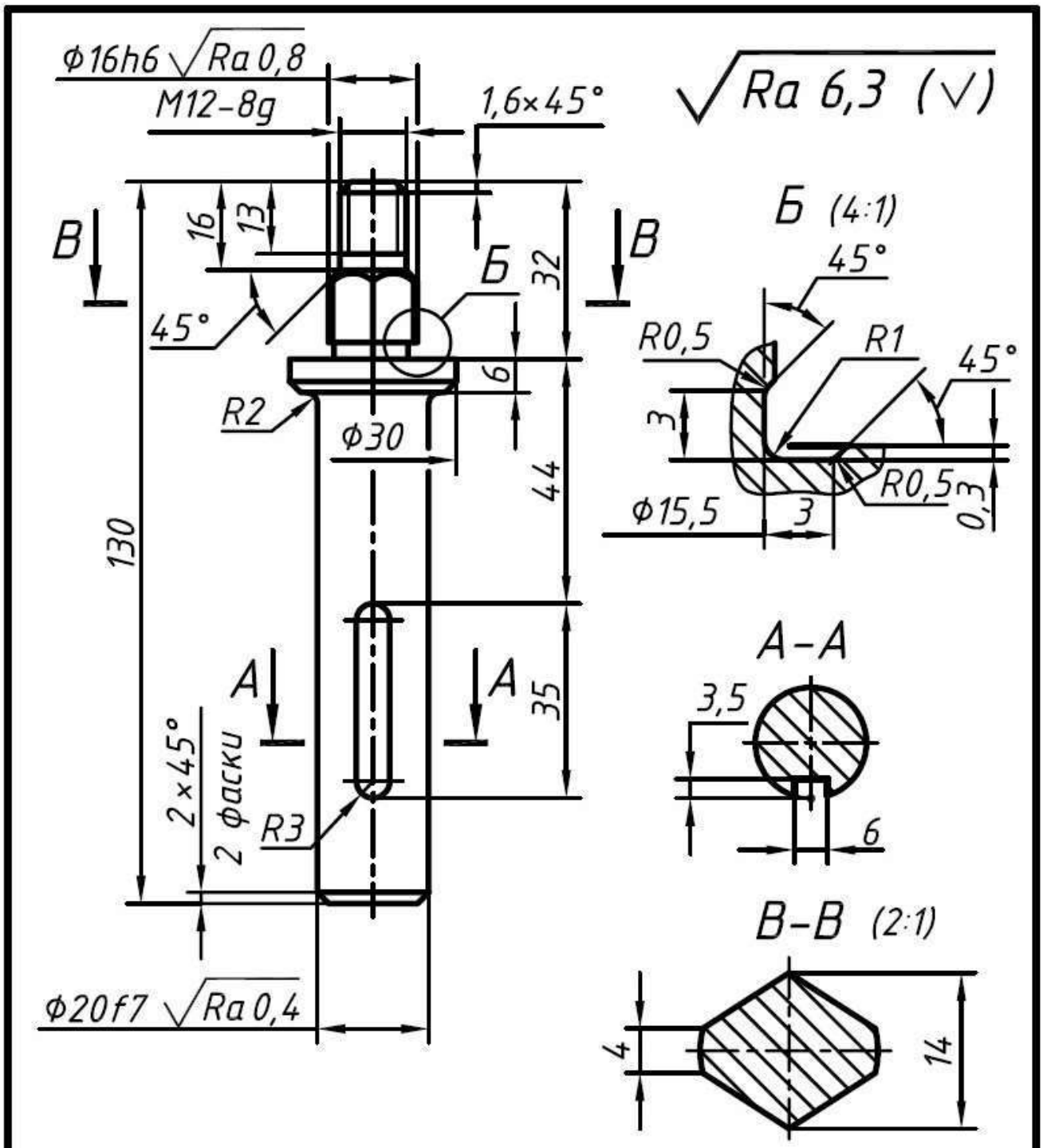
Копировал Формат А4



1. HRCэ 30...35.
2. H14, h14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.14		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Скалка	Лит.	Масса / Масштаб 1:1
Разраб.							
Пров.							
Т. контр.						Лист	Листов 1
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88		
Утв.							

Копировал Формат А4



1. HRCэ 30...35.
2. H14, h14, ±IT14/2.

					00-000.06.03.03.15	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.					Скалка	Лит. / Масса / Масштаб 1:1
Пров.						
Т. контр.						Лист / Листов 1
Н. контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88	
Утв.						

Копировал Формат А4

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

ФТД.В.01 ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА

Направление подготовки
15.06.01 Машиностроение

Направленность
Горные машины

форма обучения: очная, заочная

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управления персоналом	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Ветошкина Т.А	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол №7 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	5
2	Методические указания по подготовке к опросу	9
3	Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	11
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	13
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	14
	Заключение	17
	Список использованных источников	18

ВВЕДЕНИЕ

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.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);

- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

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.

