

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ШКОЛА – РЕГИОНАМ»

24-25 апреля 2017 года

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.311.6

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС «БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ»

Бархитдинов Д. Ф., Букреев А. В., Ткачук М. С., Углов М. С., Julia Kolyasnikova
Научный руководитель Скобцов С.Н., к.т.н, доцент
Уральский государственный горный университет

Разрабатываемый учебно-лабораторный комплекс предназначен для углубленного изучения характеристик биполярных и полевых транзисторов и схемотехники типовых усилительных каскадов на их основе.

В каждый лабораторный комплекс входит, разработанный блок формирования усиливаемых сигналов (генератор звуковых частот совместно с выходным аттенуатором, дающим ослабление минус 20, 40, 60 и 80 Дб). Для регистрации сигналов в комплект включен портативный осциллограф.

Конструкцией стенов предусмотрена возможность снятия статических характеристик транзисторов, реализация самых различных вариантов «обвязки» для задания режима покоя усилительного каскада, визуальная регистрация входных и выходных сигналов.

Принципиальная электрическая схема установки приведена на рисунке 1 и находится на передней панели вместе с органами управления, задания входных сигналов исходных режимов и контроля (визуального и стрелочными измерительными приборами).

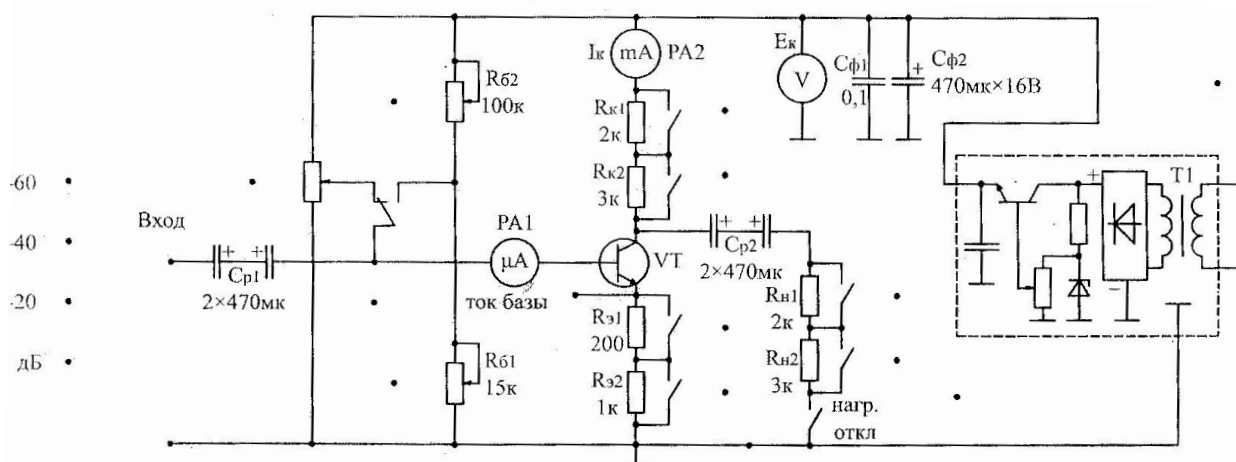


Рисунок 1 — Принципиальная электрическая схема установки

Для измерения тока базы используется микроамперметр М24 с током полного отклонения 100 мкА, что неудобно для измерения токов современных транзисторов, имеющих большие значения коэффициентов $h_{21Э}$.

Решение проблемы оказалось довольно простым — цепь база-эмиттер, исследуемого транзистора, шунтируется таким переходом аналогического типа транзистора с коррекцией нелинейной характеристики «шунта» [2] с помощью изменения напряжения на коллекторе, что поясняется рисунком 2.

Таким образом, при совпадении входных характеристик обоих транзисторов показания микроамперметра с конечным значением на шкале 50 мкА, будут соответствовать действительному току базы испытываемого транзистора, хотя на самом деле через прибор будет течь в два раза больший ток.

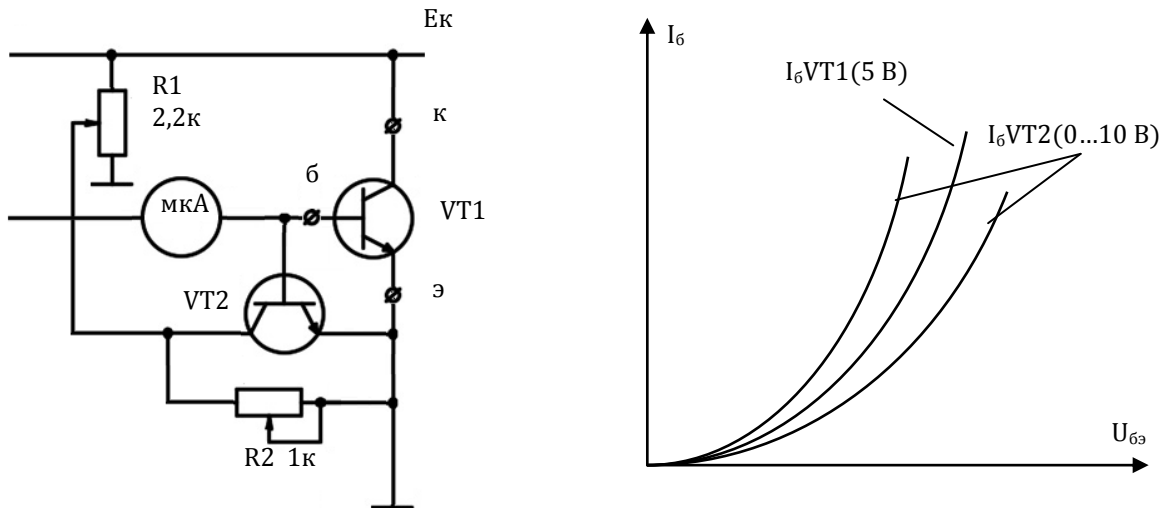


Рисунок 2 — К пояснению метода электронной перестройки шкалы микроамперметра

С помощью потенциометра R1 регулируется напряжение на коллекторе шунтирующего транзистора VT2, добиваясь при этом совпадения (в данной точке, обычно при $U_{кэ VT} \sim 0,6$ В) величин токов базы обоих транзисторов. Высокоомным подстроечным резистором R2 уточняют степень шунтирования. Всю операцию согласования токов базы VT1 и показаний микроамперметра выполняют с помощью специально разработанной приставкой с точным цифровым измерительным прибором.

Благодаря разветвленной схеме коммутаций в цепях испытываемого транзистора, установка позволяет выполнить очень широкий круг различных вариантов схем включения транзистора в усилительный каскад.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцев А.А. и др. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник. - М.: Радио и связь, кубк-а 1994 г.

К ВОПРОСУ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ

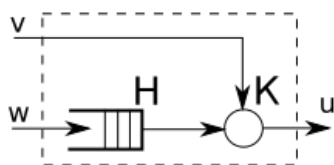
Абдрахманов М. И., Полькин К. В.
Научный руководитель Лапин Э.С., д-р техн. наук, профессор
Уральский государственный горный университет

Структурная идентификация программно-аппаратного комплекса (ПАК) системы аварийного оповещения (САО) является первым шагом при построении ее математической модели. Модель САО позволит:

- построить техническое задание на разработку ПАК;
- определить и численно рассчитать критерии и показатели надежности ПАК;
- дать предварительную оценку стоимости ПАК;
- усовершенствовать структуру ПАК с целью повышения надежности (добавление резервных каналов связи и питания и т.п.);
- оценить потенциал масштабируемости ПАК;
- проводить на ее основании сравнительный анализ реально существующих ПАК с целью выбора реализации, максимально подходящей для решения поставленной задачи;
- построить алгоритмы контроля работоспособности и поиска неисправностей в системе.

Системы такого типа имеют m источников сигнала и n -приемников, источники и приемники связаны между собой через систему передачи, которая включает в себя среду передачи и узловые элементы.

Работа системы может быть описана моделью прохождения сигналов из источника в приемник. Функционирование каждого узла системы, включая приемник, можно представить как передачу сигнала из некоторого накопителя (в котором собираются сигналы, ожидающие обработки) в обработчик. Тогда узел будет иметь структуру, подобную прибору обслуживания заявок (рисунок 1), а сама система будет представлять собой систему массового обслуживания (СМО) [1].



H - накопитель, K - канал обслуживания, w - поток заявок, v - поток обслуживания,
u - выходной поток

Рисунок 1 - Структура узла системы (прибор обслуживания заявок)

Рассмотрим работу системы аварийного оповещения угольной шахты с этой позиции. На сервер сбора данных поступает информация о состоянии атмосферы шахты. После обработки сообщений сервером на основании содержащейся в них информации оборудование наземного комплекса управляет аварийным оповещением и посылает сигнал о включении/выключении аварийного оповещения (свет/звук) и информировании ответственных лиц.

На рисунке 2 представлена типовая схема САО, описанная с помощью СМО в самом простом случае.

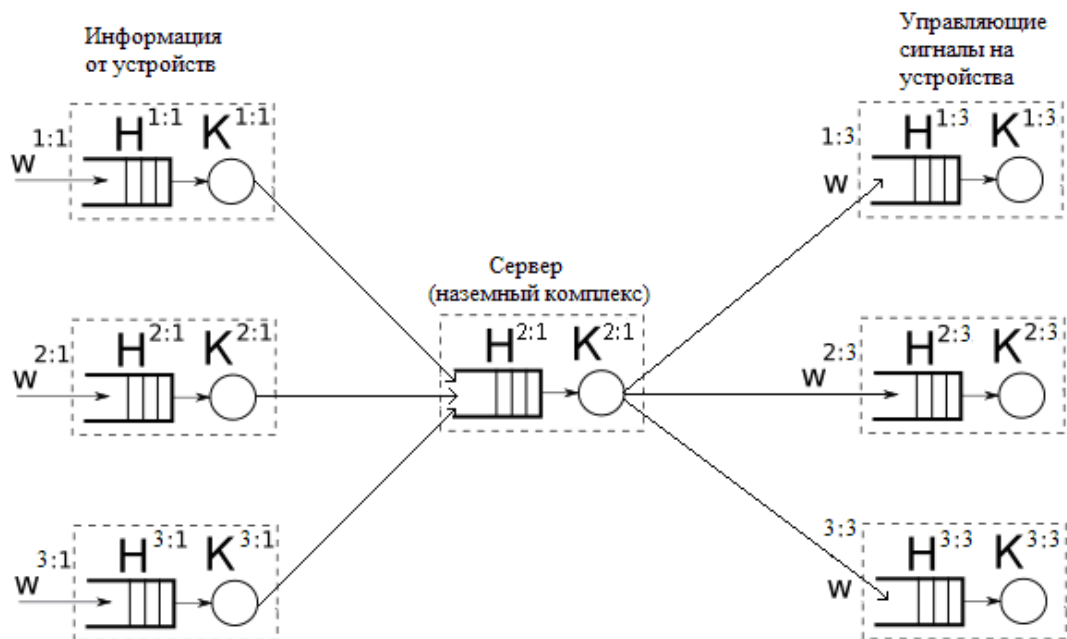


Рисунок 2 – Типовая форма СМО для описания САО

Одной из реализации системы аварийного оповещения и позиционирования является система СПГТ-41, реализуемая компанией ООО «Ингортех».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

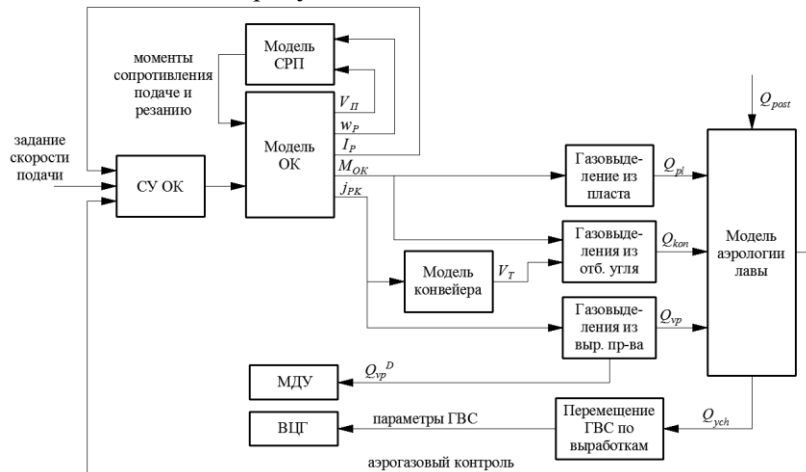
1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов -3-е изд. перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 2001. - 343 с.

СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Котегова Е. В.

Научный руководитель Бабенко А. Г., к-т техн. наук, доцент
Уральский государственный горный университет

Для повышения экономической эффективности угледобывающих предприятий необходимо уменьшать длительности технологических простоев добычных комплексов, связанных с загазированиями. Задача оптимального управления добычным комплексом сводится к максимизации производительности при исключении опасных аэрологических состояний (загазирования). Для решения этой задачи необходимо выполнить структурную и параметрическую идентификацию очистного забоя. Разработана обобщенная структура модели объекта управления, показанная на рисунке 1.



ОК – очистной комбайн; СУ – система управления; СРП – сопротивление резанию пласта; МДУ – дегазационные установки; ВЦГ – вентиляторы; v_{II} – скорость подачи, м/с; w_p – скорость резания, с⁻¹; I_p – ток привода резания, А; M_{OK} – координата комбайна, м; j_{PK} – производительность комбайна на выемке угля, кг/с; v_T – скорость транспортирования угля по конвейеру, м/с; Q_{post} – расход метана с поступающей в очистную горную выработку струей, м³/с; Q_{pl} , Q_{kon} – расходы метана из угольного массива и добытого угля соответственно, м³/с; Q_{vp} – расход метана из выработанного пространства, определяемые при проектной работе дегазационных установок, м³/с; Q_{ych} – суммарное газовыделение в призабойном пространстве, м³/с; Q_{vp}^D – расход метана на дегазацию, м³/с

Рисунок 1 – Модель декомпозированного комплекса добычи угля в лаве

Наиболее сложной является модель аэрологии лавы. При интенсивной выемке в призабойном пространстве суммарное газовыделение определяется выражением:

$$Q_{ych} = Q_{pl} + Q_{kon} + Q_{vp},$$

где $Q_{pl} = Q_{o.pl}^{max} \cdot e^{-AT_m}$, где A – коэффициент дренирования, зависящий от физических свойств пласта, его газопроницаемости и горного давления, с⁻¹; T_m – время с обнажения массива, с; $Q_{o.pl}^{max}$ – газовыделение с единицы обнаженной поверхности пласта в момент ее обнажения, м³/с:

$$Q_{o.pl}^{max} = j_{PK} k_p m \rho^{-1},$$

где ρ – плотность угля, кг/м³; m – пористость угля; k_p – доля метана выделившегося с обнаженной поверхности пласта от его общей величины, формирующейся в угольном массиве и характеризующей сорбционные свойства угля.

Приемы упрощения, используемые на этапе феноменологического описания, позволяют принять следующую зависимость:

$$Q_{kon} = mrLk_k j_{kon} (e^{AT_m T_m} \rho)^{-1},$$

где r – величина захвата выемочной машины, м; L – длина моделируемого участка горной выработки, м; k_k – доля метана, выделившегося с конвейерной ленты от его общей величины, формирующейся в угольном массиве и характеризующей сорбционные свойства угля; j_{kon} – производительность конвейера, кг/с.

Процесс перемешивания и перемещения газоздушнoй смеси в лаве описывается передаточной функцией:

$$G(s) = Q_{БЫХ}(s)/Q_{ВХ}(s) = k e^{-\tau(t)s} / (T_C s + 1)^n,$$

где k – коэффициент утечки и притоков, характеризует газовыделение из выработанного пространства; T_C – постоянная времени смешивания, с; $n = \text{ceil}(L/l)$, где l – длина участка, м; $\tau(t) = L/v(t)$ – время транспортного запаздывания, которое зависит от скорости движения газовой смеси $v(t)$, м/с.

Для параметрической идентификации разработанной модели будут использованы данные, собранные в условиях шахты «Полысаевская» лавы 1747 в период 11.04.16-17.05.16, от систем АГК, АСУ ТП и «МИКОН ГЕО».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по проектированию угольных шахт // Под общей редакцией М.А. Патрушева. – УТВЕРЖДЕНО Министерством угольной промышленности СССР 10 апреля 1974 г., СОГЛАСОВАНО с Госгортехнадзором СССР 2 ноября 1972 г., с Госстроем СССР 10 мая 1973 г.
2. Абрамов Ф. А., Грецингер Б. Е., Соболевский В. В., Шевелев Г. А. Аэрогазодинамика выемочного участка/ Серия «Библиотека горного инженера». Т. 16 «Классики горной мысли». Кн. 4. – М. Издательство «горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 232 с.
3. Майборода А. А., Анфицеров В. А., Голубев А. А., Иванов Л. А. Коллекторы метана в угленосных формациях Донбасса: Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 4, 2009.
4. Писецкий В. Б., Чевдарь С. М., Лапин С. Э., Левин В. А., Горбунов В. А. О выборе критерия оценки риска потери состояния устойчивости горного массива по сейсмическим, аэрогазовым и геомеханическим данным: Уральский государственный горный университет, ООО «Информационные горные технологии», Московский государственный университет, 7 с.
5. Бабенко А. Г. Упрощенная аэрогазодинамическая модель горной выработки.
6. Каркашадзе Г. Г., Мазаник Е. В., Лупий М.Г. Методика расчета производительности вакуум-насоса в процессе дегазации выработанного пространства через скважины с поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – С. 146-152.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА «УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ»

Богданов Е. А., Елистраткин А. В., Julia Kolyasnikova
 Научный руководитель Скобцов С.Н., к.т.н, доцент
 Уральский государственный горный университет

Предлагаемый вариант лабораторной установки включаем, в основном в схему, конструкцию и описание системы импульсно-фазового управления одной фазы тиристорного преобразователя и предназначен для знакомства с принципом организации фазового сдвига управляющих импульсов на тиристор и их формирований.

Принципиальная схема системы управления с контрольными точками помещена на передней панели. Здесь же приводятся временные диаграммы, поясняющие принцип работы фазосдвигающей части схемы, в соответствии с рисунком 1.

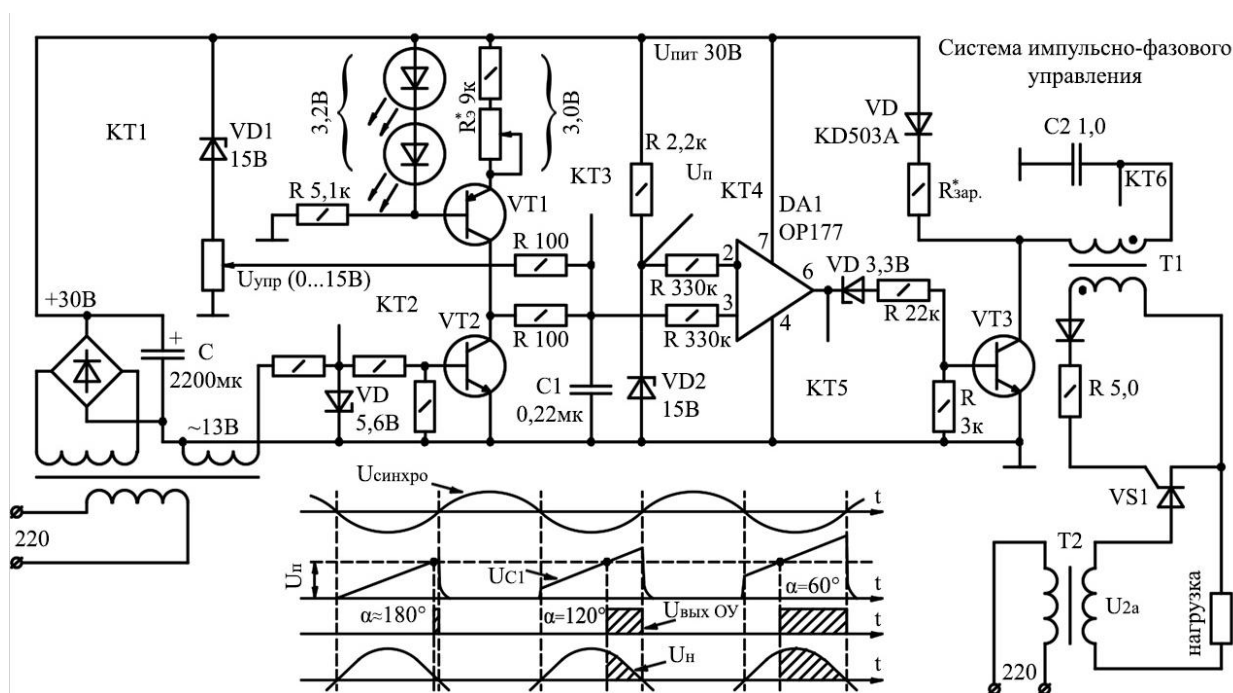


Рисунок 1 — Принципиальная схема системы импульсно-фазового управления

На транзисторе VT1 реализован источник стабилизированного тока заряда конденсатора C1, на котором формируется пилообразное напряжение, и наклон которого обеспечивает сравнение с опорным напряжением (на входах ОУ DA1) в момент окончания рабочего полупериода напряжения на силовом тиристоре при нулевом значении напряжения управления U_y .

Коммутирующий транзистор VT2 открывается под действием напряжения синхронизации в начале не рабочего полупериода, обнуляя зарядный конденсатор. Таким образом, зарядный конденсатор формирует «пилу» с наклоном $158/0,01$ с в каждом «рабочем» полупериоде, однако момент сравнения на входах ОУ меняется в зависимости от напряжения управления. Это напряжение существует всегда на зарядном конденсаторе и мгновенно заряжает его в момент запирающего транзистора, то есть в начале рабочего полупериода. Так как наклон «пилы» не меняется, то сравнение с пороговым напряжением происходит в разные моменты внутри рабочего полупериода, формируя угол управления α в соответствии с напряжением управления, реализуя, таким образом, прямую логику управления

– чем больше U_y , тем больше среднее значение выпрямленного напряжения U_d на нагрузке ТП.

При разработке схемы приняты меры по оптимизации работы усилителя мощности, формирующего через импульсный трансформатор отпирающий импульс на управляющем электроде тиристора.

Во время нерабочего полупериода накопительный конденсатор C_2 заряжается через ограничительный резистор $R_{зар.}$, диод VD и первичную обмотку импульсного трансформатора. При этом сердечник намагничивается до насыщения, а по окончании тока заряда – остается в состоянии остаточного намагничивания, готовый в момент отпирания силового транзистора VT_3 перемагничивается, следовательно, перемагнитится с максимальным размахом индукции, что позволит уменьшить размеры импульсного трансформатора.

Расчет параметров импульсного трансформатора может быть упрощен, предполагая, что в процессе заряда цепь первичной обмотки совместно с зарядным конденсатором представляют обычную резонансную цепь. Этому способствует отсутствие реакции вторичной цепи благодаря наличию диода в нагрузке и, следовательно, отсутствие размагничивающего действия вторичной обмотки.

Задавшись полным временем заряда накопительного конденсатора и его емкостью, легко определить нужную индуктивность и амплитуду зарядного тока. Эти расчеты здесь не приводятся, а приводятся их результаты: импульсный трансформатор выполнен на стандартном кольцевом магнитопроводе ОЛ20/25-5 из пермоллоя марки 79НМА; число витков первичной обмотки $W_1 = 360$ вит., вторичной обмотки $W_2 = 60$ вит; емкость C_2 была выбрана равной 1 мкФ; эквивалентная резонансная частота принята равной 400 Гц; тиристор «силовой» части в установке — Т10-25.

В конструкции стендовой установки предусмотрены контрольные точки позволяющие наблюдать с помощью осциллографа все наиболее важные для понимания работы СИФУ процессы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русин Ю.С., Гликман И.Я. Электромагниты элементы радиоэлектронной аппаратуры.-М.: Радио и связь, 1991 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУПЕРВИЗОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ПУЛЬПЫ ВО ФЛОТАЦИОННОЙ МАШИНЕ

Котегова Е. В., Матвеев В. В.

Научный руководитель Матвеев В. В., к-т техн. наук, доцент
Уральский Государственный Горный Университет

Одним из основных процессов обогащения руд цветных металлом является флотация. При управлении этим процессом широко применяются статистические модели на основе теории вероятностей. В ряде случаев данные не позволяют добиться эффективного управления при изменении характеристик объекта [1, 2]. Одним из направлений решения этой проблемы является разработка методов адаптации алгоритмов управления. Цель работы заключается в разработке нечеткой адаптации дискретно-непрерывной системы управления уровнем пульпы H_{II} посредством регулирования объемного расхода $Q_{\text{вых}}$ на выходе флотомашины; определении и сравнении прямых показателей качества управления при задающем, возмущающем воздействиях и 20% изменении параметров объекта управления.

Объектом является флотационная машина по каналу управления « $Q_{\text{вых}} - H_{II}$ », представленная в виде передаточной функции типового звена в соответствии с данными учебного пособия [3] и технологической схемы:

$$W_o(p) = k_o \cdot e^{-\tau_o p} / T_o p + 1 = 0,0009 \cdot e^{-58p} / 437 p + 1.$$

Регулирование расхода пульпы на выходе флотомашины осуществляется с помощью безынерционного исполнительного устройства с коэффициентом передачи $k_{ИУ}=0,83$. Возмущающим воздействием является объемный расход пульпы во флотационную камеру $Q_{\text{вх}} = 107 \text{ м}^3/\text{ч}$. Сигналом управления служит уровень пульпы во флотокамере $H^3_{II} = 0,1 \text{ м}$.

Расчет дискретного ПИ-регулятора был проведен в системе MATLAB на основе спроектированного непрерывного регулятора для данного объекта управления:

$$W_p(z) = K_{II} \cdot (1 + K_{II}/(z-1)) = 2650 \cdot (1 + 0,0017/(z-1)).$$

На основе дискретно-непрерывной системы регулирования была сформирована модель системы супервизорного управления на основе решений, приведенных в монографии [4]. Схема системы приведена на рисунке 1, а.

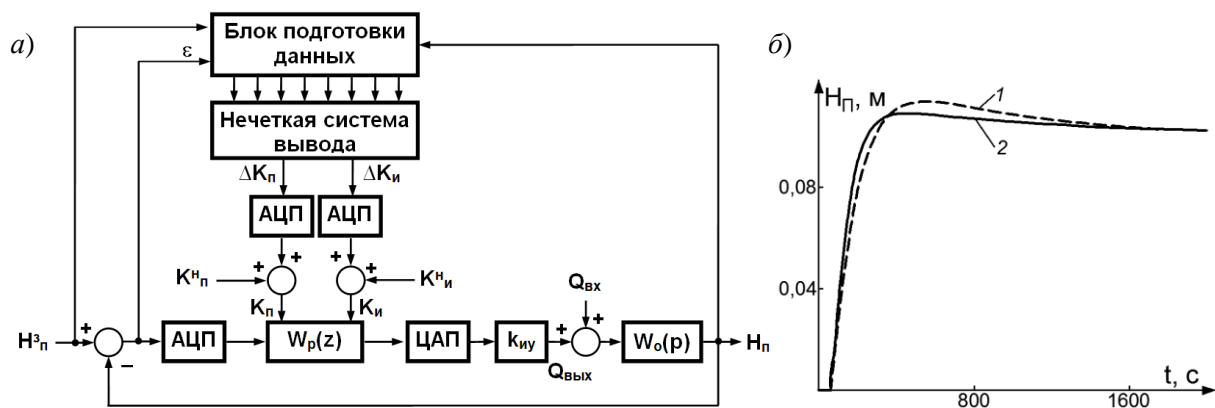


Рисунок 1 –Схема супервизорной системы (а); переходные процессы (б): 1– дискретно – непрерывная система; 2 – супервизорная система

Супервизорная часть состоит из блока подготовки данных и нечеткой системы вывода. Блок подготовки осуществляет дифференцирование сигналов ошибки ε и показателя $z = H_{II}/H^3_{II}$. Нечеткая система вывода состоит из двух частей. Одна часть выводит ΔK_{II} по величинам $\varepsilon(t)$, $d\varepsilon/dt$, $z(t)$ и dz/dt . Другая часть вычисляет ΔK_I по подготовленным данным $\varepsilon(t)$, $d^2\varepsilon/dt^2$, $z(t)$ и d^2z/dt^2 . В связи с тем, что параметры объекта управления в ходе исследования

будут изменены на 20 %, были определены начальные коэффициенты дискретного ПИ-регулятора супервизорной нечеткой системы управления: $K_{II}^H = 1,35 \cdot K_{II}$, $K_{II}^H = 0,65 \cdot K_{II}$.

Графики переходных процессов при значениях параметров $k_0 = 0,0009$, $T_0 = 437$ с, $\tau_0 \approx 58$ с представлены на рисунке 1, б. Некоторые результаты экспериментов приведены в таблице 1, где в числителе находятся значения для дискретно-непрерывной системы управления, а в знаменателе – для супервизорной.

Таблица 1 – Показатели качества переходных процессов

Передаточный коэффициент объекта управления	Постоянная времени объекта управления, с	Перерегулирование, %	Время нарастания, с	Время достижения первого максимума, с	Время переходного процесса, с	Квадратичная интегральная оценка, м ² ·с
0,8·k ₀	0,8·T ₀	6,4	340	590	887	1,172
		2,5	320	540	320	1,035
0,8·k ₀	T ₀	8,4	408	728	1275	1,343
		4	418	724	418	1,175
k ₀	0,8·T ₀	12,4	323,5	418	1155	1,096
		9,9	187	275	810	0,968
k₀	T₀	13,5	289,5	550	1370	1,239
		8,8	249	455	1116	1,071
k ₀	1,2·T ₀	15	341	660	1553	1,387
		9,6	314	592	1367	1,188
0,8·k ₀	1,2·T ₀	10,1	465	845	1567	1,518
		5,4	486	850	1039	1,317

Сравнительный анализ показателей качества переходных процессов показал, что супервизорная система компенсирует изменения параметров объекта управления приращением коэффициентов дискретного регулятора. Улучшение качества управления, в основном, проявляется в виде уменьшения перерегулирования (61 %), времени нарастания (42 %), времени достижения первого максимума (34 %), длительности переходного процесса (67 %) и интегральной квадратичной ошибки (15 %) относительно показателей дискретно-непрерывной системы управления.

При этом следует, что существенное влияние на показатели качества переходного процесса оказывает не только база правил, форма и расположение функций принадлежности, но и шаг приращений коэффициентов ПИ-регулятора при постоянных значениях других параметров нечеткой системы вывода. Это обстоятельство обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокер Л.В. «Разработка эффективных методов исследования и автоматизированного управления флотационными комплексами в цветной металлургии»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Владикавказ, 2004. 56 с.
2. Ягудин Р.А., Ягудина Ю.Р., Зимин А.В., Немчинова Л.А., «Совершенствование технологии флотации руд на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК»». Горный журнал 2008. Специальный выпуск, – 31-35 с.
3. Прокофьев Е.В. «Автоматизация технологических процессов и производств»: учебное пособие. – Изд-во УГГУ, 2013. 356 с.
4. Усков А. А., Киселев Е. В. «Теория нечетких супервизорных систем управления»: Монография. – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2013. – 161 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУПЕРВИЗОРНОЙ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГАЗИФИЦИРОВАННОЙ КАМЕРЕ КОМПЛЕКСА СУШКИ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Мусихина М. В., Матвеев В. В.

Уральский государственный горный университет

Сушка медного концентрата является заключительным химическим технологическим процессом обогащения. Этот процесс осуществляется сушильной установкой [1]. В установке сушильный агент образуется от сгорания топлива в топке, при подаче первичного воздуха и смешения топочных газов $Q_{ТГ}$ с подаваемым в смесительную камеру вторичным воздухом с температурой $T_{В2}$. Топочные газы с температурой $T_{ТГ}$ охлаждаются вторичным воздухом. Основным параметром сушильного агента является температура $T_{СА}$.

Целью работы является разработка супервизорной системы стабилизации температуры $T_{СА}$ в смесительной камере топки комплекса сушки изменением расхода топлива (газа), определение и сравнение прямых показателей переходного процесса при задающем, возмущающем воздействиях и 20%-ом изменении параметров объекта управления.

Объект управления по каналу " $Q_{ТГ} - T_{ТГ}$ " описан в виде типового звена [2]:

$$W_o(p) = \frac{k_o}{T_o p + 1} \cdot e^{-\tau p} = \frac{2212}{15p + 1} \cdot e^{-10p}.$$

Исполнительное устройство расхода топлива является безынерционным звеном с коэффициентом передачи $k_{ИУ}$. Возмущающим воздействием будет температура вторичного воздуха $T_{СА} = 300^0 C$, а задающим – ступенчатое задание температуры сушильного агента $T_{СА}^3 = 750^0 C$. По данным [2] был выполнен расчет параметров непрерывного ПИ – регулятора:

$$W_p(p) = K_p + \frac{K_{И}}{p} = 0.18 + \frac{0.006}{p}.$$

В системе MATLAB была создана модель супервизорной системы стабилизации температуры сушильного агента в смесительной камере топки [3]. Упрощенная схема приведена на рисунке 1.

Супервизорная часть состоит из блока подготовки данных и нечеткой системы вывода. Блок подготовки данных осуществляет дифференцирование сигналов ошибки ε и показателя $z = \frac{T_{СА}}{T_{СА}^3}$. Нечеткая система вывода состоит из двух частей. Одна часть определяет $\Delta K_{П}$ по величинам $\varepsilon(t), \frac{d\varepsilon}{dt}, z(t), \frac{dz}{dt}$. Другая часть формирует $\Delta K_{И}$ по подготовленным данным $\varepsilon(t), \frac{d^2\varepsilon}{dt^2}, z(t), \frac{d^2z}{dt^2}$.