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.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации[1]. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентов с текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия, необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

---

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;

• время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания. Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю;

групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим методам.

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

В соответствии с технологической картой 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. 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 [2].

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).

[2] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

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. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

3. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Продолжительность одного практического занятия – от 2 до 4 академических часов. Общая доля практических занятий в учебном времени на дисциплину – от 10 до 20 процентов (при условии, что все активные формы займут в учебном времени на дисциплину от 40 до 60 процентов).

Для практического занятия в качестве темы выбирается обычно такая учебная задача, которая предполагает не существенные эвристические и аналитические напряжения и продвижения, а потребность обучающегося «потрогать» материал, опознать в конкретном то общее, о чем говорилось в лекции. Например, при рассмотрении вопросов оплаты труда, мотивации труда и проблем безработицы в России имеет смысл провести практические занятия со следующими сюжетами заданий: «Расчет заработной платы работников предприятия». «Разработка механизма мотивации труда на предприятии N». «В чем причины и особенности безработицы в России?». Последняя тема предполагает уже некоторую аналитическую составляющую. Основная задача первой из этих тем - самим посчитать заработную плату для различных групп работников на примере заданных параметров для конкретного предприятия, т. е. сделать расчеты «как на практике»; второй – дать собственный вариант мотивационной политики для предприятия, учитывая особенности данного объекта, отрасли и т.д.; третьей – опираясь на теоретические знания в области проблем занятости и безработицы, а также статистические материалы, сделать авторские выводы о видах безработицы, характерных для России, и их причинах, а также предложить меры по минимизации безработицы.

Перед проведением занятия должен быть подготовлен специальный материал – тот объект, которым обучающиеся станут оперировать, активизируя свои теоретические (общие) знания и тем самым, приобретая навыки выработки уверенных суждений и осуществления конкретных действий.

Дополнительный материал для практического занятия лучше получить у преподавателя заранее, чтобы у студентов была возможность просмотреть его и подготовить вопросы.

Условия должны быть такими, чтобы каждый мог работать самостоятельно от начала до конца. В аудитории должны быть «под рукой» необходимые справочники и тексты законов и нормативных актов по тематике занятия. Чтобы сделать практическое занятие максимально эффективным, надо заранее подготовить и изучить материал по наиболее интересным и практически важным темам.

Особенности практического занятия с использованием компьютера

Для того чтобы повысить эффективность проведения практического занятия, может использоваться компьютер по следующим направлениям:

- поиск информации в Интернете по поставленной проблеме: в этом случае преподаватель представляет обучающимся перечень рекомендуемых для посещения Интернет-сайтов;
- использование прикладных обучающих программ;
- выполнение заданий с использованием обучающимися заранее установленных преподавателем программ;

- использование программного обеспечения при проведении занятий, связанных с моделированием социально-экономических процессов.

4.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 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 (от доски смелом до самых современных технических средств), 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. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.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.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

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.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368 с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

5. Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа:http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

ФТД.В.02 СРЕДСТВА КОММУНИКАЦИИ В УЧЕБНОЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки
15.06.01 Машиностроение

Направленность
Горные машины

форма обучения: очная, заочная

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управления персоналом	Горно-механический факультет
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой	Председатель
(подпись)	*(подпись)*
Ветошкина Т.А	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол №7 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	5
2	Методические указания по подготовке к опросу	9
3	Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	11
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	13
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	14
	Заключение	17
	Список использованных источников	18

ВВЕДЕНИЕ

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.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);

- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

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.

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.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации[1]. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентов с текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия, необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

---

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;

• время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания. Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю;

групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим методам.

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

В соответствии с технологической картой 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. 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 [2].

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).

[2] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

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. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

3. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Продолжительность одного практического занятия – от 2 до 4 академических часов. Общая доля практических занятий в учебном времени на дисциплину – от 10 до 20 процентов (при условии, что все активные формы займут в учебном времени на дисциплину от 40 до 60 процентов).

Для практического занятия в качестве темы выбирается обычно такая учебная задача, которая предполагает не существенные эвристические и аналитические напряжения и продвижения, а потребность обучающегося «потрогать» материал, опознать в конкретном то общее, о чем говорилось в лекции. Например, при рассмотрении вопросов оплаты труда, мотивации труда и проблем безработицы в России имеет смысл провести практические занятия со следующими сюжетами заданий: «Расчет заработной платы работников предприятия». «Разработка механизма мотивации труда на предприятии N». «В чем причины и особенности безработицы в России?». Последняя тема предполагает уже некоторую аналитическую составляющую. Основная задача первой из этих тем - самим посчитать заработную плату для различных групп работников на примере заданных параметров для конкретного предприятия, т. е. сделать расчеты «как на практике»; второй – дать собственный вариант мотивационной политики для предприятия, учитывая особенности данного объекта, отрасли и т.д.; третьей – опираясь на теоретические знания в области проблем занятости и безработицы, а также статистические материалы, сделать авторские выводы о видах безработицы, характерных для России, и их причинах, а также предложить меры по минимизации безработицы.