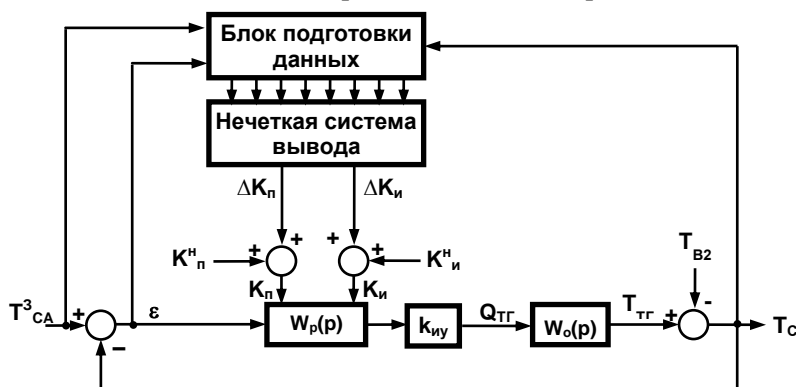


Рисунок 1 – Упрощенная схема супервизорной системы

В связи с тем, что параметры объекта управления в ходе исследования будут изменены на 20%, были определены начальные коэффициенты ПИ-регулятора супервизорной нечеткой системы управления: $K_{П}^H = 0.8 \cdot K_{П}$, $K_{И}^H = 1.2 \cdot K_{И}$. Графики переходных процессов при значениях параметров $k_o = 2212, T_o = 15 c, \tau_o = 10 c$ представлены на рисунке 2.

Результаты экспериментов приведены в таблице 1 при $\delta_n=1\%$. В числителе приведены значения для непрерывной системы управления в знаменатели значения по супервизорной системе.

Сравнительный анализ показателей качества переходных процессов показал, что супервизорная система управления компенсирует изменения параметров объекта управления приращением коэффициентов непрерывного регулятора.

Улучшения качества управления в основном проявляется в виде уменьшения перерегулирования (48%) и время переходного процесса (64%), относительно показателей непрерывной системы управления. Преимуществом разработанного нечеткого регулятора является поддержание показателей качества в оптимальных пределах при изменении типа переходного процесса от колебательного до апериодического и монотонного.

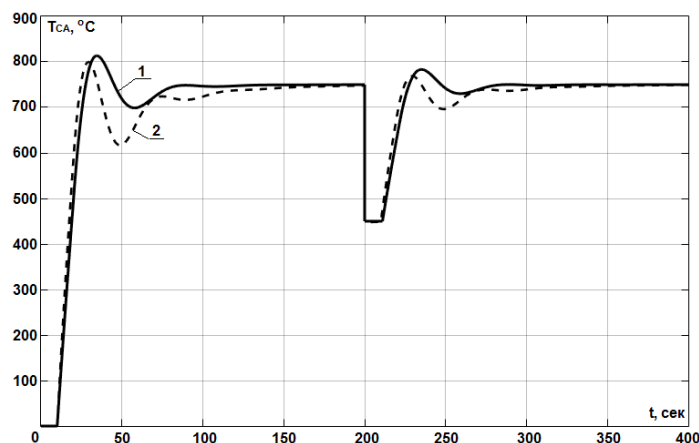


Рисунок 2 – Графики переходных процессов
1– супервизорная система, 2 – непрерывная система

Таблица 1 – Показатели качества переходных процессов

Передаточный коэффициент объекта управления	Постоянная времени объекта управления, с	Перерегулирование, %	Время первого максимума, с	Время переходного процесса, с	Период колебаний, с	Коэффициент затухания
$0.8 \cdot k_0$	T_0	0	-	185	-	-
		0	-	110	-	-
k_0	T_0	25	29	160	-	-
		12	34,2	80	-	-
$1.2 \cdot k_0$	T_0	30,9	27	142	40,5	0,9
		30,5	30,6	116	48,6	0,9
k_0	$0.8 \cdot T_0$	18	26,1	160	-	-
		15,7	31,5	110	-	-
k_0	$1.2 \cdot T_0$	17,3	31,5	150	-	-
		10,6	40	85	-	-
$0.8 \cdot k_0$	$0.8 \cdot T_0$	0	-	190	-	-
		0	-	122	-	-
$1,2 \cdot k_0$	$1,2 \cdot T_0$	22,6	28,8	120	-	-
		26,2	35,1	90	36	0,94

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /Под ред. Ю. И. Дытнерского.–М.: Химия, 1983.–272 с.
2. Прокофьев Е.В. «Автоматизация технологических процессов и производств»: учебное пособие. – Изд-во УГГУ, 2013 - 356 с.
3. Усков А. А., Киселев Е. В. «Теория нечетких супервизорных систем управления»: Монография. Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2013–161 с.