Перед проведением занятия должен быть подготовлен специальный материал – тот объект, которым обучающиеся станут оперировать, активизируя свои теоретические (общие) знания и тем самым, приобретая навыки выработки уверенных суждений и осуществления конкретных действий.

Дополнительный материал для практического занятия лучше получить у преподавателя заранее, чтобы у студентов была возможность просмотреть его и подготовить вопросы.

Условия должны быть такими, чтобы каждый мог работать самостоятельно от начала до конца. В аудитории должны быть «под рукой» необходимые справочники и тексты законов и нормативных актов по тематике занятия. Чтобы сделать практическое занятие максимально эффективным, надо заранее подготовить и изучить материал по наиболее интересным и практически важным темам.

Особенности практического занятия с использованием компьютера

Для того чтобы повысить эффективность проведения практического занятия, может использоваться компьютер по следующим направлениям:

- поиск информации в Интернете по поставленной проблеме: в этом случае преподаватель представляет обучающимся перечень рекомендуемых для посещения Интернет-сайтов;
- использование прикладных обучающих программ;
- выполнение заданий с использованием обучающимися заранее установленных преподавателем программ;

- использование программного обеспечения при проведении занятий, связанных с моделированием социально-экономических процессов.

4.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 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 (от доски смелом до самых современных технических средств), 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. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.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.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

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.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368 с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

5. Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа:http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

ФТД.В.03 ОСНОВЫ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ И ПРАВОВЫХ ЗНАНИЙ

Направление подготовки
15.06.01 Машиностроение

Направленность
Горные машины

форма обучения: очная

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управления персоналом	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Ветошкина Т.А	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 1 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	5
2	Методические указания по подготовке к опросу	9
3	Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	11
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	13
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	14
	Заключение	17
	Список использованных источников	18

ВВЕДЕНИЕ

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.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

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.

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.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);

- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

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.

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.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации[1]. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентов с текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия, необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

---

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;

• время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания. Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю;

групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим методам.

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

В соответствии с технологической картой 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. 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 [2].

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).

[2] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

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. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

3. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Продолжительность одного практического занятия – от 2 до 4 академических часов. Общая доля практических занятий в учебном времени на дисциплину – от 10 до 20 процентов (при условии, что все активные формы займут в учебном времени на дисциплину от 40 до 60 процентов).

Для практического занятия в качестве темы выбирается обычно такая учебная задача, которая предполагает не существенные эвристические и аналитические напряжения и продвижения, а потребность обучающегося «потрогать» материал, опознать в конкретном то общее, о чем говорилось в лекции. Например, при рассмотрении вопросов оплаты труда, мотивации труда и проблем безработицы в России имеет смысл провести практические занятия со следующими сюжетами заданий: «Расчет заработной платы работников предприятия». «Разработка механизма мотивации труда на предприятии N». «В чем причины и особенности безработицы в России?». Последняя тема предполагает уже некоторую аналитическую составляющую. Основная задача первой из этих тем - самим посчитать заработную плату для различных групп работников на примере заданных параметров для конкретного предприятия, т. е. сделать расчеты «как на практике»; второй – дать собственный вариант мотивационной политики для предприятия, учитывая особенности данного объекта, отрасли и т.д.; третьей – опираясь на теоретические знания в области проблем занятости и безработицы, а также статистические материалы, сделать авторские выводы о видах безработицы, характерных для России, и их причинах, а также предложить меры по минимизации безработицы.

Перед проведением занятия должен быть подготовлен специальный материал – тот объект, которым обучающиеся станут оперировать, активизируя свои теоретические (общие) знания и тем самым, приобретая навыки выработки уверенных суждений и осуществления конкретных действий.

Дополнительный материал для практического занятия лучше получить у преподавателя заранее, чтобы у студентов была возможность просмотреть его и подготовить вопросы.

Условия должны быть такими, чтобы каждый мог работать самостоятельно от начала до конца. В аудитории должны быть «под рукой» необходимые справочники и тексты законов и нормативных актов по тематике занятия. Чтобы сделать практическое занятие максимально эффективным, надо заранее подготовить и изучить материал по наиболее интересным и практически важным темам.

Особенности практического занятия с использованием компьютера

Для того чтобы повысить эффективность проведения практического занятия, может использоваться компьютер по следующим направлениям:

- поиск информации в Интернете по поставленной проблеме: в этом случае преподаватель представляет обучающимся перечень рекомендуемых для посещения Интернет-сайтов;
- использование прикладных обучающих программ;
- выполнение заданий с использованием обучающимися заранее установленных преподавателем программ;

- использование программного обеспечения при проведении занятий, связанных с моделированием социально-экономических процессов.

4.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 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 (от доски смелом до самых современных технических средств), 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. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.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.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

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.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368 с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

5. Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа:http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf