

В.Н. Суриков, Н.П.Серебряков, В.Б.Попов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

**Учебно-методическое пособие
по выпускной квалификационной работе
бакалавра**

**Санкт-Петербург
2017**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

В.Н.Суриков, Н.П.Серебряков, В.Б.Попов

Автоматизация технологических процессов и производств

**Учебно-методическое пособие
по выпускной квалификационной
работе бакалавра**

**Санкт-Петербург
2017**

УДК 676.05(075)

ББК 32.965я7

С239

Суриков В.Н., Серебряков Н.П., Попов В.Б.

Автоматизация технологических процессов и производств: учебно-методическое пособие по выпускной квалификационной работе бакалавра/ВШТЭ СПб ГУПТД.-СПб., 2017 - 106 с.

В настоящем учебно-методическом пособии изложены цели, содержание и правила оформления выпускных квалификационных работ бакалавров по автоматизации технологических процессов и производств.

Подробно рассмотрены основные разделы выпускных квалификационных работ, а также вопросы содержания и организации преддипломных практик.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», профиль подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств в ЦБП».

Рецензенты:

Зав. кафедрой автоматизации процессов химической промышленности СПб ГТИ (Технического университета) д-р техн. наук, профессор Русинов Л.А.;

зав.кафедрой автоматизированного электропривода и электротехники Высшей школы технологии и энергетики СПб ГУПТД канд. техн. наук, доцент Хардинов Е.В.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД в качестве учебно-методического пособия.

Редактор и корректор Т.А. Смирнова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2017., поз. 70

Подп. к печати 01.12.16. Формат 60х84/16. Бумага тип. № 1.

Печать офсетная. Печ.л. 6, 75. Уч.-изд. л. 6, 75. Тираж 100 экз.

Изд. №70. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

©Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, 2017

©Суриков В.Н., Серебряков Н.П., Попов В.Б., 2017

ВВЕДЕНИЕ

Завершающим этапом обучения бакалавров является государственная итоговая аттестация (ГИА).

В блок «Государственная итоговая аттестация» входят сдача государственного экзамена и защита выпускной квалификационной работы (ВКР).

Темы выпускных квалификационных работ определяются высшим учебным заведением в соответствии с потребностями рынка и народного хозяйства. Студенту может предоставляться право выбора темы выпускной квалификационной работы в порядке, установленном вузом, вплоть до предложения своей тематики с необходимым обоснованием целесообразности её разработки. Для подготовки выпускной квалификационной работы студенту назначается руководитель и, при необходимости, консультанты.

Целью ВКР является разработка системы управления, обеспечивающей требуемые технико-экономические показатели технологического процесса и производства. В выпускной квалификационной работе должны быть представлены необходимые разделы, связанные с разработкой системы автоматического управления или подсистемы АСУ технологическим процессом и производством.

Выпускная квалификационная работа бакалавра должна продемонстрировать умение соискателей анализировать актуальные научно-технические проблемы и решать конкретные задачи на базе изученных дисциплин.

Учебные дисциплины определены действующим Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планам ВШТЭ СПб ГТУПТД для бакалавриата по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Настоящее учебно-методическое пособие определяет содержание и правила оформления выпускной квалификационной работы.

1. ТЕМАТИКА ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ (ВКР)

Основные направления бакалаврских работ связаны со следующими видами профессиональной деятельности:

- проектно-конструкторская;
- производственно-технологическая;
- организационно-управленческая;
- научно-исследовательская;
- эксплуатационная.

Примерная тематика ВКР:

- Автоматизация процесса подготовки черного щелока к сжиганию в топке СРК.
- Автоматизация процесса сушки бумаги на БДМ.
- Автоматизация процесса генерации пара в паровом котле.
- Автоматизация процесса регенерации черного щелока в топке СРК.
- Автоматизация пароводяного тракта энергетического котла.
- Автоматизация газо-воздушного тракта энергетического котла.
- Автоматизация водогрейного котла.
- Математическое моделирование технологических процессов как объектов управления.
- Разработка алгоритмического обеспечения систем управления технологическими процессами и производствами.
- Разработка информационного обеспечения систем управления технологическими процессами и производствами.
- Разработка программного обеспечения систем управления технологическими процессами и производствами.
- Повышение эффективности систем управления технологическими процессами и производствами.
- Применение Smart технологий в управлении технологическими процессами и производствами.
- Исследование перспективных направлений развития средств и систем управления технологическими процессами и производствами.
- Разработка новых и модернизация существующих лабораторных стендов кафедры.
- Научно-технические обзоры по современным направлениям развития систем управления технологическими процессами и производствами.

Тема ВКР выдается перед преддипломной практикой. Одновременно назначается руководитель ВКР, который выдает задание на ВКР. Тема ВКР утверждается приказом по ВШТЭ.

2. СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ (ВКР)

В настоящем учебно-методическом пособии рассматриваются основные разделы типовой ВКР, посвященной разработке АСУТП.

По согласованию с заведующим кафедрой АТП и П структура ВКР может быть изменена с учетом задания на ВКР.

Пояснительная записка ВКР имеет следующую структуру:

1. Титульный лист (Приложение 1)
2. Задание на ВКР (Приложение 2)
3. Реферат
4. Содержание
5. Введение
6. Основная часть (в тексте не выделяется, содержание см. ниже);
7. Заключение
8. Список использованных источников
9. Приложения

Основная часть типовой ВКР бакалавра включает в себя следующие разделы:

1. Описание и анализ объекта автоматизации.
 - 1.1. Техническая характеристика объекта автоматизации.
 - 1.2. Описание технологического процесса и основного оборудования.
 - 1.3. Анализ технологического процесса как объекта автоматизации.
2. Разработка САУ параметром.
 - 2.1. Обоснование требований к САУ.
 - 2.2. Выбор способа управления параметром.
 - 2.3. Выбор средств автоматизации и управления.
3. Расчет и анализ САУ параметром.
 - 3.1. Математическое описание объекта управления.
 - 3.2. Расчет САУ.
- 3.3. Моделирование САУ параметром и анализ качества управления.
4. Проектирование.
 - 4.1. Разработка функциональной схемы автоматизации технологического процесса.
 - 4.2. Разработка функциональных схем САУ параметров технологического процесса.
 - 4.3. Разработка АСУ технологического процесса.

Ниже приведено содержание основных разделов ВКР

2.1. Описание и анализ объекта автоматизации

2.1.1. Техническая характеристика объекта автоматизации

Объекты автоматизации могут быть технологическими, энергетическими, энерготехнологическими и др.

В этом подразделе необходимо указать техническое название объекта автоматизации и его назначение, основные технические параметры объекта, характеристики сырья, топлива, основного продукта и его назначение, сертификат на готовую продукцию.

Например, для ВКР по теме "Автоматизация парового котла БКЗ-75-3, 9ГМА с разработкой САУ разрежением в верхней части топки на базе ПТК", этот подраздел может быть представлен следующим образом.

Паровой котел БКЗ-75-3, 9 ГМА с естественной циркуляцией предназначен для производства перегретого пара (рис.1).

Основные параметры котла следующие:

паропроизводительность, т/ч–75;
давление в барабане котла, МПа –4, 3;
давление перегретого пара, МПа– 3, 9;
температура перегретого пара, °С –
440; температура питательной воды,
°С–104;

температура газов на выходе из топки, °С–1200 (при работе котла на природном газе), °С–1170 (при работе котла на мазуте);

температура уходящих газов, °С–136 (при работе котла на природном газе), °С –186 (при работе котла на мазуте).

Объемы котла:

объем топочной камеры 400,3м³,
водяной объем котла- 23, 7м³,
паровой объем котла- 11, 2м³,
КПД котла (брут) - 94, 071 %.

Характеристики пара, воды, топлива и дымовых газов

Перегретый пар от котла:

давление, МПа – 3,9±0,1;
температура, °С – 440±10;
соединения натрия, мкг/кг–100;
кремниевая кислота, мкг/кг–
≤25; рН–≥7, 5.

Паровой котел БКЗ-75-3, 9ГМА

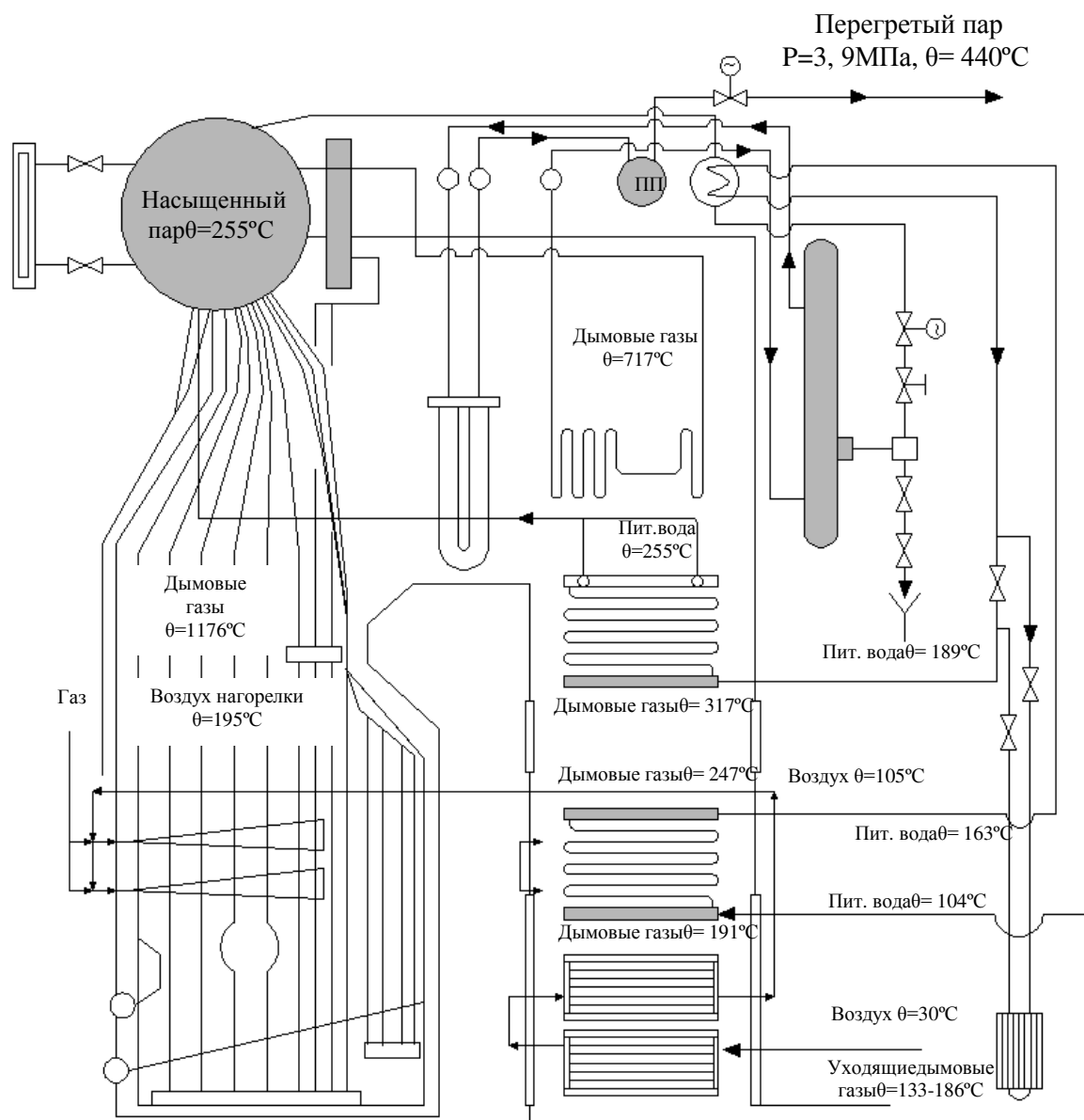


Рис 1. Конструктивная схема парового котла БКЗ-75-3, 9 ГМА

Питательная вода к котлу: жёсткость

общая, мкг экв/кг ≤ 50 ; кислород

растворённый, мкг/кг ≤ 20 ; pH— 8, 5÷

9, 5;

аммиак, мкг/кг ≤ 20 ;

гидразин, мкг/кг— 20÷ 60;

трилон Б, мкг/кг— 0, 5÷1, 0;

железо (Fe^{+3}), мкг/кг – ≤ 100 ;

медь (Cu^{+2}), мкг/кг – ≤ 10 .

Показатели пара и питательной воды соответствуют ГОСТ20995-75 для паровых котлов с естественной циркуляцией.

Рабочее топливо (природный газ):

метан, % - 98;

этан, % - 0,10;

азот, % - 1,60;

углекислород, % - 0,30;

влажность, г/м³ – 10;

низшая теплота сгорания, ккал/м³ – 8400.

Резервное топливо (мазут М - 100):

углерод, %- 83, 4;

водород, % - 10;

сера, % - 2, 9;

кислород, %- 0, 4;

зольность, %- 0, 3;

влажность, %- 3;

низшая теплота сгорания, ккал/м³ – 8510.

Дымовые газы за котлом при работе на газе:

RO_2 , %- 8-10;

O_2 , %- 1-5;

Коэффициент избытка воздуха, % - 1, 1 ÷ 1, 4;

CO_2 , мкг/кг – ≤ 7000 ;

NO_x , мкг/кг – ≤ 150 .

Дымовые газы за котлом при работе на мазуте:

RO_2 , %- 8-10;

O_2 , %- 3-6;

Коэффициент избытка воздуха, % - 1, 1 ÷ 1, 4;

CO_2 , мкг/кг – ≤ 8000 ;

NO_x , мкг/кг – ≤ 200 ;

твёрдые частицы, мкг/кг – ≤ 3000 .

Перегретый пар используется для паровых турбин для производства электроэнергии, а отборы пара турбин используются для основного производства ОАО “Светогорск” после прохождения через редуционно-охладительные установки (РОУ).

Часть пара отбирается на собственные нужды ТЭЦ: деаэраторы, химводоочистка, мазуто-насосная станция и др.

2.1.2. Описание технологического процесса и основного оборудования

В этом подразделе необходимо представить схему технологического процесса и его описание, технологический регламент, режимную карту, технические условия, а также основные технико-экономические показатели.

Технологический процесс парового котла

Горение топлива происходит в вертикальной топочной камере (рис. 2), образованной экранными трубами 18. В обогреваемых газами трубах, находящихся в топке и конвективной шахте, образуется насыщенный водяной пар. Пароводяная смесь поступает в верхние коллекторы, а из них в барабан-паросборник и выносные сепараторы-циклоны. В барабане 1 и циклонах происходит отделение пара от воды.

По не обогреваемым опускным трубам 17 и стоякам котловая вода поступает в нижние коллекторы экранов 14.

После барабана и циклонов пар направляется в пароперегреватель 4, где он перегревается горячими дымовыми газами, а затем идёт к потребителям. Питание котла водой производится через экономайзер 5, 7, в котором вода предварительно подогревается.

Горячий воздух, необходимый для горения, подаётся в топку через горелки из воздухоподогревателя 6, 8. Движение дымовых газов по трактам котла осуществляется за счёт работы дымососа 11. Подача воздуха производится высоконапорным вентилятором 13.

Питательная вода направляется в двухступенчатый водяной экономайзер. Из первой ступени питательная вода подаётся в конденсатор, затем во вторую ступень экономайзера и далее в барабан. Насыщенный пар из барабана поступает в пароперегреватель и далее к потребителю через главную паровую задвижку.

Технологический регламент и основные технико-экономические показатели

Паропроизводительность, т/ч—75.

Расход питательной воды, т/ч—78, 75.

Давление питательной воды, МПа —8, 0.

Температура воздуха за второй ступенью воздухоподогревателя, °С —200.

Разрежение в топке—20 Па.

Температура пара, °С:

до пароохладителя—360;

после пароохладителя—344;

после второй ступени пароперегревателя—440.
 Давление пара, МПа:
 в барабане- 4, 4;
 на выходе пароперегревателя— 4, 0. Температура питательной воды, °С:
 до экономайзера –145;
 после первой ступени экономайзера –172;
 после второй ступени экономайзера –270.
 Температура газов, °С:
 на выходе из топки –1127;
 перед пароперегревателем—1080;
 за пароперегревателем—720;
 за второй ступенью экономайзера—368;
 за первой ступенью экономайзера—238;
 за второй ступенью воздухоподогревателя—310;
 уходящих-175.
 Доля кипения воды в экономайзере, % - 7, 3. Коэффициент избытка воздуха:
 В топке - 1, 15;
 за пароперегревателем—1, 20;
 за второй ступенью воздухоподогревателя— 1, 27;
 за котлом – 1, 39.
 Присосы воздуха в топочную камеру, %- 5.
 Присосы воздуха в газовый тракт (суммарные), % - 19. Расчётный расход топлива, кг/ч—5710.

Таблица 1. Режимная карта парового котла при работе на мазуте

Параметр	Тепловая нагрузка, %		
	60	80	100
Паропроизводительность, т/ч	45	60	75
Давление перегретого пара, МПа	3,7	3,0	3,0
Температура перегретого пара, °С	440	440	440
Температура питательной воды, °С	104	104	104
Количество работающих форсунок	4	5	6
Диаметр сопла, мм	4,2	4,2	4,0
Давление мазута перед форсунками, МПа	2,1	2,1	2,0
Расход мазута, т/ч	3,4	4,0	5,0
Температура мазута, °С	120	120	120

Окончание табл.1.

Параметр	Тепловая нагрузка, %		
	60	80	100
Температура воздуха, °С			
- за калорифером	100	95	90
- за воздухоподогревателем	170	180	190
Давление воздуха в общем коробе перед горелками, кПа	1, 27	1, 28	1, 14
Сопротивление воздухоподогревателя, кПа			
Концентрация кислорода за пароперег., % Разрежение в верху топки, Па	0, 2	0, 3	0, 41
Разрежение за воздухопроводом, Па	6, 5	5, 2	4, 0
Температура газов, °С	40	40	40
-в поворотном камере	700	1000	1200
-уходящих			
Ток нагрузки привода, А	490	510	540
-вентилятора	175	180	185
-дымососа			
Степень открытия направляющего аппарата, %	15	16	16
-вентилятора	20	22	23
-дымососа			
	0	10	15
	30	46	88

Описание основного оборудования

При описании основного оборудования должны быть представлены сведения о его назначении, конструктивных особенностях, технических характеристиках и параметрах, а также принципиальные или конструктивные схемы.

Котельный агрегат (рис.2) – однобарабанный, имеет П–образную компоновку трёх частей с обмуровкой 19 : топочной камеры, переходного газохода и опускной конвективной шахты.

Топочная камера 16 – является восходящим ходом газов. В горизонтальном газоходе расположен пароперегреватель 4 с коллекторами 3. В конвективной шахте размещаются двухступенчатый водяной экономайзер 5, 7 и воздухоподогреватель 6, 8.

Топочная камера имеет форму призмы. Диаметр труб, которыми экранированы стены топочной камеры - 60×3 мм. Шаг труб 100 - 150 мм. Высота топки – 9, 36 м, площадь сечения 30, 3 м², объём – 284 м³.

Экраны 18 с коллекторами 14 разделены на восемь самостоятельных циркуляционных контуров, два из них образуют вторую степень испарения.

В верхней части топочной камеры трубы заднего экрана образуют три ряда **фестона** с продольным шагом 200 мм, поперечным 300 мм. Поверхность фестона – 50, 9 м², сечение для прохода газов – 17, 6 м².

Котёл имеет **барабан** 1 с внутренним диаметром 1500 мм. Длина цилиндрической части 8200 мм. Толщина стенки барабана 40 мм.

Первая ступень испарения находится в барабане, вторая ступень имеет выносные сепарационные циклоны, изготовленные из труб диаметром 377 мм.

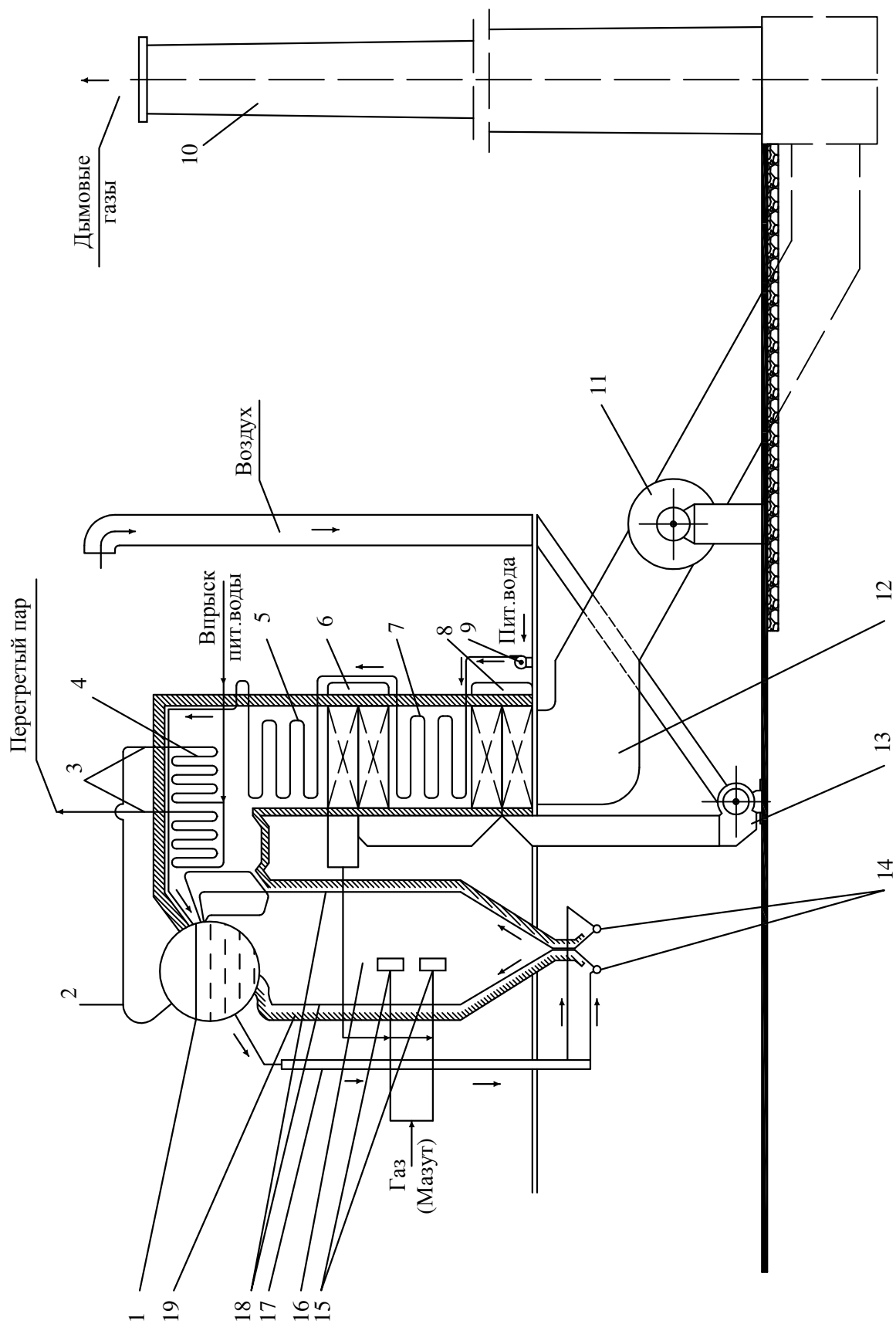


Рис.2. Технологическая схема парового котла БКЗ-75-3, 9ГМА

Внутри барабанное устройство состоит из раздающих пароводяную смесь коробов, двадцати внутри барабанных циклонов диаметром 290мм, жалюзийных сепараторов и перфорированного листа.

Для ввода и раздачи трилона Б в барабане расположена перфорированная труба.

На котле установлен конвективный **пароперегреватель** вертикального типа.

Из барабана пар отводится 65 трубами 2 диаметром 38×3 мм, которые закрывают потолок топки и горизонтальный газоход. Потолочные трубы непосредственно переходят в змеевики первой ступени пароперегревателя (второй по ходу газов). Движение пара в ступени противоточное.

Из первой ступени пар поступает в пароохладитель впрыскивающего типа. Корпус пароохладителя выполнен из трубы диаметром 325×19 мм. Пар поступает в верхнюю часть корпуса пароохладителя 65 трубами и далее во вторую ступень пароперегревателя. Движение пара в ступени прямоточное. Вторая ступень выполнена из 65 пакетов змеевиков из труб диаметром

42×3 мм. Перегретый пар собирается в коллекторе диаметром 273×20 мм и далее по 8 трубам диаметром 89×4,5 мм отводится в паросборный коллектор диаметром 219×16 мм. Далее пар поступает через задвижку $D_y=200$ в главный паропровод.

На котле установлен **водяной экономайзер** кипящего типа, гладкотрубный, состоящий из двух ступеней. Диаметр труб 32×3 мм.

Движение воды в экономайзере противоточное.

Питательная вода питательными насосами 9 поступает во входной коллектор диаметром 219×9 мм, проходит по 49 змеевикам первой ступени и собирается в выходном коллекторе диаметром 219×9 мм.

Затем через 6 труб диаметром 60×3 мм вода переходит во входной коллектор диаметром 219×9 мм второй ступени экономайзера.

Выход питательной воды в обе стороны котла в два выходных коллектора диаметром 219×9 мм. Из каждого коллектора вода отводится двумя трубами диаметром 108×4, 5 мм. В барабан вода поступает по 8 трубам диаметром 60×3 мм.

Трубчатый воздухоперегреватель

Установлен в конвективной шахте в «рассечку» с водяным экономайзером и состоит из шести кубов, размещённых в два яруса.

Кубы выполнены из труб диаметром 40×1, 6 мм, расположенных в шахматном порядке с шагами 60 и 42 мм.

Воздухоподогреватель одноходовой по газам и трёхходовой по воздуху.

Газомазутная унифицированная горелка 15 ГМУ – 10.

Предназначена для раздельного сжигания топочного мазута и природного

газа. Допускается кратковременное сжигание этих топлив при переходе с одного вида топлива на другой.

В качестве запально-защитного устройства используется ЗСУ-П.

Номинальная тепловая мощность— $10^{-1,0}_{-0,5}$ МВт.

Номинальное давление газа перед горелкой- 25000-5000 Па.

Номинальное давление мазута перед горелкой—2-0, 4 МПа.

Давление распыливающего пара перед горелкой-0, 4 Мпа.

Удельный расход распыливающего пара— $\leq 0,03$ кг/кг.

Минимальный коэффициент избытка воздуха при номинальной мощности горелки:

-при сжигании мазута— 1, 1;

-при сжигании газа— 1, 05.

Содержание окиси углерода в продуктах сгорания на выходе из котла — $\leq 0,1$ %

Длина факела ≤ 6 м.

Всего на котле—6горелок.

Тягодутьевая установка

На котле БКЗ две тягодутьевые установки: дымосос 11, предназначенный для отсоса из котла дымовых (уходящих через дымовую трубу 10) газов и вентилятор 13, предназначенный для подачи воздуха на горелки с определенным давлением.

Регулирование производительности установки осуществляется осевым направляющим аппаратом, состоящим из корпуса, восьми листовых лопаток и поворотного кольца, обкатывающегося по рельсу.

Одновременный поворот лопаток обеспечивается кинематической связью поворотного кольца с осями лопаток посредством планок.

Дутьевой вентилятор котлоагрегата:

тип - ВДН—20 ПУ; производительность $126000 \text{ м}^3/\text{ч}$;

напор— 253 кгс/м^2 (при $\theta=200^\circ\text{C}$);

числооборотов-740 об/мин;

электродвигатель - АЗ-12-35-6;

мощность — 250 кВт.

Дымосос котлоагрегата:

тип Д - 18×2;

производительность— $195000 \text{ м}^3/\text{ч}$;

напор— 332 кгс/м^2 (при $\theta=200^\circ\text{C}$);

число оборотов-740 об/мин ;

электродвигатель — ДАЗ0-12-55-8;

мощность–250 кВт,
всасывающий патрубок–2, 04×0, 83 м;
нагнетательный патрубок–1, 33×1, 05 м.

В работе необходимо представить схему и принцип действия оборудования.

Так, например, если объектом автоматизации является паровой котёл, необходимо дать описание работы котельного агрегата и его элементов (топочная камера, барабан, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель, горелка, дымосос, вентилятор и др.).

2.1.3. Анализ технологического процесса как объекта автоматизации

В этом подразделе весь технологический процесс следует разбить на ряд участков и рассмотреть их свойства с точки зрения управления, представить перечень систем автоматического управления (САУ) технологическим процессом и показать влияние технологических режимов на работу САУ.

Здесь также следует представить таблицу необходимых контролируемых технологических параметров и показателей продукции, указать диапазоны изменения и измерения параметров, способы измерения (автоматический или лабораторный), точность и периодичность (при лабораторном способе) измерения, указать, где и как используется полученная информация.

В этом подразделе необходимо показать возможности существующих САУ для обеспечения контроля и стабилизации технологических режимов объекта. Большинство тепловых объектов, в том числе и на электрических станциях, представляет собой сложные динамические системы с распределёнными параметрами.

Один из методов упрощения таких сложных объектов состоит в представлении его в виде последовательного или параллельного соединения участков с сосредоточенными параметрами, характеризующихся единством конструкции или протекающими в них физическими процессами и сравнительной простотой математического описания.

Так, например, паровой котлоагрегат может быть разбит на два основных узла: газоздушный и пароводяной тракты.

Газовоздушный тракт включает в себя следующие участки: горения с подачей топлива, воздуха и отсоса дымовых газов.

Пароводяной тракт включает в себя участок парообразования и сепарации пара (барабан с подачей питательной воды, опускные и

подъёмные трубы), участок пароперегрева с пароохладителем и трубопроводом перегретого пара и участок водного режима (непрерывная продувка котловой воды).

Все подобъекты парового котла связаны между собой различными параметрами, как управляющими, так и возмущающими в зависимости от места их приложения.

Участок горения характеризуется расходами и давлениями топлива и воздуха, а также их соотношениями, влияющими на полноту сгорания топлива и на концентрацию кислорода в дымовых газах.

Участок отсоса характеризуется расходом дымовых газов, зависящими от расходов топлива и воздуха, влияющих на разрежение в верхней части топки. Разрежение в свою очередь влияет на факел газомазутных горелок и на процесс тепловыделения и восприятия тепловой энергии радиационными и конвективными поверхностями нагрева парогенератора.

Участок парообразования характеризуется расходом и давлением насыщенного пара за барабаном, его температурой и уровнем в барабане, зависящим и от расходов пара, питательной воды, топлива и котловой воды на непрерывную продувку.

Участок пароперегрева характеризуется температурой и давлением перегретого пара за второй ступенью пароперегревателя, зависящими от расходов топлива, перегретого пара и собственного конденсата на впрыск в пароохладитель (камеру впрыска).

Более подробно следует рассмотреть подобъект управления по разрежению в связи с указанной примерной темой дипломного проекта.

Этот объект представляет собой топочную камеру с включенными последовательно с нею газоходами от поворотной камеры до всасывающих патрубков дымососов.

Управляющим воздействием для разрежения является изменение расхода отсасываемых дымовых газов, определяемого производительностью дымососов. Возмущающими воздействиями здесь являются изменения расхода воздуха в зависимости от тепловой нагрузки котла, концентрации кислорода в дымовых газах и расхода атмосферного воздуха на присосах через не плотности обмуровки.

Этот объект практически не имеет запаздывания, обладает малой инерционностью и существенным самовыравниванием.

Особенностью этого объекта являются колебания разрежения с амплитудой 30 –50 Па и частотой до нескольких герц. Это связано с пульсацией расходов топлива и воздуха. Кроме того, при работе парогенератора в регулирующем режиме, могут происходить частые существенные изменения тепловой нагрузки и расхода воздуха, что соответственно вызывает изменение материального баланса между воздухом и уходящими дымовыми газами и разрежением.

Для предупреждения частого появления указанного материального газового небаланса при проектировании систем автоматизации целесообразно ввести в регулятор разрежения корректирующее воздействие от изменения задания регулятору расхода воздуха.

В качестве примера, приведем таблицу контролируемых параметров для газоздушного тракта парового котла.

Таблица 2. Необходимые контролируемые параметры

Параметр	Способ измерения	Дискретность измерения	Пределы изменения	Погрешность измерения, %	Измеряемая среда
Температура	Непрерывный автоматический	-	110-130 °С	0, 5	Мазутопровод к котлу
Температура	Непрерывный автоматический	-	90-100 °С	0, 5	Воздух за колорифером
Температура	Непрерывный автоматический	-	170-190 °С	0, 5	Воздух за воздухоподогревателем
Температура	Непрерывный автоматический	-	180-200 °С	1, 0	Дымовые газы после воздухоподогревателя
Температура	Непрерывный автоматический	-	300-330 °С	1, 0	Дымовые газы перед экономайзером 2-й ступени
Давление	Непрерывный автоматический	-	2, 1-2, 5 МПа	0, 5	Мазут к котлу
Давление	Непрерывный автоматический	-			
Перепад давления	Непрерывный автоматический	-	1, 1-1, 3 МПа	0, 5	Воздух за воздухоподогревателем
			0, 15-0, 45 МПа	0, 5	Воздух до и после воздухоподогревателя
Расход	Непрерывный автоматический	-		0, 5	Мазутопровод к котлу
Разрежение	Непрерывный автоматический	-	3-6, т/ч		Верхняя часть топки
Разрежение	Непрерывный автоматический	-	20-50 Па	0, 5	Дымовые газы перед дымососом
Концентрация	Непрерывный автоматический	-	600-1300 Па		

Окончание
табл.1.2.

Параметр	Способ измерения	Дискретность измерения	Пределы изменения	Погрешность измерения, %	Измеряемая среда
Концентрация кислорода	Непрерывный автоматический	-	3-7 %	0, 5	Дымовые газы за воздухоподогревателем
Ток нагрузки	Непрерывный автоматический	-	150-180 А	0, 5	Привод вентилятора
Ток нагрузки	Непрерывный автоматический	-	200-250 А	0, 5	Привод дымососа

Полученная информация, представленная в табл. 2, используется в системах управления параметрами газоздушного тракта для показания, регистрации и для сменных и суточных рапортов о работе парового котла.

2.2. Разработка САУ параметром

2.2.1. Обоснование требований к САУ

В этом подразделе необходимо проанализировать изменение регулируемого или управляемого параметра при работе существующей системы управления на предприятии и сделать заключение о соответствии САР или САУ параметрам, требованиям регламента технологического процесса и заданной точности управления.

В качестве исходных данных могут быть использованы тренды параметра, диаграммы, данные лабораторных анализов и сменных журналов и др.

Должны быть разработаны основные требования к качеству процесса управления параметром, к техническим средствам, информационному и метрологическому обеспечению, режимам работы системы управления и ее надежности.

При выборе критерия (критериев) качества процесса управления необходимо учитывать особенности технологического процесса и требования к качественным показателям продукции.

Выбор критерия или показателей качества процесса управления

Система управления, как правило, обеспечивает решение двух задач: управления по заданию и компенсации возмущающих воздействий. Требования к работе САУ задаются, исходя из экономических показателей, допустимых отклонений технологического режима, назначения системы управления и др.

Если рассматривается работа системы при изменении задания, тогда следует рассматривать в качестве критериев или показателей качества время переходного процесса и перерегулирование.

При оценке эффективности работы системы при компенсации возмущений показатель качества зависит от характера возмущающих воздействий.

При ступенчатом изменении возмущения, характерном при изменении нагрузки агрегатов, также используются: время переходного процесса, максимальное отклонение, перерегулирование.

Если возмущения носят случайный характер, то при формулировании требований к работе системы следует использовать статистические критерии, например, среднеквадратическое отклонение или дисперсию ошибки регулирования.

2.2.2. Выбор способа управления параметром

В этом подразделе в соответствии с темой ВКР необходимо выбрать известный или разработать новый способ управления технологическим параметром на основе информационного и патентного поиска.

Здесь необходимо рассмотреть возможные способы управления параметром, проанализировать их преимущества и недостатки и выбрать (или разработать) окончательно способ управления, который обеспечивал бы требования регламента технологического процесса и заданную точность управления параметром.

При выборе способа управления параметром необходимо учитывать влияние рассматриваемого параметра на технико-экономические показатели объекта (удельные расходы сырья, энергии, химикатов, пара, воды и др.) и качественные параметры готового продукта (требования регламента технологического процесса). Анализируя возможные способы управления параметром, следует рассматривать их преимущества и недостатки. Окончательный выбор способа управления основывается на удовлетворении разработанных требований к системе управления и возможным устранением хотя бы одного из имеющихся существенных недостатков существующей на предприятии САУ.

Для упрощения процедуры выбора способа управления необходимо рассмотреть структуру модели объекта управления в отношении регулируемого параметра. Оценить значимость влияния параметров технологического процесса на регулируемый параметр с целью выбора наиболее приемлемого канала управления с учетом ограничений со стороны используемого для процесса оборудования. Используя структуру модели объекта управления, оценивают влияние возмущающих воздействий на процесс регулирования параметра. Необходимость подавления основных возмущающих воздействий или выполнение условий инвариантности САУ к основному возмущению поможет облегчить выбор способа управления и структуру предлагаемой к разработке САУ.

Например, для управления влажностью бумаги или картона на БДМ или КДМ основным способом управления является каскадный, включающий стабилизирующий внутренний контур управления давлением пара, поступающего в ведущую группу сушильных цилиндров, и задающий (внешний) контур управления влажностью.

Для улучшения динамических свойств САУ и повышения точности управления влажностью, например, картона, рекомендуется вводить упреждающие корректирующие воздействия в контур управления по каналам возмущений, влияющим на влажность картона, например, изменение массы метра квадратного картонного полотна, которая регулируется изменением расхода картонной массы из напускного устройства на сеточный стол КДМ. Эти два параметра картонного полотна связаны между собой: влажность определяется отношением массы влаги в картонном полотне к массе метра квадратного этого же полотна и любое изменение одного из этих параметров приведет к соответствующему изменению другого.

Рассмотрим еще один пример выбора способа управления и системы автоматического регулирования для реализации выбранного способа. Так, в процессе подготовки черного щелока к сжиганию в топке содорегенерационного котла (СРК) с целью восстановления (регенерации)

свойств минеральных веществ, входящих в состав черного щелока, важную роль играет размер капель черного щелока в топке котла, распыляемого щелоковыми форсунками. Размер капель щелока и его влажность влияют на процесс сушки капель черного щелока в период их падения на «огарок» в подовой части топки котла. Крупные капли черного щелока будут иметь большую остаточную влажность в момент достижения поверхности «огарка» и приводить к его остыванию, т.е. понижению температуры слоя, что замедлит скорости химических реакций восстановления минеральных веществ черного щелока, а при дальнейшем снижении температуры и к невозможности протекания этих химических реакций. Образование при распыле малых по размеру капель черного щелока может привести к быстрому их высыханию и повышению вероятности их уноса из топочного пространства котла за счет большой скорости восходящего потока дымовых газов. Такое качество управляемого распыла черного щелока создаст условия повышенных потерь химикатов, снижения качества процесса регенерации химикатов и уменьшения выхода из топки СРК плава. Кроме того, повышенные пылевидные эмиссии минеральной части черного щелока из топки за счет их осаждения на поверхностях нагрева пароводяного тракта снизят паропроизводительность СРК при той же его щелоковой нагрузке, создадут условия для коррозии металла теплообменников и повысят затраты на удаление этих зольных отложений. Все это приведет к снижению эффективности эксплуатации СРК.

На качество распыла черного щелока влияют его давление и вязкость перед щелоковыми форсунками. Величина давления щелока перед форсунками регулируется АСР (рис.3) в зависимости от нагрузки СРК по черному щелоку и количеству включенных форсунок за счет клапана изменения расхода черного щелока в обратном потоке при условии, что этот расход не может быть нулевым.

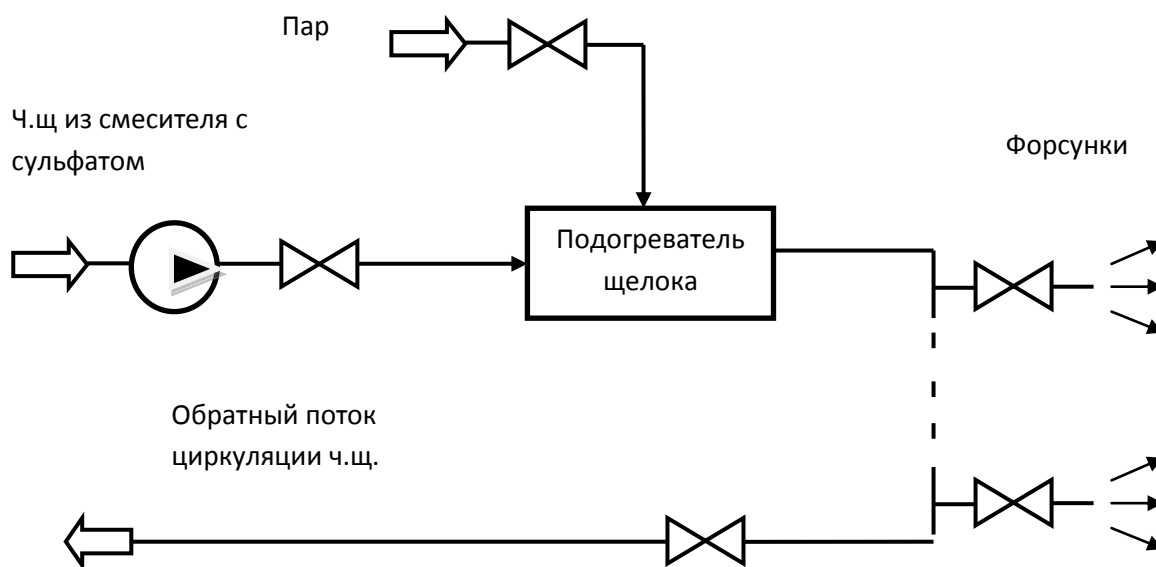


Рис.3. Упрощенная схема процесса подготовки черного щелока к сжиганию в СРК

Вязкость черного щелока определяется концентрацией в нем абсолютно сухих веществ (а.с.в.) и температурой. Регулирование концентрации а.с.в. на данном технологическом участке невозможно, поэтому грубость распыла (размер капель щелока) может регулироваться за счет температуры щелока перед форсунками, т.е. за счет изменения расхода пара в подогреватель щелока.

В данном случае при выборе способа управления в АСР следует использовать структурную схему математической модели подогревателя черного щелока, представленную на рис.4.

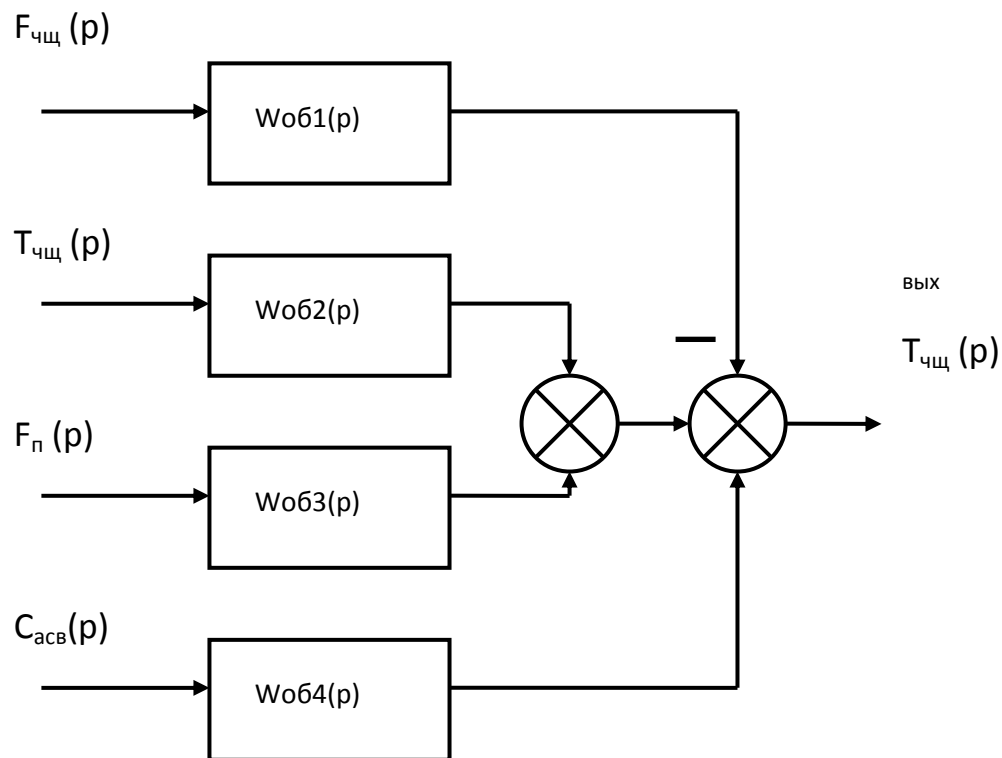


Рис.4. Структурная схема математической модели подогревателя черного щелока

Обозначения, используемые на рис. 4:

$F_{чщ}, F_{п}$ - расходы черного щелока и пара, соответственно;

$T_{чщ}, T_{чщ}^{ВЫХ}$ - температуры черного щелока на входе и выходе подогревателя;

$C_{асв}$ - концентрация а.с.в. в черном щелоке;

$W_{об1}(p)$ - $W_{об4}(p)$ - передаточные функции подогревателя черного щелока по соответствующим каналам структуры модели.

Передаточные функции по всем каналам структуры модели будет иметь вид апериодического звена первого порядка с небольшим транспортным запаздыванием. Каналом для управления температурой щелока на выходе подогревателя будет изменение расхода пара, а остальные каналы относятся к возмущающим воздействиям. В качестве основного возмущения на качество распыла можно считать изменение расхода черного щелока на входе подогревателя, связанное с изменением нагрузки СРК по щелоку. Существующие на предприятиях АСР температуры черного щелока перед форсунками (рис.5), имея высокие требования к точности

регулирования $\pm 0,5 - 1,0^\circ\text{C}$, обычно не могут справиться с этим возмущением.

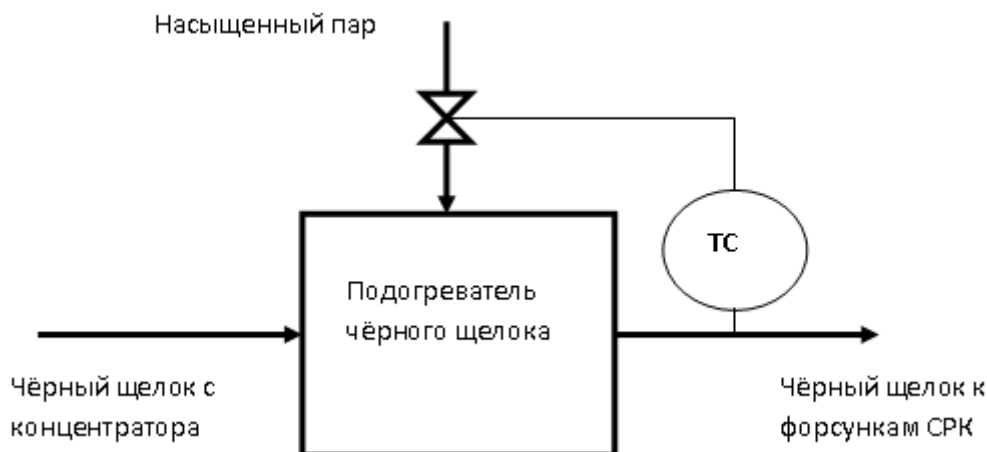


Рис.5. АСР температуры черного щелока на выходе подогревателя (перед форсунками)

Поэтому в существующую одноконтурную одноимпульсную систему регулирования температуры щелока на выходе подогревателя для повышения качества регулирования целесообразно ввести динамический корректор для компенсации основного возмущающего воздействия. Алгоритмическая структурная схема АСР температуры черного щелока с динамической коррекцией по расходу щелока представлена на рис.6.

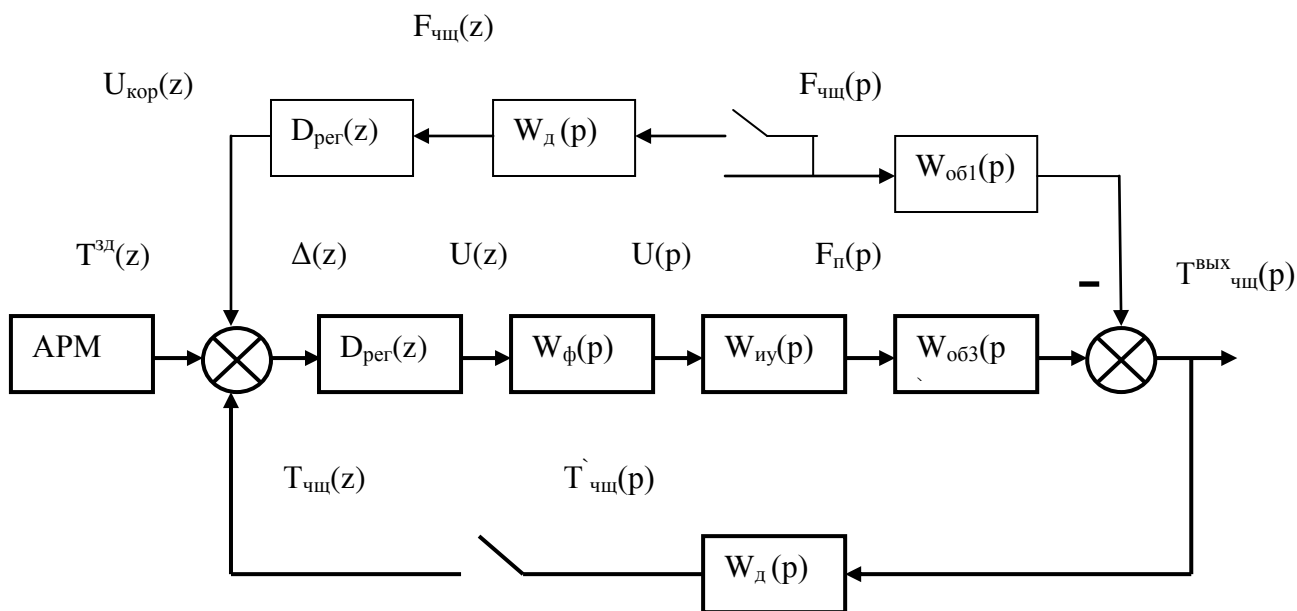


Рис.6. Алгоритмическая структурная схема АСР температуры щелока на выходе подогревателя с динамической коррекцией по расходу щелока

Здесь АРМ –автоматизированное рабочее место оператора;

$T^{зд}(z)$, $T^{вых}_{щ}(p)$, $T'_{щ}(p)$, $T_{щ}(z)$ – задание температуре черного щелока, температура щелока на выходе подогревателя, величина температуры щелока на выходе датчика в виде унифицированного сигнала и дискретное значение на входе сумматора цифрового регулятора, соответственно;

$F_{щ}(p)$ –расход черного щелока на входе подогревателя;

$F_n(p)$ –расход пара в щелоковой подогреватель;

$\Delta(z)$ – ошибка регулирования;

$U(z)$, $U(p)$, – значение управляющего сигнала с регулятора, экстраполятора соответственно;

$W_d(p)$, $W_{обз}(p)$, $W_{обл}(p)$, $W_{из}(p)$, $W_{ф}(p)$, $D_{рег}(z)$ - передаточные функции датчика температуры, объекта по каналу управления и возмущения, исполнительного устройства, экстраполятора (фиксатора), дискретного регулятора.

Реализация АСР температуры черного щелока, показанная на рис.6, позволит обеспечить лучший распыл черного щелока и повысить эффективность работы СРК.

2.2.3. Выбор средств автоматизации и управления

Следует выбрать все технические средства, необходимые для реализации системы управления данным параметром, и выполнить расчёт одного из них, например, регулирующего органа или расчет метрологических характеристик канала измерения САУ.

Выбор должен проводиться на основе сравнительного анализа технико-экономических показателей сравниваемых средств. Должно быть представлено не менее двух вариантов по каждому средству автоматизации и управления с таблицей сравниваемых технических характеристик.

Для каждого выбранного средства автоматизации и управления должно быть представлено описание его устройства и принцип действия. Необходимо использовать изображение внешнего вида, схемы и описание принципа действия.

Выбор измерительных преобразователей для систем автоматизации технологических процессов и производств

Измерительные преобразователи (ИП) для систем автоматизации выбираются по следующим показателям:

1. Требуемая точность измерения параметра.
2. Характеристика измеряемой среды.
3. Допускаемые инерционность измерения для ИП температуры и временная дискретность выдачи результатов измерения для экспресс-анализаторов.
4. Область применения и рекомендации производителя.
5. Стоимость ИП.

Основной принцип выбора ИП заключается в следующем: точность измерительного средства должна быть достаточно высокой по сравнению с требуемой точностью измерения параметра, а трудоемкость измерения и стоимость ИП должны быть возможно более низкими.

Необходимо все измеряемые параметры внести в нижеследующую таблицу 3.

Выбираем ИП по диапазону измерения.

Рабочее значение параметра или возможный диапазон измерения параметра $X_{\max}-X_{\min}$ должны находиться в третьей четверти или во второй трети диапазона измерения ИП, поскольку в этих диапазонах измерения характеристика ИП близка к линейной.

Итак, диапазон измерения ИП – X_N .

Если дана требуемая абсолютная погрешность измерения Δ , то определяем относительную приведенную погрешность для выбранного диапазона измерения ИП

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100}{X_N} \% , \quad (2.1)$$

Таблица 3. Параметры контроля и управления

Наименование параметра	Единица измерения параметра	Диапазон измерения рабочего значения параметра $X_{\min}$ - $X_{\max}$	Место измерения	Характеристика среды	Требование к абсолютной погрешности Δ	Требование к относительной погрешности δ , %
1	2	3	4	5	6	7

и выбираем такой ИП, у которого максимальная относительная приведенная погрешность (класс точности) не превышает рассчитанную по выражению (2.1)

Если дана требуемая относительная погрешность измерения δ , то ИП выбираем следующим образом.

Известно, что

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100}{X} \%, \quad (2.2)$$

где X -измеренное значение параметра.

Согласно табл. 3, параметр может изменяться от $X_{\min}$ до $X_{\max}$.

Поэтому для обеспечения более высокой точности измерения по сравнению с требуемой определяем из выражения (2. 2) абсолютную погрешность Δ , полагая $X=X_{\min}$

$$\Delta = \frac{\delta \cdot X_{\min}}{100}. \quad (2.3)$$

Подставив выражение (2.3) в выражение (2.1), получаем значение относительной приведенной погрешности для выбранного диапазона измерения ИП

$$\gamma = \frac{\delta \cdot X_{\min}}{X_N} \%. \quad (2.4)$$

В этом случае также выбираем ИП с диапазоном измерения X_N и с максимальной относительной приведенной погрешностью (классом точности), не превышающей γ (2.4).

Наиболее распространенные классы точности ИП – 0, 5; 0, 25.

Выбор измерительных преобразователей по другим показателям (2, 3, 2. 3 и 2. 4) для различных параметров будет представлен ниже.

Измерение температуры

Для температуры от 0 – 180°C рекомендуются термопреобразователи сопротивления медные с выходным аналоговым сигналом 4 – 20 мА и цифровым выходом RS-485. Тепловая инерционность 8 – 30 с.

Для температуры от 0 – 500°C рекомендуются термопреобразователи сопротивления платиновые с выходами 4 – 20 мА и RS-485. Тепловая инерционность 40 с.

Для температуры в диапазоне 600 – 1000 °С рекомендуются термоэлектрические преобразователи хромель-алюмелевые с аналогичными выходными сигналами. Тепловая инерционность 8, 20, 30, 40 с.

Для температуры в диапазоне 500 – 2000 °С рекомендуются оптические и одноцветные пирометры, а температуры в диапазоне 500 – 3000 °С одноцветные оптоволоконные пирометры.

Измерение давления

Для избыточного давления от 0,04 кПа до 100 МПа, разрежения от 0,04 до 100кПа, перепада давлений от 0,04 до 630 кПа применяются интеллектуальные пьезорезистивные ИП с выходными сигналами 4 – 20 мА и интерфейсом RS-485.

Измерение уровня

Для измерения уровня (в пересчете на гидростатическое давление от 4 до 250 кПа) рекомендуются ИП гидростатического давления на пьезорезистивном эффекте.

Для измерения уровня с учетом характеристики среды применяют следующие ИП:

- ультразвуковые для диапазона 0, 25 – 8 м, температура среды – 40 - +120 °С, среда – вязкие, неоднородные, выпадающие в осадок, взрывоопасные, агрессивные жидкости, сыпучий и кусковой материал;
- радарные для диапазона 0, 6 – 30 м, температура среды – 40 - +250 °С, среда – пенообразные, аэрированные, вязкие взвеси, клеи, смолы, пасты, полимеры, сыпучие материалы;
- емкостные для диапазона температура среды – 40 - +200 °С, среда – жидкости, пульпы, сыпучие и вязкие вещества в условиях образования конденсата и высокой запыленности.

Измерение расхода жидких сред

Рекомендуются следующие ИП:

- электромагнитные для электролитов, давление среды до 2, 5 МПа, температура среды 5 – 150 °С, скорость движения среды в трубопроводе 1, 15 – 12 м/с, условный диаметр трубопровода $Dy=32 - 200$ мм, среда – взрывоопасная, в том числе пульпы с мелкодисперсными твердыми частицами (волокнистые суспензии);
- ультразвуковые в трубопроводе, $Dy=10 - 4200$ мм, температура среды – 10 - +180 °С, давление среды 2, 5 МПа, среда – нефть, нефтепродукты, масла;
- пьезорезистивные ИП перепада давлений в комплекте с диафрагмами, $Dy=50 - 1200$ мм, давление среды 0, 6 – 4 МПа, среда – насыщенный и перегретый пар.

Измерение концентрации волокнистой суспензии в трубопроводе

Рекомендуются следующие ИП:

- микроволновые бесконтактные для диапазона 0 – 50 %, температура среды 5 – 50 °С, $Dy=20 - 300$ мм, давление среды ≤ 1 МПа, точность $\pm 0, 01 - \pm 0,02\%$ концентрации;
- работающие на принципе «обтекания» для диапазона 0, 7 – 16%, температура среды $\leq 60^\circ\text{C}$, скорость среды 0, 5 – 8 м/с, $Dy=80 - 125$ мм, среда – несортированная и сортированная бумажная масса, термомеханическая и дефибрерная древесная масса, макулатурная масса;
- роторные для диапазона 1 – 16%, скорость среды 0 – 5 м/с, точность 0, 005 – 0, 003 % концентрации;
- инфракрасные для диапазонов 0, 01 – 3, 5 %; 0, 01 – 7%; 0, 01 – 12 %;
- оптические для диапазона 0, 01 – 16 %.

Измерение степени помола волокнистой суспензии

Рекомендуются экспресс-анализаторы с пробоотборниками суспензии из трубопровода, основанные на фильтрационных свойствах волокнистой суспензии и скорости ее обезвоживания для диапазона 15 – 98 °ШР с дискретностью выдачи результата измерения 4 и 2 мин.

Измерение белизны бумаги и целлюлозы

Рекомендуются оптические ИП для диапазона 5 – 96 % по ISO.

Измерение концентрации остаточных химикатов

Рекомендуются ИП, основанные на измерении электропроводности химических растворов в процессах отбелики целлюлозы, древесной массы и пропитки химикатами древесной щепы.

Измерение влажности бумажного, целлюлозного полотна и других материалов

Рекомендуются следующие ИП:

- микроволновые для диапазона 4 – 12 % с коррекцией по температуре окружающего воздуха и массе 1 м^2 , среда – бумажное и картонное полотно;
- инфракрасные для диапазона 0 – 50 %, среда – бумажное, картонное, целлюлозное полотно, непрозрачные пленки, сыпучий материал, стружка, щепа, ДВП, ДСП.

Измерение 1 м^2 (поверхностной плотности), зольности и толщины бумажного и картонного полотна

Рекомендуются следующие ИП.

Для измерения массы 1 м^2 :

- радиоактивные в диапазоне 40 – 1200 г/м²;
- инфракрасные в диапазоне 10 – 250 г/м².

Для измерения зольности:

- радиоактивные в диапазоне 0 – 30 %;
- инфракрасные в диапазоне 0,5 – 25 %.

Для измерения толщины:

Индуктивные в диапазоне 10 – 100 мк.

Выбор и расчет регулирующих органов

При выборе и расчете отечественных регулирующих органов (клапанов) могут применяться известные в технической литературе методы.

В зависимости от цели расчёта они могут быть поверочными или конструктивными. Целью поверочного расчёта является выбор для известных условий работы оптимального размера регулирующего органа (РО) из числа серийно выпускаемых. Целью конструктивного расчёта является выбор РО из числа известных, определение его условного прохода, требуемой конструктивной характеристики, а также конфигурации проточной части для разработки новых типоразмеров РО.

Методы и примеры расчёта РО одноступенчатого дросселирования для потоков однофазных сред: воды, в том числе вскипающей при дросселировании и водяного пара (перегретого или сухого насыщенного) - даются в РТМ 108.711.02-79. Арматура энергетическая. Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной характеристики.

В простейшем случае при отсутствии возможности возникновения кавитации, эрозийного износа, критического расхода среды и вскипания воды при дросселировании в РО, а также при одинаковых значениях условных проходов Ду РО и трубопроводов, поверочный расчёт РО упрощается и может выполняться следующим образом:

1. Исходные данные для расчёта:

Схема трубопровода с РО (чертёж)

Условный проход трубопровода Ду

Расход среды, кг/ч:

Номинальный Gном

Минимальный Gmin

Перепад давления в системе в функции расхода $\Delta P_c = f(G)$,

где P_c – суммарные потери давления в гидравлической системе, включая РО, МПа

Абсолютное давление на входе

в РО в функции расхода $P_1 = f(G)$

Абсолютное давление на выходе

в РО в функции расхода $P_2 = f(G)$

Перепад давления на РО в функции расхода

$\Delta P_{po} = f(G)$

Температура среды на входе РО t_1

Плотность среды на входе ρ_1

2. Определяют максимальный расход среды по формуле:

$$G_{\max} = \eta \cdot G_{\text{ном}},$$

где η - величина коэффициента запаса по расходу.

3. Определяют при максимальном расходе по заданным зависимостям $P_1 = f(G)$ и $P_2 = f(G)$ значения P_1 перед РО, P_2 и перепад давления $\Delta P_{\text{ро min}}$ на РО.

4. По заданным параметрам рабочей среды определяют условное давление P_y .

5. Случай $P_2 > P_{\text{нас}}$, испарение воды на выходе РО отсутствует,

где $P_{\text{нас}}$ – давление насыщения при температуре t_1 .

6. Определяют предварительное расчётное значение максимальной пропускной способности $K_{v\max}$ по формуле :

$$K_{v\max} = 10^{-2} \cdot G_{\max} \cdot (1/\sqrt{p \cdot \Delta P_{\text{ро min}}})$$

7. Выбирают из каталогов типоразмер РО с условным проходом Ду и максимальной пропускной способности $K_{v\max}^{\text{ро}} > K_{v\max}$

8. Определяют при минимальном расходе по заданным зависимостям $P_1 = f(G)$ и $P_2 = f(G)$ значения P_1 перед РО, P_2 и перепад давления $\Delta P_{\text{ро max}}$ на РО.

9. Находят отношение перепадов давления на РО при максимальном и минимальном расходах (фактор DP_f): $DP_f = \Delta P_{\text{ро min}} / \Delta P_{\text{ро max}}$

10. Если фактор DP_f меньше 0,4, то следует выбирать регулирующий клапан с равнопроцентной характеристикой. Если фактор DP_f больше 0,4, то следует выбирать регулирующий клапан с линейной характеристикой.

Для регулирования расхода газообразных сред применяют поворотные дисковые заслонки

Расчет проводного сечения заслонки для регулирования подачи газа может быть выполнен по «Методическим указаниям по наладке схем технологической защиты, аварийной сигнализации и регулирования котлов, работающих на жидком и газообразном топливе», Л., 1988. Методика разработана «Специализированным управлением по монтажу, наладке и ремонту теплоэнергетического оборудования «ПРОМЭНЕРГОГАЗ».

Пример:

Расчет проходного сечения заслонки для регулирования подачи газа котла БКЗ-420-140 ГМ

Проходное сечение заслонки для регулирования подачи газа определяется по формуле: $F = (62,7 \cdot Q) / (\mu \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\Delta P / \gamma})$, мм²;

где Q- расход газа, м³/ч;

γ - плотность газа, кг/м³;

μ - коэффициент расхода (безразмерный), для поворотных клапанов

$$\mu = 0,5$$

ΔP - перепад давления на клапане, кгс/мм²

ε - коэффициент расширения газа (безразмерный), определяемый по формулам:

$$\Delta P / P_1 > 0,5, \text{ тогда } \varepsilon = 0,95 - (\beta - 1) \cdot (\Delta P / P_1)$$

$$\Delta P / P_1 \leq 0,5, \text{ тогда } \varepsilon = 1 - \beta \cdot (\Delta P / P_1)$$

$\beta = 0,47$ для приводного газа.

Исходные данные для расчета проходного сечения заслонки:

$P_1 = 0,8$ кгс/см² = 8000 кгс/м² - давление газа клапана;

$P_2 = 0,35$ кгс/см² = 3500 кгс/м² - давление газа за клапаном (по результатам наладочных испытаний на максимальной нагрузке);

$$\Delta P / P_1 = (8000 - 3500) / 8000 = 0,5625,$$

$$\varepsilon = 0,95 - (\beta - 1) \cdot (\Delta P / P_1) = 0,95 - (0,47 - 1) \cdot 0,5625 = 1,248$$

$Q = 33500$ м³/ч - расход газа на максимальной нагрузке по результатам наладочных испытаний

$\gamma = 0,68$ кг/м³ по паспорту на газовое топливо (по данным поставщика газа)

$$F = (62,7 \cdot 33500) / [0,5 \cdot 1,248 \cdot \sqrt{(4500 / 0,68)}] = 2100450 / 50,73 = 41403,5 \text{ мм}^2.$$

Диаметр заслонки клапана:

$$d_z = 1,13 \cdot \sqrt{41403,5} = 1,13 \cdot 207 = 234 \text{ мм}$$

Таким образом, для установки на газопровод основного газа на котел БКЗ-420-140 ГМ следует выбрать по каталогу ЗАО АРМАТЭК заслонку Ду=250 мм, РУ=0,6 МПа.

Расчёт регулирующего органа сводится к определению его пропускной способности, условного диаметра и его рабочей (расходной) характеристики. Выбор регулирующего органа на основе данных расчета производится по каталогам.

Для выбранного регулирующего органа (клапана) должно быть представлено описание его устройства и принцип действия. Необходимо использовать изображение внешнего вида, схему и описание принципа действия.

При выборе РО как отечественных, так и зарубежных компаний используется специальное программное обеспечение.

Выбор и расчёт регулирующих органов, например, фирмы Neles проводится с использованием программы NelProf. Пример расчета РО с применением программы NelProf приведен в Приложении 3.

Программа NelProf при расчете и выборе регулирующего органа проводит окончательный выбор РО после проверки его на управляемость и кавитацию.

2.3. Расчет и анализ САУ параметром

2.3.1. Математическое описание объекта управления

Здесь необходимо представить математическое описание объекта управления.

При разработке современных системах управления важная роль отводится математическому описанию объекта управления.

Математические модели используются для расчета параметров настроек регуляторов систем управления, технико-экономических показателей процесса (в частности, данных сменных рапортов), расчета показателей по косвенным параметрам прогнозирования поведения процесса во времени (в частности, при аварийных ситуациях), оптимизации и адаптации и т.д.

В зависимости от назначения модели бывают разных видов. Так, например, статические модели описывают установившееся состояние объекта и выражаются в виде алгебраических уравнений. Динамические модели описывают скорости изменения параметров и выражаются в виде дифференциальных уравнений.

Для технологических объектов управления наибольшую сложность представляет процесс получения динамической модели объекта, используемой при расчете системы управления. Назначение модели определяет её вид и метод получения.

Для разработки математической модели необходимо построить схему взаимосвязей входных и выходных параметров объекта, на основе которой в дальнейшем будет разрабатываться математическая модель.

В Приложении 4 в качестве примера приведена схема взаимодействия параметров для процесса получения зеленого щелока при регенерации химикатов в СРК. На основе этой схемы необходимо выделить основные

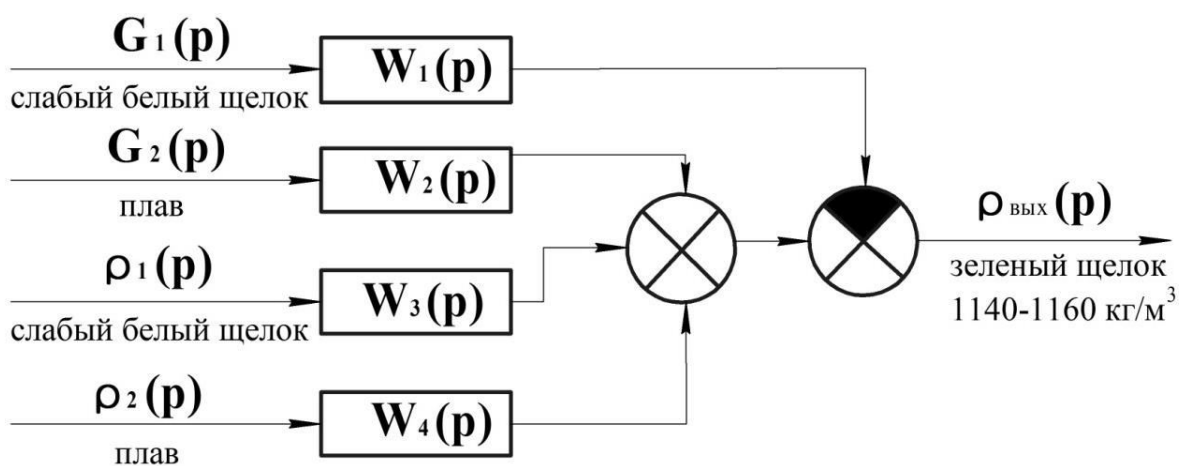
связи, которые будут учитываться при получении математической модели технологического процесса как объекта управления.

В данном подразделе необходимо разработать в соответствии с темой ВКР структурную схему математической модели объекта управления, а также разработать или представить передаточные функции объекта по управляющему и основному возмущению.

Для этого следует выполнить анализ возмущений (детерминированных и/или случайных), действующих на объект управления. На основе структурной схемы объекта управления необходимо перечислить все входные и выходные параметры процесса, их взаимосвязь, определить управляющее и возмущающее воздействия, их номинальные значения, пределы их изменения (максимальные и наиболее вероятные), а также их относительное влияние на регулируемый параметр и готовую продукцию..

Необходимо выбрать главное или основное возмущение, которое необходимо учитывать при выборе параметров настроек регулятора САУ и привести математическое описание объекта по этому каналу.

В качестве примера на рис.7 представлена структурная схема математической модели бака-растворителя плава.



$$\phi \text{ бака} = 7,2 \text{ м}; V_{\text{бака}} = 100-110 \text{ м}^3; H_{\text{бака}} = 2-2,2 \text{ м}.$$

Рис.7. Структурная схема математической модели бака-растворителя плава.

Здесь $G_1(p)$, $\rho_1(p)$ – расход и плотность слабого белого щелока; $G_2(p)$, $\rho_2(p)$ – расход и плотность плава; $\rho_{вых}(p)$ – плотность зеленого щелока на выходе бака-растворителя плава

Далее необходимо определить регулирующее и возмущающие воздействия на основе структурной схемы математической модели объекта управления. В данном случае регулирующим воздействием будет изменение расхода G_1 слабого белого щелока, а возмущающими воздействиями ρ_1 , G_2 и ρ_2 соответственно изменения плотности слабого белого щелока, расхода и плотности плава.

Завершает разработку математической модели объекта управления определение передаточных функций объектов по каналу управления и каналам возмущений. Для структурной схемы математической модели бака-растворителя плава это будут передаточные функции $W_1(p)$, $W_2(p)$, $W_3(p)$, $W_4(p)$.

Для получения математической модели объекта управления далее могут применяться аналитические и экспериментальные методы.

Аналитический метод разработки модели основан на использовании общих физических законов и, прежде всего - закона сохранения энергии. Аналитический метод не требует наличия реального объекта, а также проведения экспериментов на объекте. Такой метод наиболее эффективен при отсутствии реального объекта, например, на стадии его проектирования. Применение этого метода также целесообразно при отсутствии возможности снятия экспериментальных данных на объекте.

При получении модели аналитическим методом приходится вводить целый ряд ограничений для упрощения модели, а также учитывать отсутствие некоторых данных на объекте. Это снижает точность модели и делает необходимым оценку ее адекватности реальному объекту для производственных условий.

В настоящем пособии показан пример получения математической модели подогревателя смешивающего типа с использованием аналитического метода на основе уравнения теплового баланса. На рис.8 представлена расчетная схема подогревателя смешивающего типа

Математическая модель подогревателя смешивающего типа

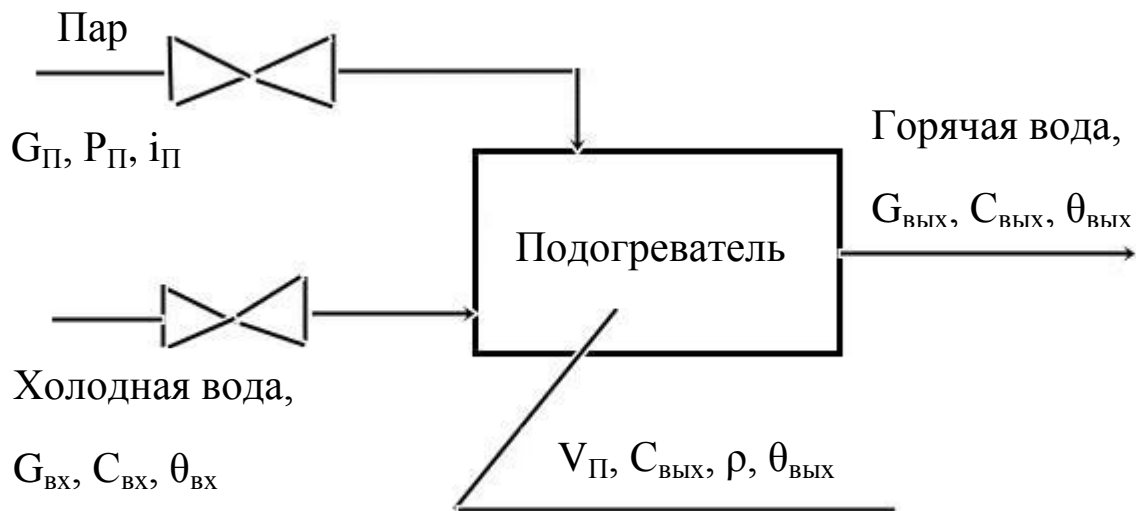


Рис.8. Расчетная схема подогревателя смешивающего типа

Уравнение теплового баланса подогревателя смешивающего типа (рис.8) в отклонениях от состояния равновесия будет следующим:

$$\frac{d\Delta Q}{dt} = \Delta Q_{ex} + \Delta Q_n - \Delta Q^n - \Delta Q_{вых}, \quad (2.5)$$

где

Q^n - количество тепла в рабочем объеме подогревателя, кДж;

$Q_{ВХ}$, $Q_{П}$, Q^n , $Q_{ВЫХ}$ – расходы тепла с холодной водой, паром, потерянному теплу в окружающее пространство, с уходящей горячей водой к потребителю, $\frac{\text{кДж}}{\text{с}}$.

$$Q^* = V_n \cdot \rho \cdot C_{вых} \cdot \theta_{вых},$$

где

$V_{П}$ – рабочий объем подогревателя, м^3 ;

ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $C_{\text{вых}}$ – теплоемкость воды внутри и на выходе теплообменника (нагревателя), $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

$Q_{\text{вых}}$ – температура горячей воды внутри и на выходе подогревателя, $^\circ\text{C}$.

Полагая $V_{\text{п}}$, ρ и $C_{\text{вых}}$ постоянными, можно представить, что

$$\Delta Q^* = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\infty} \cdot C_{\text{вых}\infty} \cdot \Delta \theta_{\text{вых}}, \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{ex}} = G_{\text{ex}} \cdot C_{\text{ex}} \cdot \theta_{\text{ex}},$$

где

G_{ex} – расход холодной воды, $\text{кг}/\text{с}$;

C_{ex} – теплоемкость холодной воды, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

θ_{ex} – температура холодной воды, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta Q_{\text{ex}} = G_{\text{ex}\infty} \cdot C_{\text{ex}\infty} \cdot \Delta \theta_{\text{ex}} + C_{\text{ex}\infty} \cdot \theta_{\text{ex}\infty} \cdot \Delta G_{\text{ex}}, \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{n}} = G_{\text{n}} \cdot i_{\text{n}},$$

где

G_{n} – расход пара, $\text{т}/\text{ч}$;

I_{n} – энтальпия пара, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Полагая $i_{\text{n}} = f(P_{\text{n}})$, получаем

$$\Delta Q_{\text{n}} = G_{\text{n}\infty} \cdot \Delta i_{\text{n}} + i_{\text{n}\infty} \cdot \Delta G_{\text{n}}$$

или

$$\Delta Q_n = G_{n\infty} \cdot \left(\frac{\partial i_n}{\partial P_n} \right)_{\infty} \cdot \Delta P_n + i_{n\infty} \cdot \Delta G_n, \quad (2.8)$$

где P_n – давление пара, МПа.

$\left(\frac{\partial i_n}{\partial P_n} \right)_{\infty}$ определяется из таблицы термодинамических свойств воды и водяного насыщенного пара по выражению

$$\left(\frac{\partial i_n}{\partial P_n} \right)_{\infty} = \frac{i_n^{P_2} - i_n^{P_1}}{P_2 - P_1},$$

где $i_n^{P_2}$ – энтальпия пара при давлении пара P_2 , $i_n^{P_1}$ – энтальпия пара при давлении пара P_1 .

Полагая потери тепла в окружающее пространство постоянными, получим, что

$$\Delta Q^n = 0, \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{блх}} = (G_n + G_{\text{гх}}) \cdot C_{\text{блх}} \cdot \theta_{\text{блх}}, \quad (2.10)$$

В отклонениях выражение (3.6) будет следующим

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{блх}} &= (G_{n\infty} + G_{\text{гх}\infty}) \cdot C_{\text{блх}\infty} \cdot \Delta \theta_{\text{блх}} + C_{\text{блх}\infty} \cdot \theta_{\text{блх}\infty} \cdot \Delta G_n + \\ &+ C_{\text{блх}\infty} \cdot \theta_{\text{блх}\infty} \cdot \Delta G_{\text{гх}}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

Подставим выражения (2.6), (2.7), (2.8), (2.9) и (2.11) в уравнение (2.5) и преобразуем в следующее уравнение, полагая также, что $C_{\text{вх}} = C_{\text{вых}} = C$.

$$\frac{V_{n\infty} \cdot \rho_{\infty} \cdot C_{\infty}}{(G_{n\infty} + G_{\text{гх}\infty}) \cdot C_{\infty}} \cdot \frac{d\Delta \theta_{\text{блх}}}{dt} + \Delta \theta_{\text{блх}} = \frac{(\theta_{\text{гх}\infty} - \theta_{\text{блх}\infty}) \cdot C_{\infty}}{(G_{n\infty} + G_{\text{гх}\infty}) \cdot C_{\infty}} \cdot \Delta G_{\text{гх}} +$$

$$+ \frac{G_{\text{ex}\infty} \cdot C_{\infty}}{(G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty}) \cdot C_{\infty}} \cdot \Delta\theta_{\text{ex}} + \Delta G_n \cdot \frac{i_{n\infty} - C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ex}\infty}}{C_{\infty}(G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty})} +$$

$$+ \frac{G_{n\infty} \left(\frac{\partial i_n}{\partial P_n}\right)_{\infty}}{(G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty}) \cdot C_{\infty}} * \Delta P_n.$$

После дополнительных преобразований окончательно получим

$$T_n \cdot \frac{d\Delta\theta_{\text{ex}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{ex}} = k_{G_{\text{ex}}} \cdot \Delta G_{\text{ex}} + k_{\theta_{\text{ex}}} \cdot \Delta\theta_{\text{ex}} + k_n \cdot \Delta G_n + k_{P_n} \cdot \Delta P_n, \quad (2.12)$$

где

$$T_n = \frac{V_{n\infty} \cdot \rho_{\infty}}{G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty}}, c;$$

$$k_{G_{\text{ex}}} = \frac{\theta_{\text{ex}\infty} - \theta_{\text{ex}\infty}}{G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty}}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг}/c};$$

$$k_{\theta_{\text{ex}}} = \frac{G_{\text{ex}\infty}}{G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty}}, \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}};$$

$$k_{G_n} = \frac{i_{n\infty} - C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ex}\infty}}{C_{\infty}(G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty})}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг}^2/c};$$

$$k_{P_n} = \frac{G_{n\infty} \left(\frac{\partial i_n}{\partial P_n}\right)_{\infty}}{C_{\infty}(G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty})}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{МПа}}.$$

Для примера расчета предположим $V_{n\infty}=0,3 \text{ м}^3$, $G_{\text{вх}}=20 \text{ т/ч}$ (5, 6 кг/с), $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$,

$C=4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$, $i_{\text{п}}=2860 \text{ кДж/кг}$ (при давлении пара $P_{\text{п}}=0,4 \text{ МПа}$ и температуре пара $200 ^{\circ}\text{C}$), $\theta_{\text{вх}}=40 ^{\circ}\text{C}$, $\theta_{\text{вых}}=90 ^{\circ}\text{C}$.

Полагаем, что $P_{\text{п}}=\text{const}$. Следовательно, $\Delta P_{\text{п}}=0$ и коэффициент $k_{P_{\text{п}}}$ не определяем.

Уравнение теплового баланса в статике будет

$$G_{\text{ex}\infty} \cdot C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ex}\infty} + G_{n\infty} \cdot i_{n\infty} = (G_{n\infty} + G_{\text{ex}\infty}) C_{\infty} \cdot \theta_{\text{blx}\infty},$$

Отсюда находим $G_{n\infty}$.

$$G_{n\infty} = \frac{G_{\text{ex}\infty} \cdot C_{\infty} (\theta_{\text{blx}\infty} - \theta_{\text{ex}\infty})}{i_{n\infty} - C_{\infty} \cdot \theta_{\text{blx}\infty}} = \frac{5,6 \cdot 4,19(90 - 40)}{2860 - 4,19 \cdot 90} = 0,47 \frac{\text{ккал}}{\text{с}}$$

Определяем коэффициенты уравнения (2.12).

$$T_n = \frac{0,3 \cdot 1000}{0,47 + 5,6} = 49 \text{ с};$$

$$k_{G_{\text{ex}}} = \frac{40 - 90}{0,47 + 5,6} = -8,23, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{ккал/с}};$$

$$k_{\theta_{\text{ex}}} = \frac{5,6}{0,47 + 5,6} = 0,92, \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}};$$

$$k_{G_n} = \frac{2860 - 4,19 \cdot 90}{4,19(0,47 + 5,6)} = 97,6, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{ккал/с}}.$$

Запаздывание по каналу управления и каналу возмущения принимаем равными $\approx 0,2 T_n$, т. е. 10 с.

Основное возмущающее воздействие – расход холодной воды.

Управляющее воздействие – расход пара.

Окончательно получаем уравнение математической модели подогревателя смешивающего типа для рассматриваемого примера.

$$49 \frac{d\Delta\theta_{\text{блх}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{блх}} = -8,23 \cdot \Delta G_{\text{ex}}(t - 10) + 0,92 \cdot \Delta\theta_{\text{ex}}(t - 10) + 97,6 \cdot \Delta G_n(t - 10).$$

После преобразования Лапласа получаем следующие передаточные функции.

$$W_{n_y}(p) = \frac{976 \cdot e^{-10p}}{49p + 1}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кЗ/с}};$$

$$W_{\text{ex}}(p) = -\frac{8,23 \cdot e^{-10p}}{49p + 1}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кЗ/с}};$$

$$W_{\text{ex}_2}(p) = \frac{0,92 \cdot e^{-10p}}{49p + 1}, \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}}.$$

Разработка экспериментальной динамической математической модели объекта управления сводится к получению на реальном объекте переходных характеристик (кривых разгона) по каналам управления и возмущения и их математической обработке, которая может быть выполнена с помощью MathLab или программы IDEN, разработанной кафедрой АТП и П.

В Приложениях 5 и 6 представлены примеры получения передаточных функций объектов управления, полученных с применением MathLab и программы IDEN.

При использовании программ для получения математической модели необходимо представить в Приложении к ВКР расчетные текстовые файлы с исходными данными.

2.3.2. Расчет САУ параметром

Целью расчета САУ является выбор структуры регулятора (закона регулирования) и расчет численных значений параметров настроек

регулятора, обеспечивающие требуемые показатели качества процесса управления.

Основными этапами расчета САУ являются: разработка алгоритмической структурной схемы САУ, выбор критерия или показателей качества процесса управления с учетом требований к качеству управления технологическим параметром, представленные в п. 2.2.1., выбор метода и проведение расчета.

Далее в п. 2.3.3 необходимо провести оценку качества процесса управления и, при необходимости, сделать перерасчет системы.

Разработка алгоритмической структурной схемы САУ

При разработке алгоритмической структурной схемы САУ необходимо учитывать следующее.

Во-первых, техническую реализацию управляющего устройства (регулятора), а также используемый метод расчета непрерывных или дискретных (цифровых) САУ.

Во-вторых, используемый принцип или способ управления, количество переменных и их взаимосвязь. В зависимости от этого алгоритмическая структурная схема будет одноконтурной, каскадной, комбинированной и др.

В-третьих, в алгоритмической структурной схеме передаточные функции отдельных элементов системы управления (контроллер или регулирующее устройство, преобразователь, исполнительный механизм, регулирующий орган, датчик и задающее устройство) могут быть выделены отдельно или включены в модели объекта регулирования и регулятора. Это зависит от метода получения математической модели объекта управления.

При аналитическом методе построения модели объекта целесообразно выделять передаточные функции перечисленных элементов. При экспериментальном методе передаточные функции некоторых элементов, например, регулирующего органа и датчика будут учитываться в передаточной функции объекта управления.

Выбор схемы или метода расчета

Процедура расчета системы управления зависит от множества факторов. Перечислим некоторые из них. Вид уравнений модели объекта: с сосредоточенными параметрами, с распределенными параметрами, с запаздывающим аргументом, линейные, нелинейные и т.д. Характер возмущающих воздействий: детерминированные, стохастические. Форма записи модели объекта: передаточные функции, уравнения в форме пространства состояния. Область исследования системы управления: временная, частотная.

Цель управления: стабилизация параметров, программное управление, управление конечным состоянием. Используемые принципы управления: управление по обратной связи, управление по возмущению, комбинированное управление. Количество переменных и их взаимосвязь: одномерные, многомерные системы. Степень сложности используемых методов расчета: синтез системы управления (вариационное исчисление, методы оптимального управления), процедуры параметрического синтеза регуляторов, использование инженерных методов (номограммы, расчетные формулы) или программ, расчета на компьютере и т.д.

Выбор рационального метода расчета системы является чрезвычайно ответственным этапом и во многом определяет качество процесса управления.

Для расчета системы в ВКР можно применять различные методы, реализованные с помощью программных средств, например, программные пакеты Mathlab или программное обеспечение кафедры АТП и П. Также могут применяться численные методы оптимизации для выбора оптимальных настроек регуляторов САУ с использованием разностных уравнений системы в Excel.

На рис.9 представлена алгоритмическая структурная схема одноконтурной дискретной (цифровой) САУ, для которой требуется рассчитать параметры настройки регулятора. В ряде случаев по согласованию с зав. кафедрой допускается использование номограмм, приближенных формул и т.д.

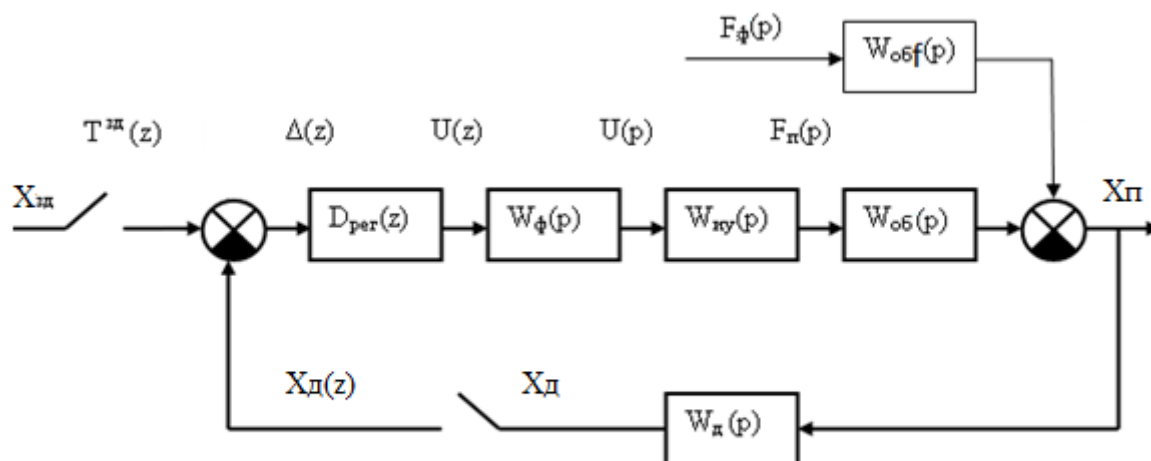


Рис. 9. Алгоритмическая структурная схема дискретной (цифровой) АСР:

Здесь $x_{зд}$, $x_{п}$, $x_{д}$, $x_{д}(z)$ – сигнал задания, регулируемый параметр, сигнал на выходе датчика и сигнал датчика на входе регулятора;

$F_{п}(p)$ – регулирующее воздействие;

$F_{ф}(p)$ – возмущающее воздействие;

$\Delta(z)$ – сигнал ошибки регулирования;

$U(z)$, $U(p)$, – управляющие сигналы с выходов дискретного регулятора и фиксатора (экстраполятора);

$W_{д}(p)$, $W_{об}(p)$, $W_{из}(p)$, $W_{ф}(p)$, $D_{рег}(z)$ – передаточные функции датчика, объекта по каналу управления и возмущения, исполнительного устройства, фиксатора (экстраполятора) и дискретного регулятора.

В ряде случаев по согласованию с зав. кафедрой допускается использование номограмм, приближенных формул и т.д.

Расчет САУ с применением MathLab

Для расчета настроек регулятора САУ рекомендуется использовать программу MathLab, с помощью которой можно найти настройки регулятора как аналоговой, так и дискретной (цифровой) САУ различной сложности от каскадных до многосвязанных.

В MathLab также имеется возможность оптимизации настроек САУ, а также рассчитывать настройки САУ со случайными возмущающими воздействиями, действующими на объект управления.

Перед использованием MathLab для расчета параметров настроек регулятора требуется разработать схему моделирования САУ, используя её алгоритмическую структурную схему. В зависимости от вида АСР алгоритмическая структурная схема АСР может быть аналоговой или дискретной.

На рис.10 представлена схема моделирования в MathLab аналоговой САУ поверхностной плотности бумажного полотна.

Результаты расчета настроек регулятора САУ представлены в табл. 4. Здесь коэффициент Р соответствует коэффициенту передачи k_1 , а коэффициент I -коэффициенту $k_2= 1/T_{и}$, где $T_{и}$ – время интегрирования.

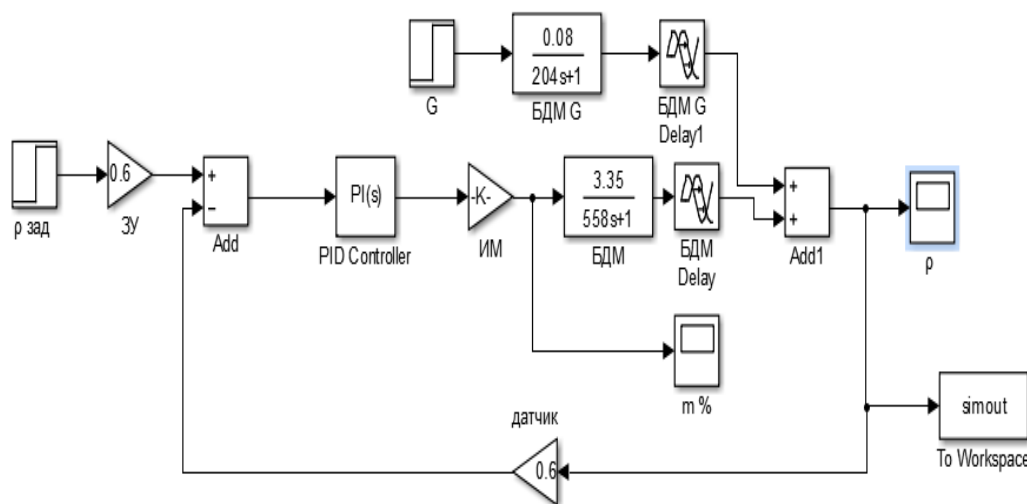


Рис.10. Схема моделирования аналоговой САУ поверхностной плотности бумажного полотна

Таблица 4. Настройки регулятора аналоговой САУ.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	1.2204	1.38
I	0.0023957	0.0023
D		
N		

При расчете параметров настройки регулятора дискретной (цифровой) САУ поверхностной плотности бумажного полотна используется схема моделирования на рис. 11.

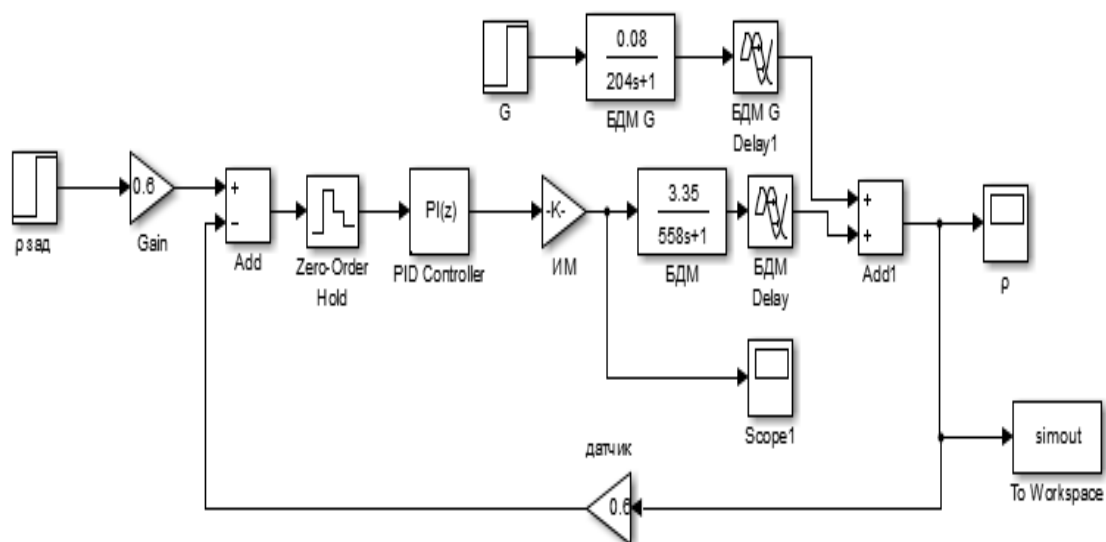


Рис.11. Схема моделирования дискретной (цифровой) САУ поверхностной плотности бумажного полотна

Результаты расчета настроек Tuned и Блокрегулятора САУ представлены в табл. 5. Здесь коэффициент Р соответствует коэффициенту передачи k_1 , а коэффициент I -коэффициенту k_2

Таблица 5. Настройки регулятора дискретной САУ.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	0.97155	1.38
I	0.0018016	0.0023
D		
N		

Расчет САУ с применением программы ASIMLIN

При выполнении ВКР также допускается применять программу ASIMLIN, которая позволяет построить область устойчивости, линию равного запаса устойчивости одноконтурной дискретной (цифровой) системы управления в плоскости параметров ПИ- регулятора, выбрать настройки регулятора, обеспечивающие заданный запас устойчивости системы.

Запас устойчивости системы определяется в программе по заданному значению колебательности системы, которое, в свою очередь, определяет

расположение ближайших к мнимой оси корней характеристического полинома замкнутой системы.

При выборе настроек регулятора с использованием ASIMLIN следует учитывать, что колебательность является косвенным показателем, который не определяет однозначно время переходного процесса и перерегулирование ни по заданию, ни по возмущению.

В программе ASIMLIN предусмотрена возможность построения графиков переходных процессов по заданию и возмущению и оценка показателей качества переходного процесса.

При расчете каскадной САУ может быть использована программа ASIMLIN. В этом случае последовательно производится расчет настроек регуляторов внутреннего и внешнего контуров САУ с использованием программы IDEN для получения математической модели внутреннего контура САУ.

При расчете САУ соотношением двух параметров также может быть применена программа ASIMLIN. С ее помощью могут быть рассчитаны базовый (основной) и вспомогательный контуры регулирования. Затем для передаточной функции корректирующего звена, связывающего эти контуры, определяется его коэффициент или коэффициенты передачи.

Результаты расчета САУ должны быть представлены в виде текстового файла с исходными данными в Приложении к пояснительной записке ВКР.

При расчете одноконтурной САУ с применением программы ASIMLIN используется структура системы управления, представленная в Приложении 7.

Пример расчета САУ рассмотрен в Приложении 8. На рисунках показаны область устойчивости и линия равного запаса устойчивости САУ. Настройки регулятора k_1 и k_2 , обеспечивающие требуемое значение показателя колебательности САУ, выбираются в области вершины линии равного запаса устойчивости.

После проведения расчета параметров настроек регулятора требуется провести моделирование САУ параметром и анализ качества управления.

2.3.3. Моделирование САУ параметром и анализ качества управления

Системы автоматического управления технологическими процессами делятся на два основных вида: системы стабилизации и следящие системы.

Системы стабилизации служат для поддержания регулируемой переменной объекта на определенном заданном уровне. Задачей автоматического регулятора в системе стабилизации является преобразование *отклонения* выходной величины в такое регулирующее воздействие, которое компенсировало бы влияние возмущающего воздействия на объект управления.

Целью работы следящей системы является создание такого управляющего воздействия, которое обеспечило бы слежение за изменяющейся задачей управления и обеспечивало бы выполнение равенства выходной, управляемой переменной изменяющейся задачи управления в любой момент времени.

Таким образом, в любой из этих систем действие внешних, независимых от системы воздействий, приводит к изменению состояния объекта (система). Это изменение состояния происходит во времени и называется переходным процессом системы.

В конце переходного процесса произойдет переход устойчивой системы к новому установившемуся состоянию- к практическому прекращению движения системы или к движению с постоянными, ограниченными параметрами.

Таким образом, в рассматриваемых системах управления необходимо оценивать качественные показатели работы системы для двух режимов ее работы для:

- переходных процессов под действием задающего или возмущающего воздействия;
- нового установившегося состояния характеристик работы системы, режима нормальной эксплуатации.

В общем случае, качество работы любой системы в любой момент времени оценивается величиной ошибки между требуемым значением регулируемой (управляемой) величины и ее действительным значением. Однако этот подход не может быть реализован из-за случайности характера сигналов входных и выходных как самой системы, так и любого практически ее элемента.

Поэтому выделяют критерии качества, каждый из которых, как правило, представляет собой группу конкретных показателей работы системы в различных типовых режимах при типовых воздействиях. Сюда относятся критерии точности САУ в установившемся и переходном режимах, запаса устойчивости и быстродействия.

Оценка качественных показателей работы системы управления

В данном пособии рассматриваются оценки качественных показателей работы системы управления для непрерывных технологических и производственных процессов, которые, как правило, являются системами стабилизации.

В общем случае выделяются следующие общие группы показателей качества работы рассматриваемого типа системы управления:

- оценка точности работы системы в установившемся и переходном режимах;
- оценка быстродействия системы;
- оценка запаса устойчивости.

Точность в установившемся режиме определяется следующими показателями:

- *оценкой установившейся, статической ошибки ΔX_{∞} в конце переходного процесса, равной*

$$\Delta X_{\infty} = \Delta Y_{\infty} - \Delta G(t),$$

где $\Delta G(t)$ – изменение задающего воздействия,

$\Delta Y_{\infty} = Y_{\infty} - Y_0$, установившееся приращение регулируемого параметра в конце переходного процесса;

Y_{∞} – установившееся истинное значение регулируемого параметра в конце переходного процесса;

Y_0 – значение регулируемого параметра при $t=0$.

- *оценкой дисперсии $\sigma^2_{уст.}$ регулируемого параметра в установившемся режиме при учете случайного характера его изменения.*

Тогда, зная дисперсию регулируемого параметра $\sigma^2_{исх}$, полученную по экспериментальному тренду, можно оценить **эффективность** работы проектируемой системы управления расчетом коэффициента эффективности по выражению

$$\epsilon = \sigma^2_{исх} / \sigma^2_{уст.}$$

Точность в переходном режиме определяется средним квадратом динамической ошибки за определенное время t переходного процесса в виде выражения

$$\bar{X}^2 = \frac{\sum_{t=0}^{\infty} \Delta X^2(t)}{t}.$$

Оценки $\sigma_{уст.}^2$ и $\bar{X}^2$ находятся, исходя из текстовых файлов результатов моделирования проектируемой системы, с применением элементов расчета в Excel.

В Приложении 9 на рисунках показаны переходные процессы для астатической системы по задающему и возмущающему воздействиям. На графиках отмечены все необходимые данные для определения соответствующих оценок качества.

Оценка запаса устойчивости определяет степень удаленности проектируемой системы от ее колебательной.

Границы устойчивости в плоскости варьируемых параметров. Эта оценка качества работы системы по переходным процессам включает в себя следующие показатели:

-максимальный динамический выброс ΔY_{max} , определяемый

по выражению $\Delta Y_{max} = Y_{max} - Y_0$,

где Y_{max} - максимальное значение регулируемого параметра в переходном процессе;

-перерегулирование σ для переходного процесса при

$\Delta Y_{\infty} \neq 0$ в виде выражения

$$\sigma = \frac{\Delta Y_{max} - Y_{\infty}}{Y_{\infty}} \times 100\%;$$

-перерегулирование σ для переходного процесса при

$Y_{\infty} = 0$ в виде выражения

$$\sigma = \frac{Y_2}{Y_1} \cdot 100 \%;$$

- затухание за период γ находится при колебательном переходном процессе; при этом определяются значения амплитуды колебаний относительно нового установившегося состояния ΔY_{∞} в виде относительного отношения приращения амплитуды параметра за период колебания в виде выражения

$$\gamma = \frac{Y_1 - Y_3}{Y_1} \cdot 100\% .$$

Оценка быстродействия системы может быть определена по двум показателям – по времени окончания переходного процесса системы, определяемому внутренними свойствами системы, и по времени регулирования, зависящему от заданной точности ξ работы системы.

Теоретически время переходного процесса равно бесконечности. Практически устанавливают определенную зону изменения регулируемого параметра, которая приближенно определяет время переходного процесса. Эта зона устанавливается в зависимости от ΔY_{∞} регулируемой величины в виде:

$$\Delta_1 = \pm (5 \div 3) \% \text{ от } \Delta Y_{\infty}, \text{ если } \Delta Y_{\infty} \neq 0.$$

Величина допустимой величины (зоны) отклонения регулируемого параметра определяется особенностями технологического процесса. Она может составлять величину более, чем $\pm 5 \%$.

Время переходного процесса тогда определяется в тот момент времени, когда начинает выполняться неравенство в виде

$$|\Delta Y(t_{\text{пер пр}}) - \Delta Y_{\infty}| \leq \Delta_1.$$

Если $\Delta Y_{\infty} = 0$, то время переходного процесса не определяется.

Время регулирования определяется заданной точностью ξ регулируемого параметра относительно изменения задающего воздействия $\Delta G(t)$ или номинального состояния Y_0 при анализе переходных процессов по возмущению.

Время регулирования для переходного процесса при изменении задания будет определяться моментом времени выполнения неравенства

$$|\Delta Y(t_{\text{рег}}) - \Delta G(t)| \leq \xi$$

Время регулирования для переходного процесса при изменении возмущающего воздействия будет определяться моментом выполнения неравенства

$$|\Delta Y(t_{\text{рег}})| \leq \xi.$$

Почти все описанные выше оценки качества проектируемой системы управления получены на основании численного анализа графического представления переходных процессов на основные виды воздействий. Такая форма работы требует, чтобы практически для каждой изображаемой кривой был выбран удобный для анализа масштаб, особенно это касается графика переходного процесса регулируемого параметра системы управления.

Пример такого графического выполнения результатов имитационного моделирования работы элементов системы приведен в Приложении 10, где масштаб представления каждой кривой индивидуален.

Практическое использование рассмотренных выше оценок качества работы системы управления по переходным процессам на исследуемый вид входного воздействия зависит от конкретных требований к системе и

условий их выполнения.

Моделирование САУ с применением MathLab

При моделировании одноконтурных аналоговых и дискретных (цифровых) САУ с помощью MATHLAB применяются схемы моделирования, представленные на рис. 10 и 11. В этих схемах должны использоваться передаточные функции звеньев моделируемой системы.

Моделирование аналоговой САУ

На рис. 12 показаны графики переходных процессов по заданию в аналоговой САУ поверхностной плотностью бумажного полотна при различных настройках регулятора.

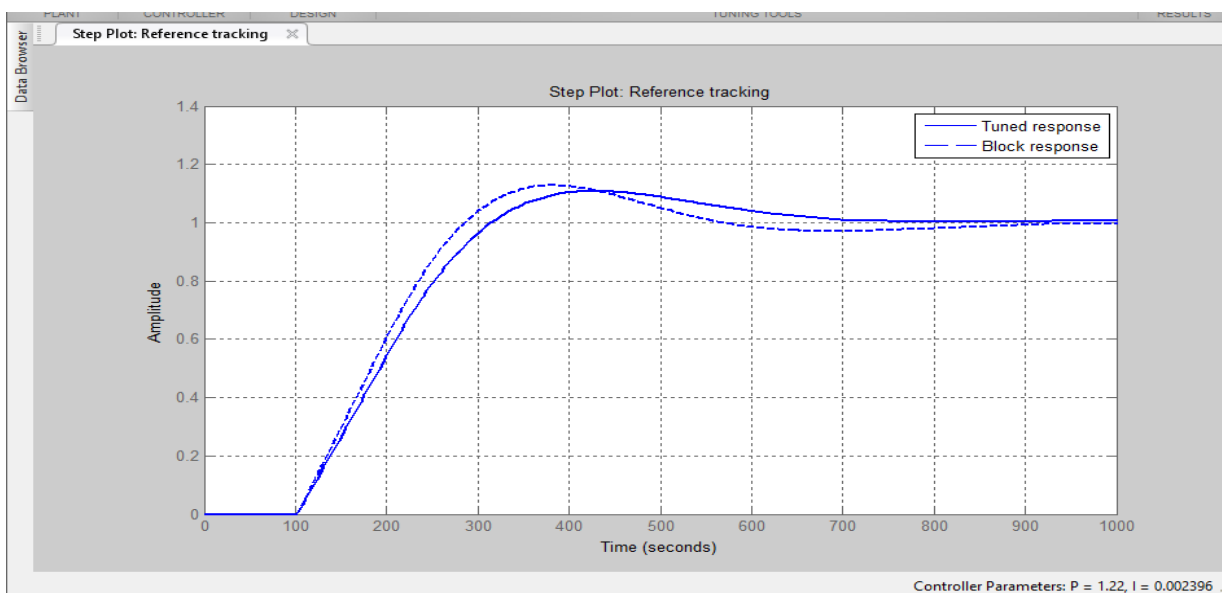


Рис.12. Графики переходных процессов по заданию в аналоговой САУ поверхностной плотностью бумажного полотна.

В табл. 6 представлены показатели качества управления при различных настройках регулятора аналоговой САУ.

Таблица 6. Показатели качества управления.

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	159 seconds	139 seconds
Settling time	661 seconds	786 seconds
Overshoot	10.9 %	12.8 %
Peak	1.11	1.13
Gain margin	8.88 dB @ 0.0153 rad/s	7.94 dB @ 0.0155 rad/s
Phase margin	56 deg @ 0.00555 rad/s	55 deg @ 0.00618 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

В этом случае наилучшими оказались настройки $P=1,2204$ и $I=0,0023957$, при которых время переходного процесса 331 с., а перерегулирование 10,9 %. Данные настройки обеспечивают требуемое качество регулирования по заданию.

Для проверки качества управления на возмущающее воздействие была принята величина возможного возмущения – изменение расхода каолина, равное 10 % от его номинального значения, что составляет 25 л/мин.

$\rho, \text{Г/м}^2$

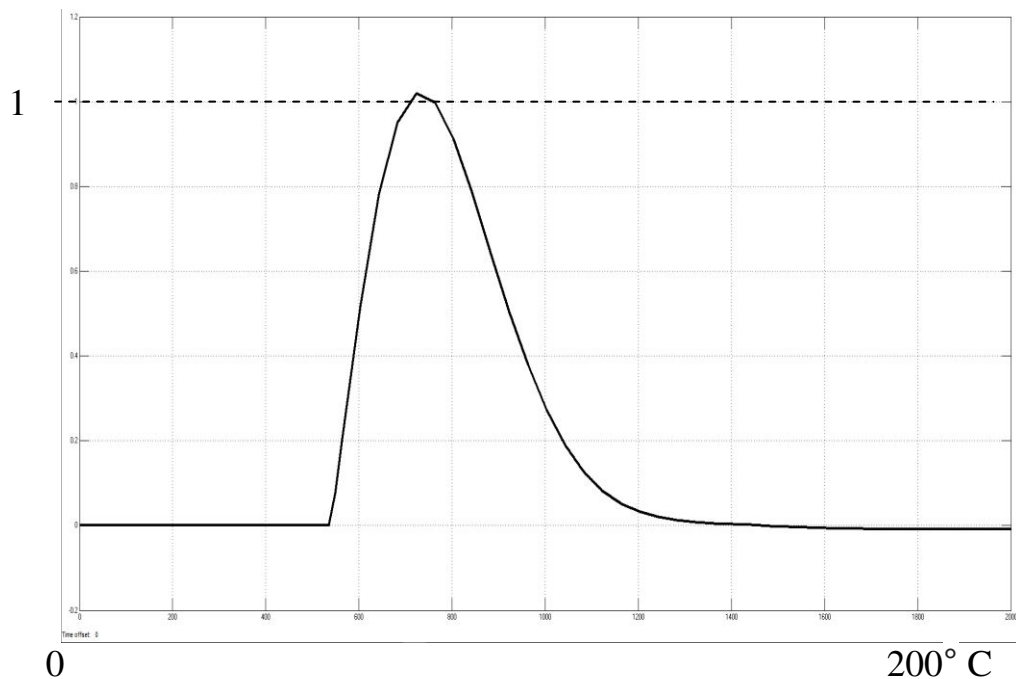


Рис. 13. Графики переходного процесса по возмущению в аналоговой САУ поверхностной плотностью бумажного полотна

Из графика на рис. 13 видно, что максимальная ошибка равна 1 г/м^2 при допустимом ее значении $\pm 3 \text{ г/м}^2$.

Анализ графиков переходных процессов в САУ поверхностной плотностью бумажного полотна показывает, что настройки регулятора САУ обеспечивают требуемое качество управления по быстродействию, запасу устойчивости и точности работы.

Моделирование дискретной САУ

На рис. 14 показаны графики переходных процессов по заданию в дискретной САУ поверхностной плотностью бумажного полотна при различных настройках регулятора.

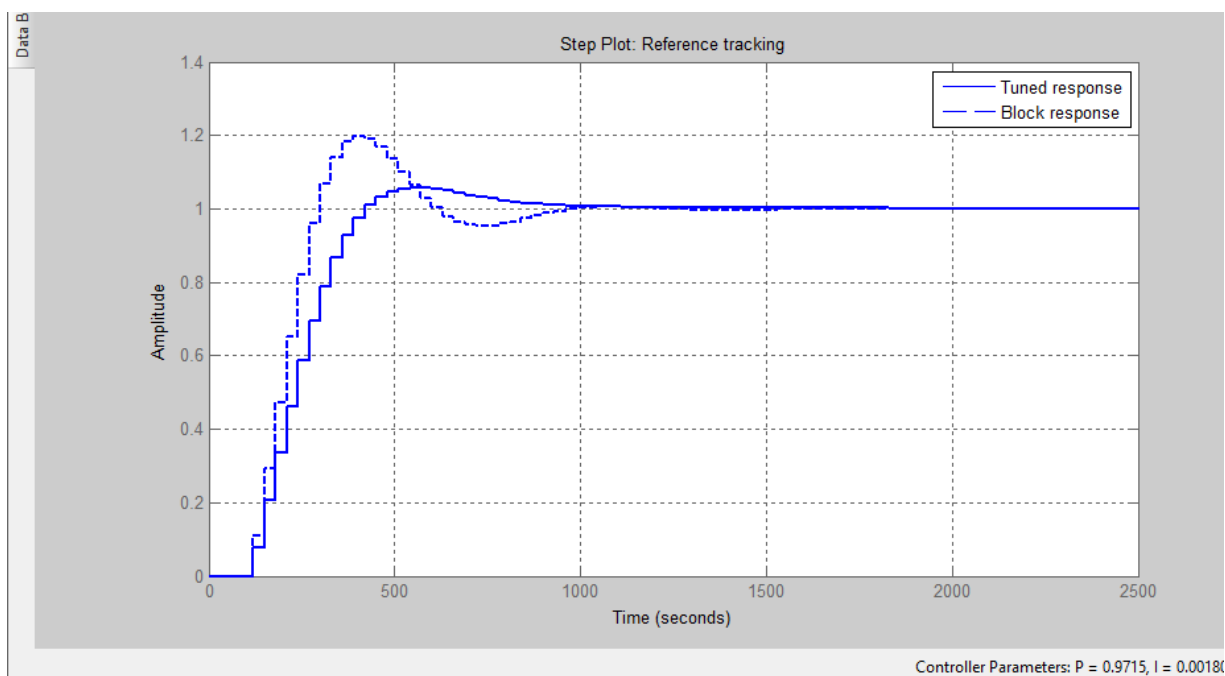


Рис.14. Графики переходных процессов по заданию в дискретной САУ поверхностной плотностью бумажного полотна.

В табл. 7 представлены показатели качества управления при различных настройках регулятора дискретной САУ.

Таблица 7. Показатели качества управления.

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	210 seconds	150 seconds
Settling time	810 seconds	870 seconds
Overshoot	5.74 %	19.8 %
Peak	1.06	1.2
Gain margin	10.1 dB @ 0.0134 rad/s	7.08 dB @ 0.0135 rad/s
Phase margin	60 deg @ 0.00429 rad/s	50.4 deg @ 0.00602 ra...
Closed-loop stability	Stable	Stable

Дискретность внесла определенное ожидаемое уменьшение быстродействия: $t_{\text{пп}}=661$ с непрерывной системы и $t_{\text{пп}}=810$ с дискретной системы.

На рис. 15 представлен график переходного процесса системы по возмущающему воздействию. Анализ графика показывает, что дискретная система, как и аналоговая, справляется с задачей стабилизации поверхностной плотности бумажного полотна.

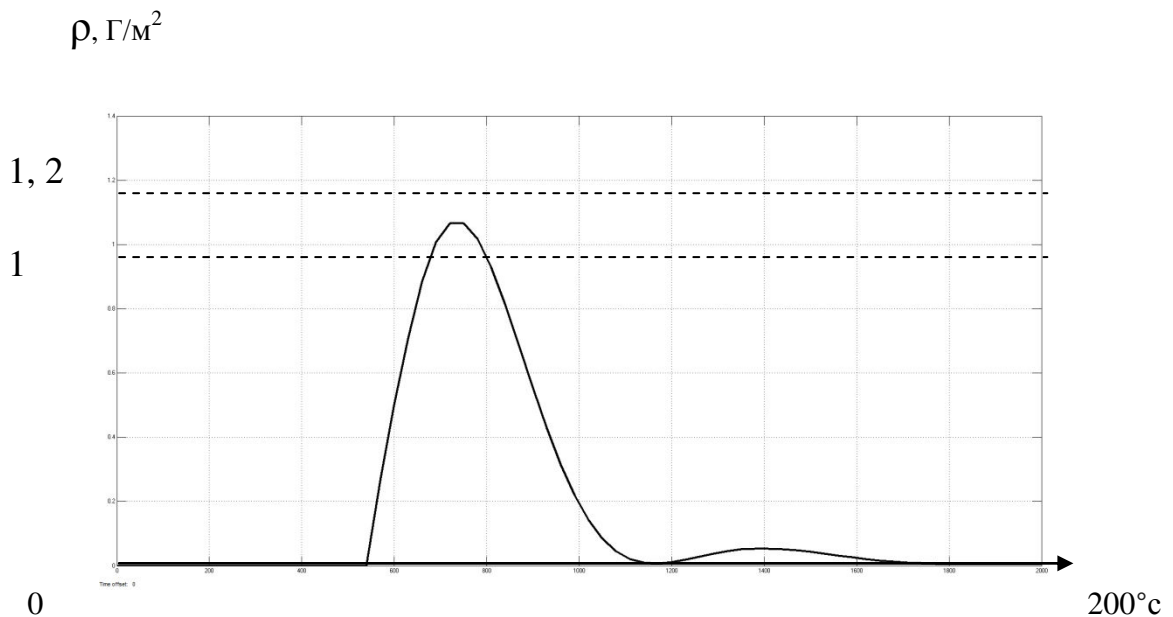


Рис. 15. График переходного процесса по возмущению в дискретной САУ поверхностной плотностью бумажного полотна.

При моделировании необходимо постоянно контролировать степень открытия массовой задвижки m . Этому служит элемент Score1.

На рис. 16 показан график изменение степени открытия клапана для последнего рассмотренного случая: работе системы при действии возмущающего воздействия.

m%

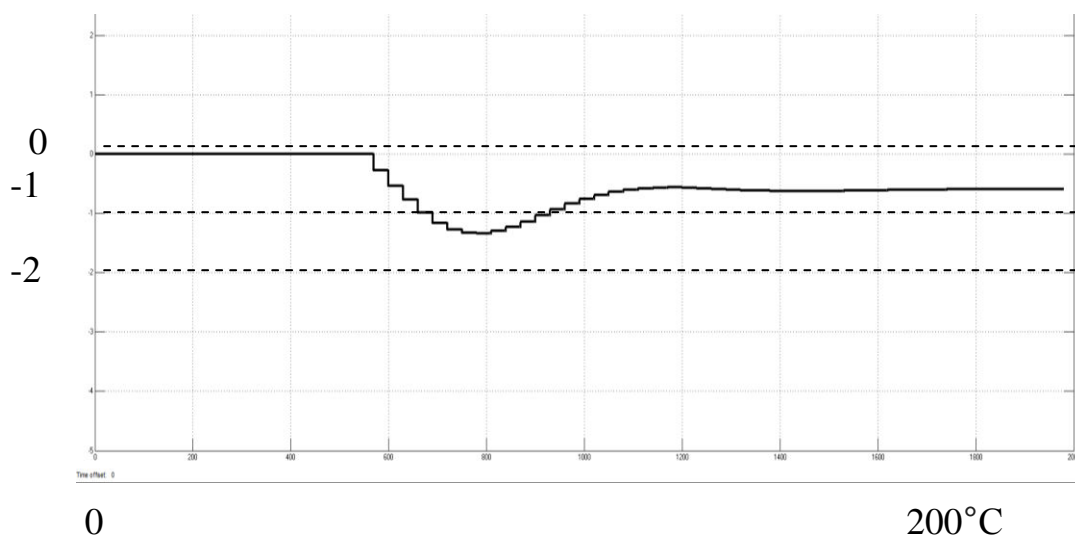


Рис. 16. График изменения степени открытия массного клапана.

Изменения m степени открытия клапана в пределах 2 % вполне возможны при принятом возмущении. Отсюда следует реальность результатов моделирования и применимость их к настройке регулятора

Моделирование САУ с применением программы ASIMLIN

Для проведения моделирования САУ в программу ASIMLIN необходимо ввести найденные значения параметров настроек регулятора k_1 и k_2 , а также передаточные функции всех звеньев САУ. Программа ASIMLIN позволяет строить графики переходных процессов по каналам управления и возмущения в САУ.

В Приложении 11 на рисунках в качестве примера показаны графики переходных функций по заданию и возмущению для астатической линейной САУ.

Далее по переходным процессам требуется оценить показатели качества управления САУ. Если найденные значения показателей будут удовлетворять предъявляемым требованиям, тогда расчет САУ считается завершённым. В противном случае требуется снова повторить расчет САУ, чтобы найти параметры настроек регулятора, обеспечивающие требуемое

качество управления САУ.

Если требования к качеству управления были высокими, например, требовалось высокое быстродействие и отсутствие перерегулирования, тогда следует провести дополнительное исследование, связанное с синтезом структуры и закона регулирования САУ.

2.4. Проектирование

2.4.1. Разработка функциональной схемы автоматизации технологического процесса

Функциональная схема автоматизации является основным техническим документом, определяющим функциональную структуру, параметры контроля, регулирования, сигнализации, защиты и блокировки, а также способы регулирования и организацию пунктов контроля и управления.

При разработке функциональных схем автоматизации используется ГОСТ 21.208-2013. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах.

ГОСТ устанавливает два способа построения функциональных схем автоматизации: упрощённый и развёрнутый. При упрощённом способе весь комплект приборов контроля или регулирования параметра изображается одним условным знаком, расположенным в любом месте чертежа и имеющим одно позиционное обозначение.

Такой способ может быть использован только для локальных систем управления, реализованных на приборных технических средствах (регуляторах). При развёрнутом способе каждый прибор системы контроля или регулирования параметра изображается отдельным условным знаком, а все приборы располагаются в нижней части чертежа в специальных прямоугольниках в зависимости от места расположения прибора. При этом способе позиционные обозначения всех приборов контроля или регулирования одного параметра имеют одну и ту же цифру, а каждый из приборов – эту цифру с цифровым индексом (через тире). Причём индексация проводится в направлении прохождения сигнала. Развёрнутый способ может быть использован для любых функциональных схем автоматизации.

В Приложении 12 приведён пример выполнения функциональной схемы автоматизации, реализованной на программно-техническом комплексе.

В 2.4.1 должна быть также представлена функциональная схема автоматизации технологического процесса в соответствии с темой ВКР. Например, функциональная схема автоматизации газозоудушного тракта

парового котла или функциональная схема автоматизации сушильной части БДМ.

2.4.2. Разработка функциональных схем САУ параметров технологического процесса

Здесь требуется представить функциональные схемы САУ параметров технологического процесса с описанием назначения и принципа действия каждой САУ. Также необходимо описать технические средства автоматизации САУ.

2.4.3. Разработка АСУ технологического процесса

В состав комплекса технических средств (КТС) АСУ технологическими процессами (АСУ ТП) входят программно-технический комплекс (ПТК), средства автоматизации полевого уровня, шкафы управления и кроссовые шкафы, шкафы силовой коммутации, а также местные пункты управления.

В данном подразделе ВКР необходимо разработать функциональную и техническую структуру АСУ технологического процесса.

В ВКР должны быть дополнительно выбраны необходимые приборы и средства автоматизации, входящие в состав АСУ технологического процесса.

Разработка функциональной структуры АСУ технологического процесса

В этом подразделе разрабатывается функциональная структура АСУТП, в которой должны быть представлены задачи, реализуемые информационной и управляющей подсистемами АСУТП, а также подсистемой автоматической защиты технологического оборудования или подсистемой технологических защит.

Функциональная структура АСУТП должна представлять информацию о функциях и задачах, реализуемых в разрабатываемой АСУТП.

Выбор ПТК

Современные АСУ создаются с использованием микропроцессорных ПТК, которые различаются способами технической реализации, масштабом и набором выполняемых функций. Основой технических средств ПТК являются микропроцессорные контроллеры, устройства ввода-вывода,

сетевое оборудование и компьютеры в обычном и промышленном исполнении.

При выборе ПТК необходимо учитывать концепцию построения АСУ:

АСУ представляет собой систему, содержащую программно-логические контроллеры (ПЛК) и SCADA-систему. АСУ представляет собой распределенную систему управления (PCU), или DCS (Distributed Control System).

Большинство современных АСУ строятся на основе промышленных ПЛК + Ethernet + операторские станции + SCADA-система. Это позволяет создавать АСУ, отвечающие в целом требованиям заказчиков. Однако при таком подходе имеются следующие недостатки: нет единой ответственности поставщика системы; всю ответственность несет системный интегратор; отсутствует реальное резервирование; невысокая скорость передачи и обработки данных.

Распределенные системы управления - это системы управления технологическими процессами с распределенным вводом/выводом информации и децентрализованной обработкой данных. В настоящее время находят применение такие PCY, как Centum CS300 (Yokogawa, Япония), Metso DNA (Metso Automation, Финляндия), Simatic PSS7 (Siemens, Германия), System800xA (ABB, Швеция). Современные PCY способны обрабатывать от сотен до тысяч и десятков тысяч сигналов, имеют высокую производительность и надежность, которая обеспечивается высоконадежной элементной базой компонентов и системами резервирования.

Современные PCY используют промышленные рабочие станции, многоканальные контроллеры, станции распределенного ввода/вывода, открытые промышленные сети (Industrial Ethernet, Profibus, CAN и др.), интеллектуальные устройства ввода/вывода, беспроводные устройства передачи информации, WEB-технологии обмена данными.

Для построения АСУ могут использоваться ПТК на основе специализированных, моноблочных (компактных) и программируемых модульных (проектно-компонуемых), а также PC-base, или PC-совместимых контроллеров.

Среди специализированных контроллеров можно выделить контроллеры СПЕКОН СК, предназначенные для автоматизированного управления в теплоэнергетике, имеющие объектно-ориентированное программное

обеспечение, табло и функциональную клавиатуру. На основе этих контроллеров можно создавать децентрализованные АСУ производством, распределением и потреблением тепловой энергии.

Имеется большое разнообразие моноблочных контроллеров для автоматизации небольших объектов в различных отраслях промышленности, среди которых можно выделить Simatic S7-200 («Siemens»), Simatic S7-300 («Siemens»), ТКМ 410 («ТЕКОН»), MC8 комплекса КОНТАР («МЗТА»).

При создании АСУ технологическими процессами и производствами широко используются программируемые модульные контроллеры вместе со SCADA-системами.

Широкое применение находят контроллеры фирмы Siemens, например, программируемый контроллер SIMATIC S7-300 - это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения АСУ низкой и средней сложности. Контроллер SIMATIC S7-300 широко применяется в различных отраслях промышленности благодаря наличию в своем составе: нескольких типов центрального процессора (CPU) различной производительности, различных модулей ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, функциональных модулей, способных самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, и коммуникационных процессоров.

Программируемый контроллер SIMATIC S7-400 - это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения АСУ средней и высокой сложности. Контроллер SIMATIC S7-400 находит широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря наличию в своем составе: нескольких типов центрального процессора (CPU) различной производительности, оснащенных встроенным интерфейсом PROFIBUS-DP, различных модулей ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, функциональных модулей (FM), способных самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, интерфейсных модулей (IM) и коммуникационных процессоров (CP) для организации последовательной передачи данных по PtP интерфейсу, а также сетевого обмена данными.

Модульная конструкция контроллера Siemens SIMATIC S7-400, гибкие возможности расширения, мощные коммуникационные возможности, простота создания РСУ позволяют решать задачи автоматизации практически любой сложности.

В АСУ котлоагрегатами и другими технологическими объектами в промышленности также находят применение контроллеры CJ1 и CS1 фирмы Omron (Япония).

Одним из перспективных направлений является создание АСУ на основе PC-base, или PC-совместимых, контроллеров, которые характеризуются следующим:

- имеют классическую открытую структуру IBM PC;
- работают под управлением тех же операционных систем, которые используются в PC, например, Windows, Unix, Linux, QNX;
- программирование выполняется на тех же языках, которые используются для разработки ПО для PC.

PC-base, или PC-совместимые, контроллеры, по сравнению с остальными, обладают большей производительностью, легче стыкуются с различными SCADA, MES, ERP системами, системами управления базами данных, открыты для большинства стандартов в области коммуникации и программирования, они в среднем дешевле и проще в обслуживании.

PC-base, или PC-совместимые контроллеры могут использовать программное обеспечение различных производителей, имеют больший объем памяти, чем традиционные ПЛК, возможности расширения и модернизации, а также лучшего диагностирования. Однако эти контроллеры в целом обладают избыточностью вычислительных ресурсов и функций ввиду их универсальности, возможностью зависания с длительным временем рестарта, пониженной надежностью за счет множества компонентов (приложений) на платформе PC.

В промышленности находят применение, наряду с зарубежными контроллерами, например, ADAM 4500, ADAM 5510/5511, ADAM-6500 компании «Advantech» (Тайвань), Direct Logic 470 компании «Kooyo Electronics» (Япония) и отечественные: контроллеры «ТЕКОН», контроллер КРОСС (ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация») и др.

Линейка контроллеров «ТЕКОН» (многофункциональные контроллеры МФК, МФК 3000, МФК 1500, ТКМ 52, ТКМ 410) охватывают практически все возможные задачи от автоматизации отдельных агрегатов и установок до создания АСУ ТЭС и ТЭЦ.

Контроллер КРОСС-500 (ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация»). Основное назначение контроллера - построение недорогих и надежных АСУ технологическими процессами различного класса (простые и сложные, медленные и быстрые) в различных отраслях промышленности. Контроллер КРОСС-500 является проектно-компонуемым изделием, состав которого определяет пользователь, в зависимости от решаемых задач.

При выборе контроллера для АСУ необходимо учитывать, что РС-несовместимые контроллеры (специализированные, моноблочные и модульные) лучше учитывают требования, предъявляемые к промышленным системам управления. Они в целом более надежны. В них шире используются возможности связи с различными полевыми шинами. В этой связи они находят более широкое применение в АСУ технологическими процессами и производствами.

При выборе ПТК учитываются такие факторы, как количество и тип входных и выходных сигналов, пределы и необходимая точность измерения, метрологические характеристики, технические характеристики, область и практика применения, завод-изготовитель, доступность, наличие сервисной базы, стоимость изделия и его обслуживания, сроки и гарантии поставки, опыт эксплуатационного персонала и др.

В ВКР необходимо выбрать ПТК, работающий в непрерывном режиме эксплуатации, на основе технико-экономического сравнения двух вариантов ПТК российского и зарубежного производства.

В состав ПТК должны входить: программируемый контроллер (контроллеры) с модулями ввода/вывода входных и выходных сигналов, станция оперативного управления или программируемый терминал (терминалы), сетевое оборудование, вторичные источники электропитания, источники бесперебойного питания.

Разработка технической структуры АСУ технологического процесса

В ЦБП и энергетике нашли широкое применение трехуровневые АСУТП, в которых:

- 1-й уровень представляет собой объект управления с полевой автоматикой (датчики, регулирующие органы, исполнительные механизмы);
- 2-й уровень – это контроллер или контроллеры, осуществляющие

формирование управляющих сигналов, сбор и передачу информации на верхний уровень АСУТП;

- 3-й, или верхний, уровень – это операторская станция с автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов - технологов.

В этом подразделе необходимо определить количество модулей ввода/вывода входных и выходных сигналов для ПТК на основе таблиц входных и выходных сигналов, используемых в АСУ.

В технической структуре АСУТП должны быть представлены:

- объект управления с полевой автоматикой;
- АРМ операторов-технологов;
- инжиниринговая станция;
- кроссовые шкафы;
- шкафы управления с ПЛК, имеющие в своем составе CPU, память и выбранные модули ввода/вывода;
- шкафы силовой коммутации с усилителями, пусковой аппаратурой и схемами управления электроприводами;
- источники электропитания ПЛК, усилителей и пусковой аппаратуры.

В составе АСУТП могут быть пункты местного управления, реализованные на промышленных терминалах. В этом случае эти устройства должны быть показаны на технической структуре АСУТП.

Для организации передачи данных в АСУТП требуется выбрать физические каналы передачи данных (коаксиальный кабель, витая пара и оптоволоконный кабель) и промышленную сеть. В зависимости от области применения весь спектр промышленных сетей можно разделить на следующие уровни:

- контроллерные сети (Field level) – промышленные сети, решающие задачи по управлению процессом производства, сбором и обработкой данных на уровне промышленных контроллеров;

- сенсорные сети (сети низовой автоматики): ASI (Actuator/Sensor Interface), HART, Modbus, решают задачи опроса датчиков и управления исполнительными механизмами;

- промышленные сети контроллерного уровня: PROFIBUS(Process Field Bus), control Net, CAN (Controller Area Network);

- универсальные сети: LON (Local Operating Network), Foundation Fieldbus, Ethernet/Industrial Ethernet.

В Приложениях 13, 14, 15 и 16 приведены примеры функциональной и технической структур АСУ, внутреннего вида шкафа управления и плана прокладки кабельной сети.

Выбор приборов и средств автоматизации

В состав АСУ, кроме ПТК, входят измерительные преобразователи (в комплекте), вторичные приборы, пусковая и управляющая аппаратура, исполнительные устройства (исполнительные механизмы и регулирующие органы), а также шкафы управления, кроссовые шкафы, пункты управления, вспомогательные устройства, необходимые для работы средств автоматики.

При выборе приборов и средств автоматизации учитываются такие факторы, как вид используемой энергии (пневматические или электрические), наличие выходного сигнала, пределы измерения, метрологические характеристики, область и практика применения, завод-изготовитель, доступность, цена приборов и др.

При автоматизации теплоэнергетических процессов преимущественно используются электрические приборы, а при автоматизации химических производств – пневматические приборы, в частности, исполнительные механизмы. Предпочтение отдаётся приборам, имеющим стандартные входные и выходные сигналы. Система автоматизации должна строиться на однотипных приборах одной серии или системы.

Все выбранные средства автоматизации управления оформляются в виде заказной спецификации, которая является частью заказной спецификации оборудования и имеет стандартную форму (см. таблицу 8).

Форма заказной спецификации средств автоматизации управления.
Таблица 8.

Пози- ция	Наимено- вание и техничес- кая харак- теристика	Тип, мар- ка	Код оборудова- ния	Завод- изготови- тель	Единица измере- ния	Кол- во	Масса едини- цы	Приме- чание

При большой заказной спецификации она может быть размещена в Приложении.

Шкафы управления

Шкаф управления представляет собой комплектное низковольтное устройство, обеспечивающее комплексную защиту и автоматизацию управления технологическими процессами. Шкафы управления разрабатываются на базе микропроцессорной техники с возможностью регистрации событий и параметров и интеграции в систему АСУТП.

Шкафы управления объединяют следующие функции:

1. Резервирование питания.
2. Управление и защита двигателей и механизмов от недопустимых режимов работы.
3. Поддержание требуемых климатических условий в помещении с помощью приточной и вытяжной вентиляции.
4. Учет наработки оборудования, учет воды, учет электроэнергии.
5. Диспетчеризация.

Шкаф может изготавливаться в навесном или напольном исполнении.

В шкафу предусматривается защита электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях.

Шкафы управления содержат источник бесперебойного питания (ИБП). ИБП предназначен только для бесперебойной работы контроллера при отсутствии основного питания.

Шкаф может быть укомплектован GSM модемами.

Шкаф может комплектоваться по заказу другими типами оборудования.

Кроме этого, в шкафах управления может размещаться следующее оборудование:

- релейные схемы управления (реле, контакторы, тепловые реле, кнопки, переключатели);
- вводные автоматические термоманитные выключатели стационарного исполнения в качестве коммутирующих устройств;
- микропроцессорная схема управления на контроллерах;
- частотные преобразователи;
- устройства плавного пуска;
- шкафное оборудование.

При расположении оборудования в шкафах необходимо предусматривать расположение контроллеров и средств автоматизации на уровне не ниже 1000 мм от пола и не выше 1700 мм.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКИ

Работе над ВКР предшествует преддипломная практика, целью которой является получение всех исходных данных для последующей работы над

ВКР. При этом необходимые данные могут быть получены как на реальном объекте, так из литературных источников.

Кроме описания существующей системы управления, необходимо провести необходимые эксперименты в соответствии с заданиями на преддипломную практику и ВКР, а также сделать анализ ее работы и наметить пути модернизации системы управления.

Перед преддипломной практикой студенту назначается руководитель ВКР и выдается тема, а также направление на практику.

Содержание отчета о практике указывается в задании (Приложение 17).

Отчет о практике, подписанный студентом и руководителем от предприятия, скрепленный печатью предприятия, сдается руководителю ВКР, который оценивает отчет и проставляет оценку в зачетную книжку студента. Формы титульных листов отчетов и отзывов руководителей по преддипломной практике показаны в Приложениях 18-21.

Далее отчет с оценкой сдается заведующему кафедры, который проставляет оценку в зачетную ведомость.

Форма задания на преддипломную практику и титульного листа отчета о практике приведены в Приложениях 17, 2.

Студенты, не сдавшие в срок отчет по преддипломной практике, не допускаются к государственному экзамену. Допуск к государственному экзамену оформляется приказом по ВШТЭ.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ РУКОВОДСТВА ВКР

По каждой теме выпускной квалификационной работы приказом по представлению кафедры назначаются руководители квалификационной работы из числа ведущих преподавателей и научных работников ВШТЭ или других организаций.

По темам квалификационных работ, выполняемых на промышленных предприятиях и в проектных организациях, могут назначаться руководители из числа высококвалифицированных инженеров из соответствующих организаций. Кроме руководителя по каждому специализированному разделу работы, в случае необходимости назначается консультант.

Руководитель и консультанты выпускной квалификационной работы:
-выдают задание на выполнение работы, которое утверждает зав. кафедрой АТП и П;

- оказывают студенту помощь в разработке календарного плана работы на весь период;
- рекомендуют студенту необходимую литературу, справочно-нормативные материалы и другие источники информации по теме работы;
- проводят систематические, предусмотренные расписанием, консультации;
- проверяют выполнения работ по темам.

Руководитель оказывает помощь студенту в решении основных конструкторско-исследовательских вопросов и контролирует в целом ВКР.

В контрольные сроки проверки хода выполнения квалификационных работы руководитель должен информировать выпускающую кафедру об объеме выполненных студентами работ.

Контроль и помощь руководителя и консультантов не освобождают студента от полной ответственности за своевременность и правильность выполнения выпускной квалификационной работы.

Перед допуском к защите в ГЭК проводится предзащита ВКР.

Предзащите предшествует проверка ВКР на плагиат с представлением справки о его прохождении.

К пояснительной записке прикладывается CD, содержащий пояснительную записку в форматах Word и PDF, а также презентацию.

Окончательный допуск студента к защите осуществляет зав. кафедрой АТП и П.

5. ПРОЦЕДУРА И СРОКИ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ГИА

Не позднее чем за 6 месяцев до начала ГИА выпускающая кафедра готовит организационно-методические материалы по ГИА (программы ГИА, требования к ВКР и порядку их выполнения, тему ВКР, билеты на гос. экзамен, критерии оценки результатов госэкзамена и защиты ВКР, порядок апелляции и др.)

Не позднее чем через две недели после преддипломной практики выпускающая кафедра готовит служебные записки от руководителей ВКР о темах ВКР и приказы об утверждении тем ВКР и назначении руководителей.

Учебно-методическое управление ВШТЭ выдает руководителям ВКР логины и пароли к системе «антиплагиат».

До процедуры предзащиты руководитель ВКР проверяет электронную версию ВКР в системе «антиплагиат».

Не позднее чем за семь дней до защиты выпускающая кафедра проводит процедуру предзащиты ВКР и готовит приказ о допуске к защите ВКР.

Защиты ВКР должны завершаться не позднее 30 июня.

6. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВКР

Оценка бакалаврской работы осуществляется Государственной экзаменационной комиссией (ГЭК) по результатам защиты. При оценке выпускной квалификационной работы ГЭК учитывает:

-качество выполнения представленных к защите материалов, пояснительную записку, чертежи, плакаты, презентацию в соответствии требованиями ЕСКД;

-содержание доклада, отражающее суть выполненной работы;

-правильность и четкость ответов на вопросы членов ГЭК;

-отзыв руководителя о работе студента;

-успеваемость студента в течение обучения;

-эрудированность студентах.

Результаты защиты ВКР оцениваются индивидуально каждым членом ГЭК, а затем выставляется комплексная оценка: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется студенту, показавшему всесторонние и глубокие знания при выполнении квалификационной работы и публичной защиты ее ГЭК по всем разделам, самостоятельно решившему все задачи на высоком уровне, оформившему пояснительную записку и графический материал в полном объеме в соответствии с требованиями ЕСКД.

Оценки «хорошо» заслуживает студент, работа которого при общем высоком уровне и соответствии требованиям имеет незначительные недоработки, студентом даны недостаточно четкие ответы на вопросы членов ГЭК.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в том случае, когда в работе допущены ошибки, небрежность в оформлении пояснительной записки и графического материала, при неточных ответах на вопросы членов ГЭК.

Оценки «неудовлетворительно» заслуживает студент, работа которого выполнена в неполном объеме, допущены принципиальные ошибки в расчетах, оформление пояснительной записки и графических материалов не

соответствует требованиям ЕСКД, студентом не даны ответы на вопросы членам ГЭК.

Форма отзыва руководителя ВКР представлена в Приложении 22.

7. ОФОРМЛЕНИЕ ВКР

Каждому комплекту документов ВКР присваивают самостоятельное обозначение, в состав которого включают базовое значение и марку. Базовое значение состоит из номера направления и через тире - шифра студента. Марка ВКР по автоматизации состоит из буквы А и марки того производства (оборудования), для которого разрабатывается система автоматического управления и через точку порядковый номер документа. Например, для ВКР студента с шифром 98035, занимающегося автоматизацией котельной установки (КУ), обозначение ВКР будет 15.03.04-98035 АКУ.Х, где Х – порядковый номер документа.

7.1. Оформление текстовой части ВКР

При оформлении пояснительной записки ВКР следует руководствоваться стандартом ГОСТ 7.32-2001.

В текстовую часть входит реферат ВКР, пример которого представлен в Приложении 23.

Пояснительная записка ВКР выполняется машинописным способом на одной стороне бумаги. При печати на компьютере рекомендуется шрифт TIMESNEWROMAN размером 14 пунктов, печать через полтора межстрочных интервала.

При печати оставляются поля: справа 10 мм, слева, сверху и снизу – по 20 мм, нумерация страниц - внизу - посередине.

Нумерация страниц пояснительной записки начинается с реферата со стр.3.

Распечатки с компьютера, программы и схемы алгоритмов при их объеме до трёх страниц располагаются непосредственно по тексту изложения, при большем объёме их оформляют как приложения.

В перечень использованной литературы включаются все источники информации, использованные при дипломном проектировании. Они размещаются в порядке появления в тексте записки. При ссылке в тексте на

источники информации приводится порядковый номер по списку литературы, заключенный в квадратные скобки.

Все материалы пояснительной записки располагаются так, чтобы их можно было читать без разворота записки, либо путём поворота по часовой стрелке на 90°.

Объем пояснительной записки должен составлять от 60 до 90 страниц.

7.2. Оформление графической части ВКР

Графическую часть ВКР условно можно разделить на чертежи и демонстрационные материалы (слайды).

Графическая часть ВКР в пояснительной записке оформляется в виде рисунков.

К чертежам относятся функциональные схемы автоматизации и конструктивно-технологические схемы оборудования. Чертежи выполняются в соответствии с нормативными документами. Чертежи выполняются методом машинной графики.

Чертежи должны быть выполнены на стандартных форматах согласно ГОСТ 2.301-68 (рекомендуется формат А4 или А3) с основной надписью (штампом) по ГОСТ 21.101-93 в правом нижнем углу. Образец основной надписи приведён в Приложении 24.

Чертежи должны быть размещены в Приложении к ВКР.

Демонстрационные материалы (схемы, графика, формулы, программы и т.д.) выполняются произвольно в соответствии с общепринятыми правилами. Демонстрационные материалы необходимо выполнять методом машинной графики, например, в системе Auto CAD. Демонстрационные материалы (слайды для презентации) должны быть оформлены в виде самостоятельного документа и представлены в Приложении к ВКР. В материалах презентации должны быть представлены все сведения по основным разделам ВКР, использованные при защите ВКР.

В Приложениях 25 и 26 приведены некоторые нормативные документы, используемые при работе над ВКР.

Приложения

Титульный лист ВКР. Приложение 1.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Институт

Направление подготовки (специальность)

Выпускающая кафедра

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

"__" _____ 20 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(пояснительная записка)

на тему

Исполнитель - студент учебной группы

(номер учебной группы)

(фамилия, имя, отчество, подпись)

Руководитель выпускной квалификационной работы

(ученая степень, звание, фамилия, имя, отчество, подпись)

Консультанты:

Нормоконтролер

Санкт-Петербург

2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Утверждаю

Заведующий кафедрой

«_____» _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Студенту _____

1. Тема выпускной квалификационной работы _____

утверждена приказом _____ от _____ № _____

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы

3. Исходные данные по выпускной квалификационной работе

4. Перечень подлежащих разработке в выпускной квалификационной работе вопросов или
ее краткое содержание

5. Перечень иллюстративно-графического и раздаточного материала (с точным указанием обязательных чертежей)

6. Консультации по выпускной квалификационной работе с указанием относящихся к ней разделов

7. Дата выдачи задания _____ Руководитель ВКР _____
(ф.и.о.,подпись)

Задание принял к исполнению, о процедуре проверки текста выпускной квалификационной работы на основе системы «Антиплагиат» извещен.

подпись студента

(дата)

Расчет и выбор РО с применением NelProf. Приложение 3.

Control | Notes and warnings | Characteristics Curves | Comparison

Toggle Width | Expand/Collapse

Project
Area
Tag
Control

Liquid | Water | Pulp
Gas | Steam | 2phase

Carbon Disulfide

L spec grav
Density kg/m3 1263
Crit press barA 74
Viscosity cp
Sound vel m/s 1400
Special serv Normal
Dpm-factor 0.3

Design P barA
DesignTmax degC
DesignTmin degC

☐ Actuator sizing
☐ Recommended safety factor

☐ Resistors | Details

Calculate

Result:

Pipeline	Unit	Inlet dia	Outlet dia	Thickness	Schedule
	mm	100	100		40

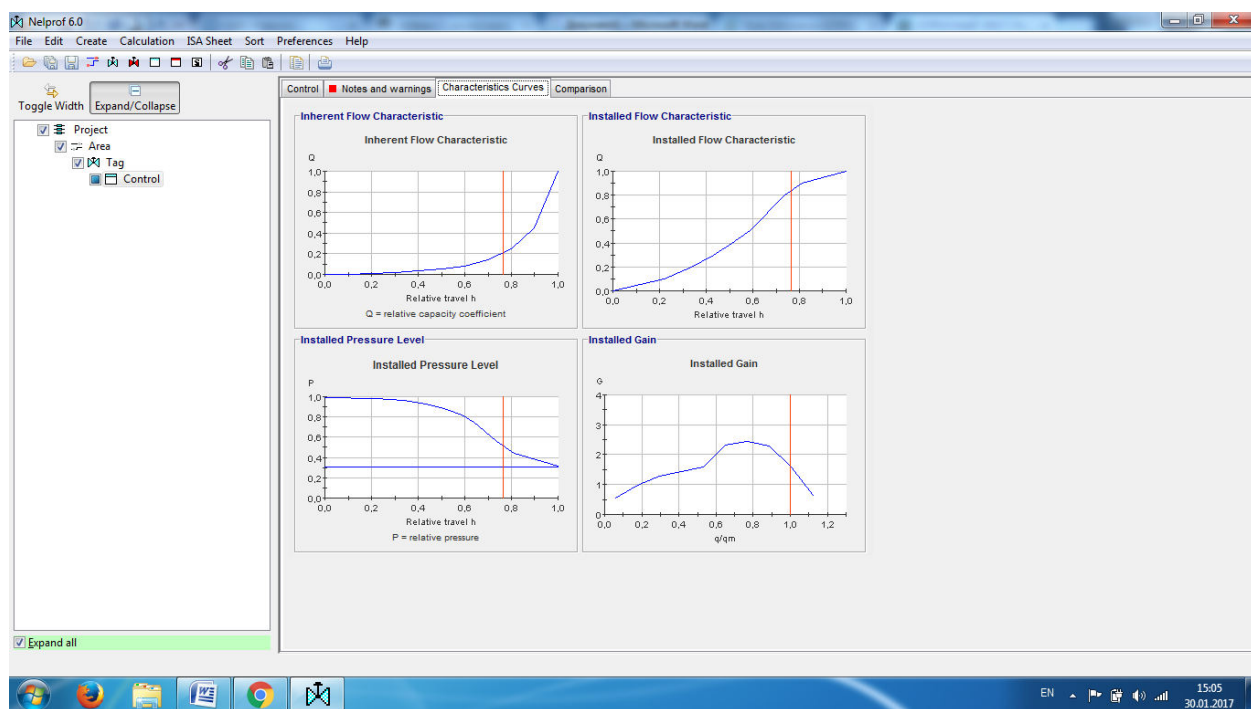
Flow data	Unit	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Liq flow	m3/h	1000			
Inlet temp	degC	70			
Inlet press	barA	20			
Press diff	bar	8			
Outlet press	barA	12			
Vap press	barA	2.071			

Valve	Unit	Type	Press rating	Code	Size
	mm	BALL	ALL ANSI	M2	AUTOM

Results	Unit	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Max capacity	FpCv	2200			
Req capacity	FpCv	459.81			
Travel	%	76.3			
Opening	deg	71.8			
Noise	dBA [IEC]	107 *			
Flow velocity	m/s	35.37 *			
Terminal dp	bar	8.74			
Fl coeff.		0.69			

☐ Expand all

Программа NelProf для расчета и выбора РО.



Результаты расчета и выбора РО с применением NelProf.

Схема взаимосвязи между параметрами процесса. Приложение 4.

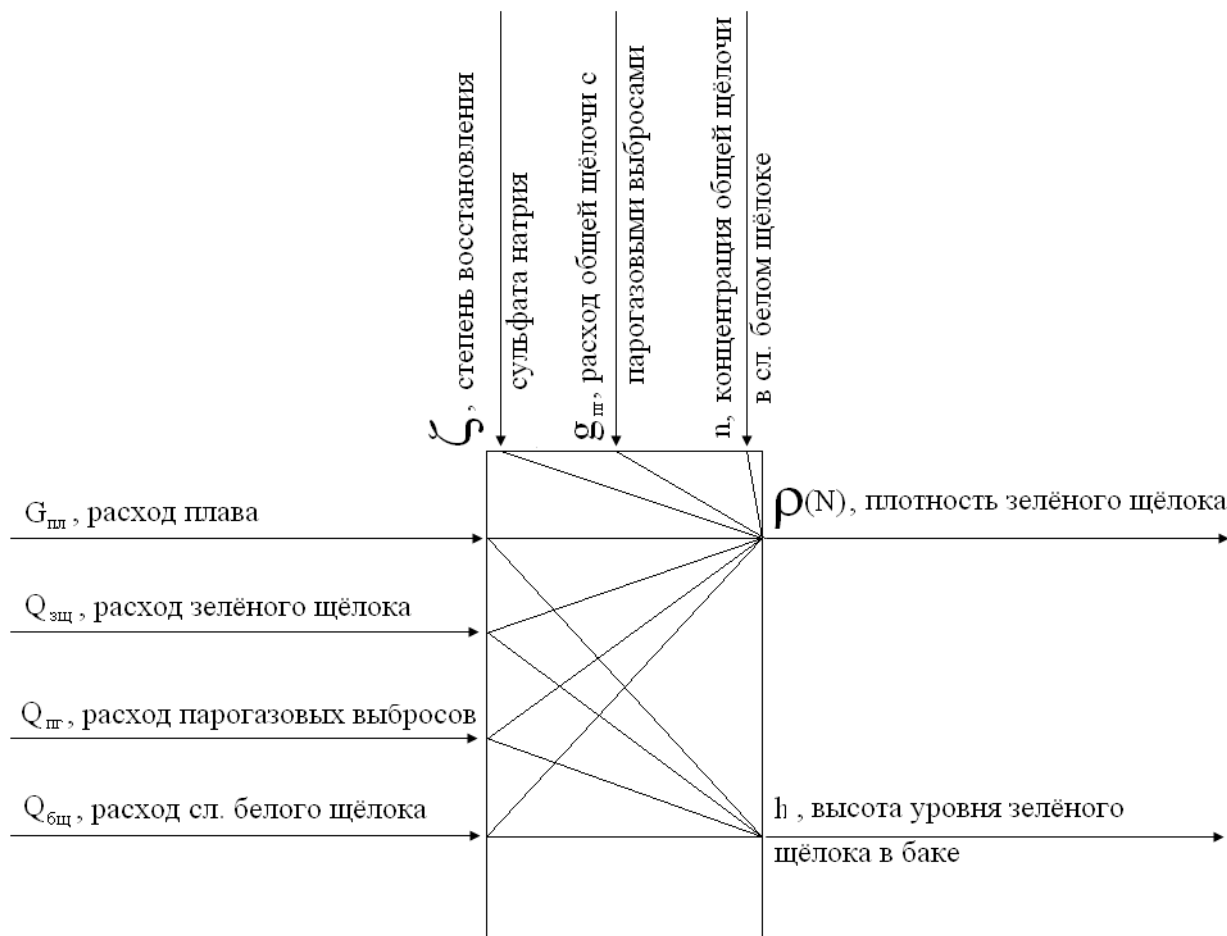


Схема взаимосвязи между параметрами процесса получения зелёного щёлока при регенерации химикатов в СРК.

Условные обозначения:

$G_{пл}$ – массный расход плава в бак-растворитель плава, кг/ч

ρ – плотность слабого белого щёлока в бак-растворитель плава, кг/м³

n – концентрация общей щёлочи в слабом белом щёлоке,

$Q_{бщ}$ – объёмный расход белого щёлока, м³/ч

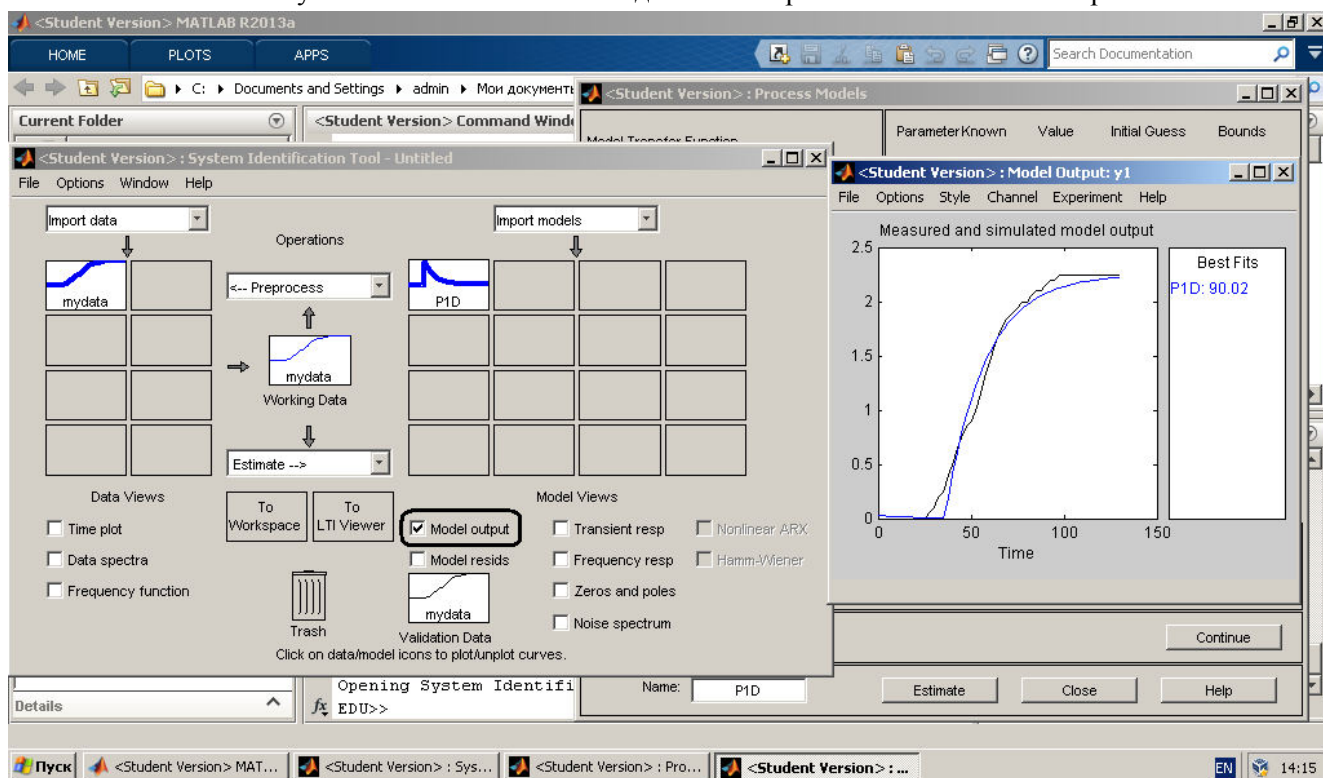
$\rho_{зщ}$ – плотность зелёного щёлока в бак-растворителе плава, кг/м³

$Q_{зщ}$ – объёмный расход зелёного щёлока, м³/ч

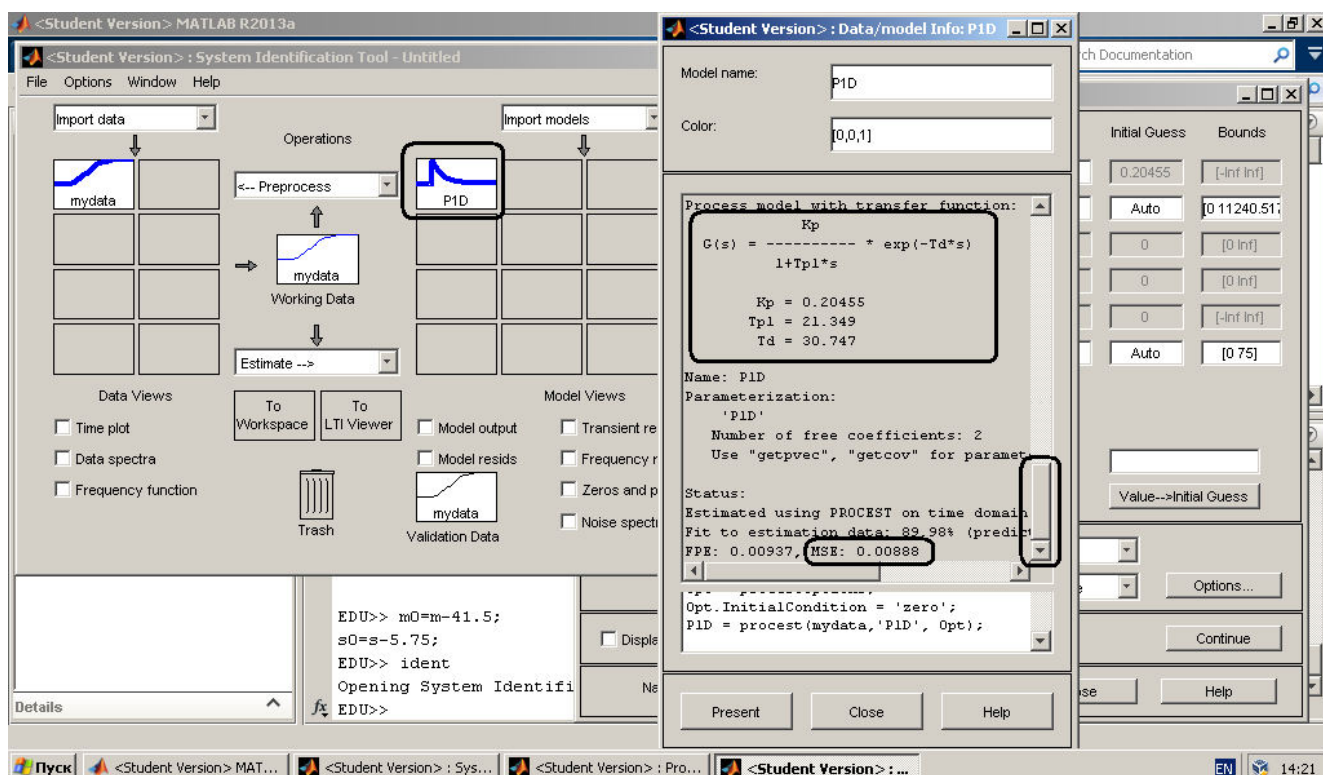
V – объём зелёного щёлока в растворителе плава, м³

$^{\circ}$ – индекс параметра при номинальном режиме работы СРК

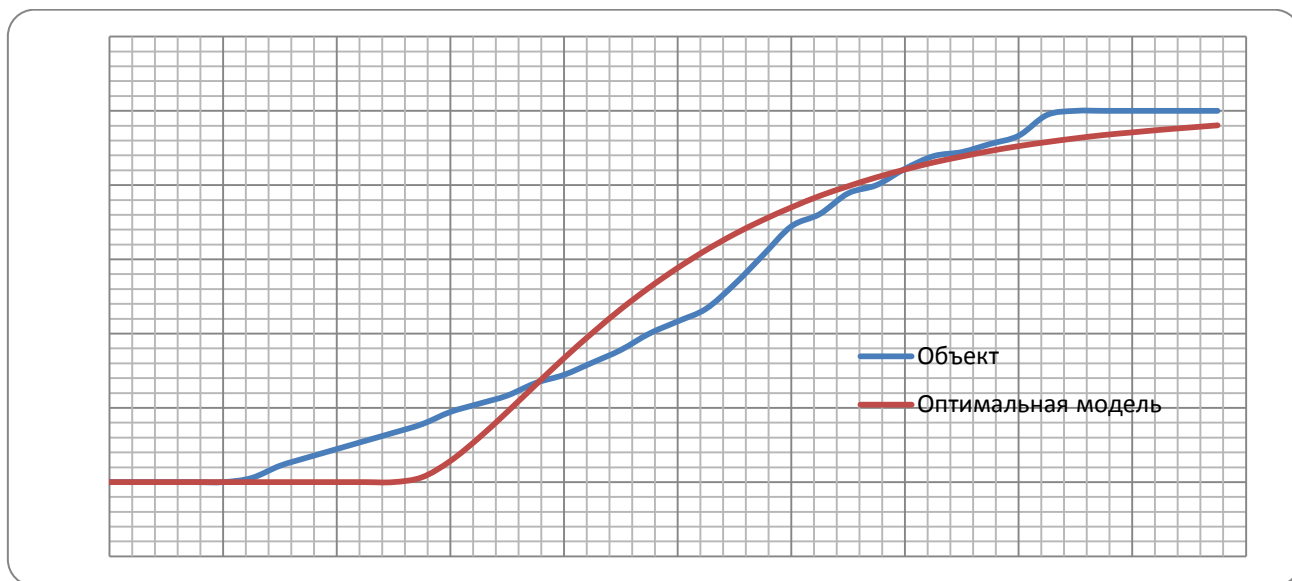
$B_p^{щ}$ – расход чёрного щёлока на сжигание, рабочая масса, кг/ч



Нормированные переходные функции ОУ и модели.



Параметры модели ОУ и значение среднеквадратической ошибки модели «MSE».



Нормированные переходные функции объекта и модели.

Передаточная функция математической модели объекта управления:

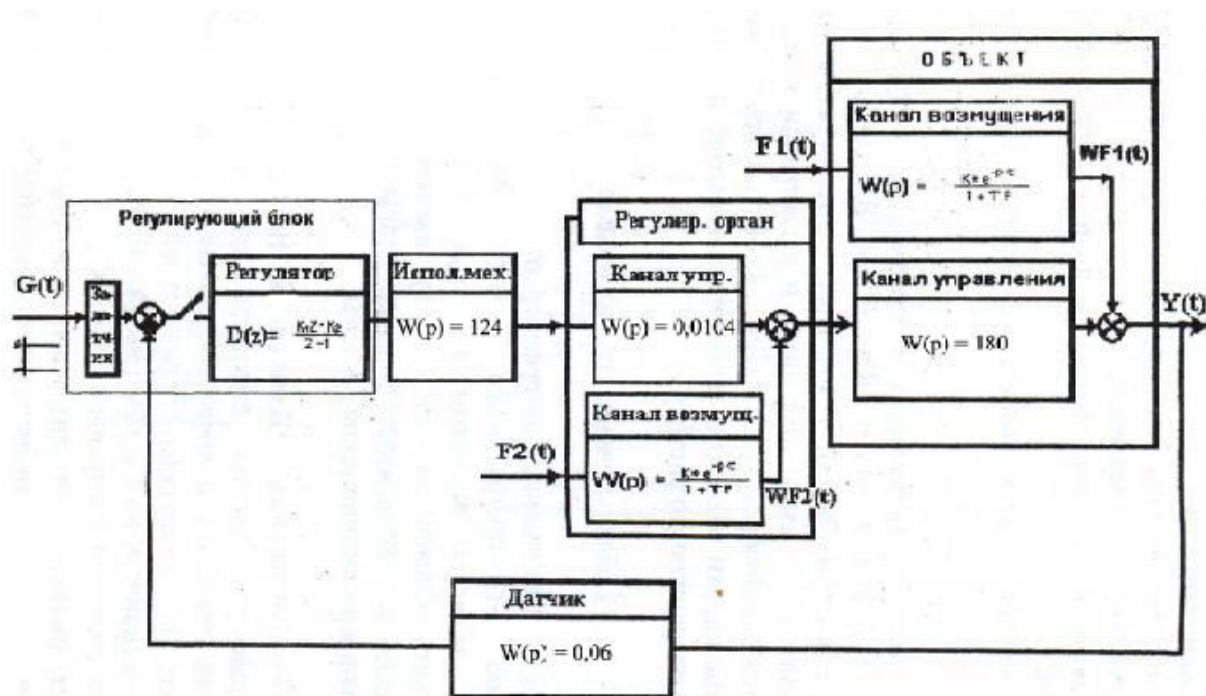
$$W(p) = \frac{k \times e^{-p\tau}}{1 + Tp} ,$$

где коэффициент передачи $k = 1 \text{ } [^{\circ}\text{C}/(\text{м}^3/\text{ч})]$;

постоянная времени $T = 37.2 \text{ [с]}$

запаздывание $\tau = 63.5 \text{ [с]}$

Данной аппроксимирующей модели соответствует значение дисперсии адекватности 0.005995.



Структура САУ

Примеры рисунков, иллюстрирующих расчет САУ:



Область устойчивости САУ



Линия равного запаса устойчивости САУ



Оценка качества управления САУ при изменении задающего воздействия



Оценка качества управления САУ при изменении возмущающего воздействия



Переходный процесс при возмущении на входе канала РО

Примеры графиков переходных процессов в линейной астатической САУ. Приложение 11.

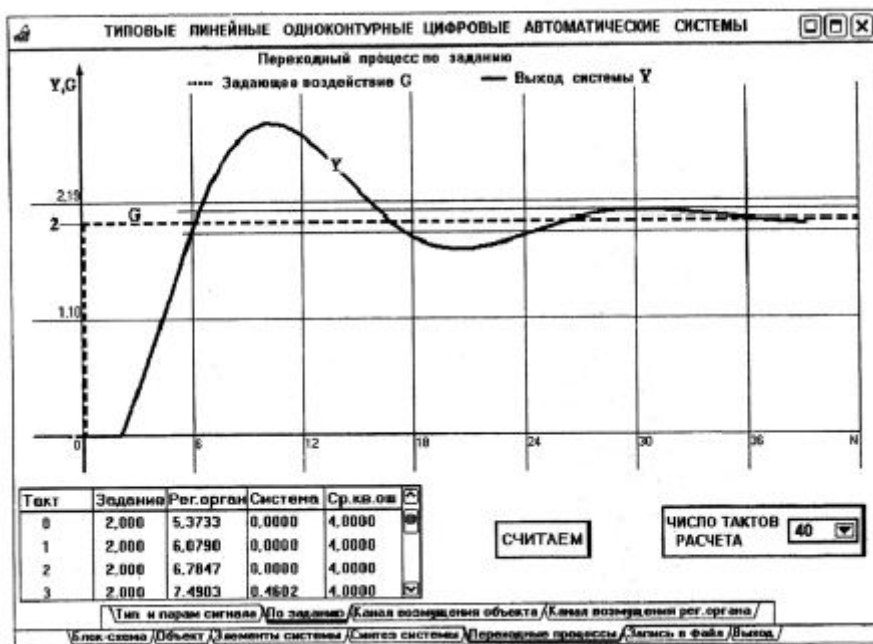


График переходного процесса по заданию.

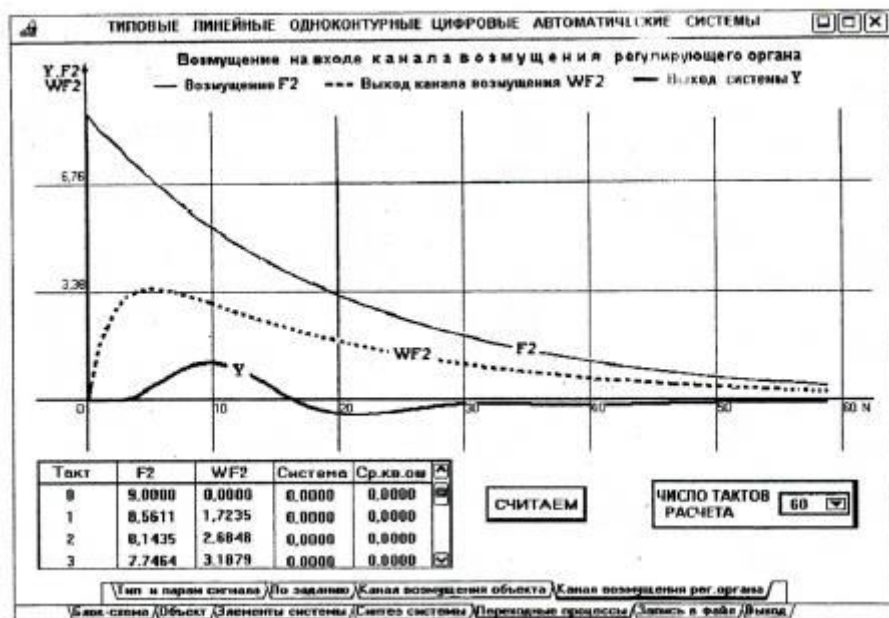
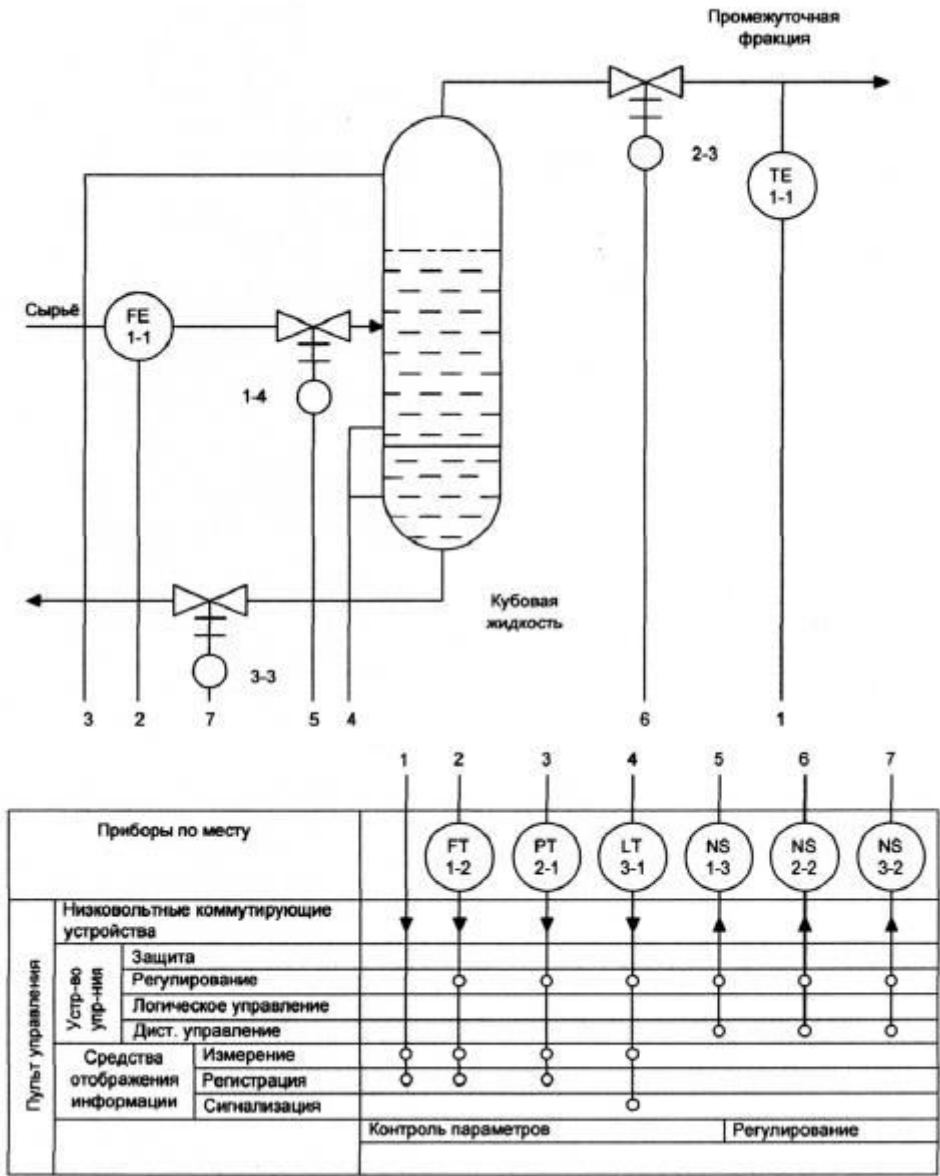
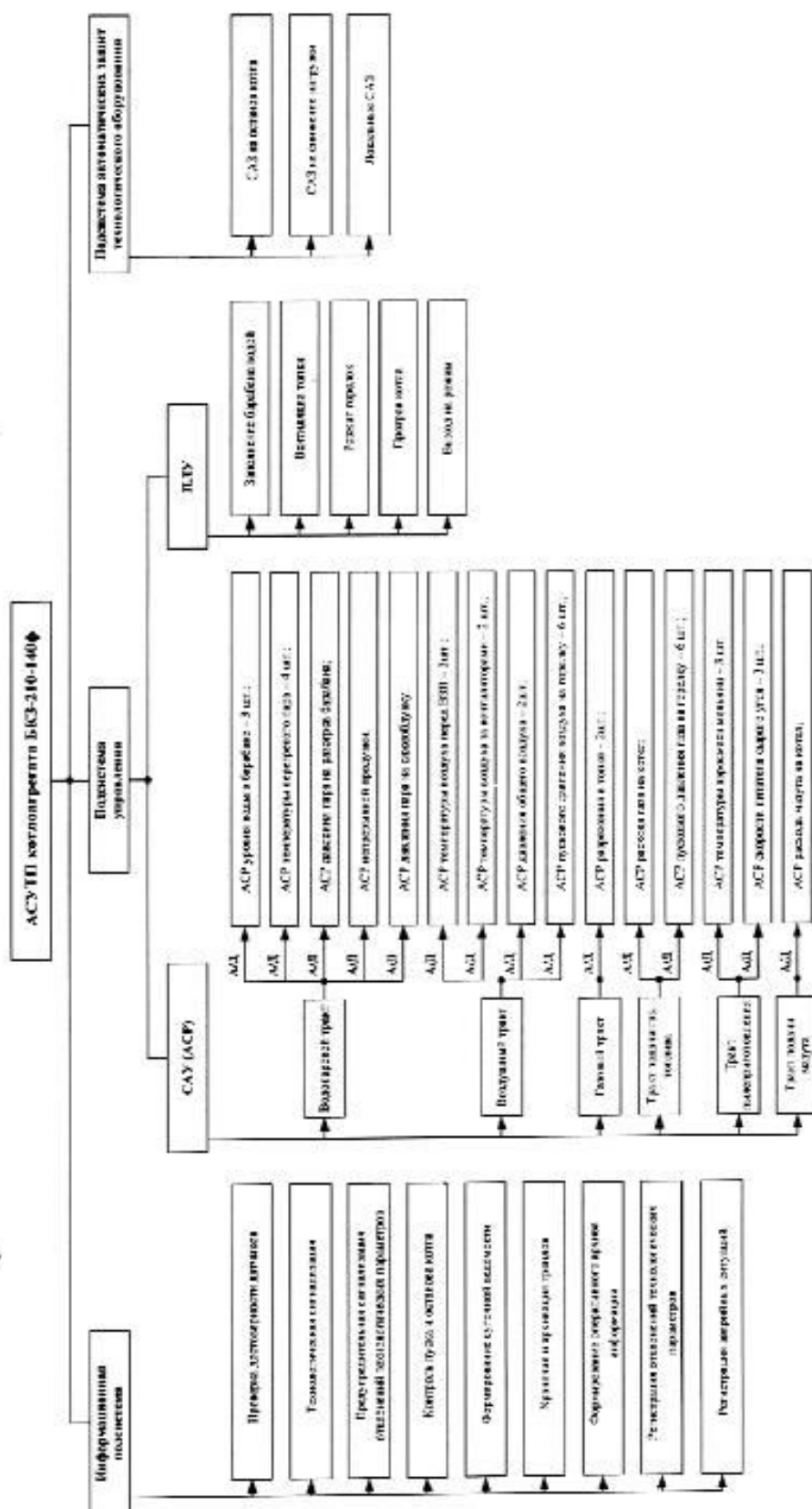
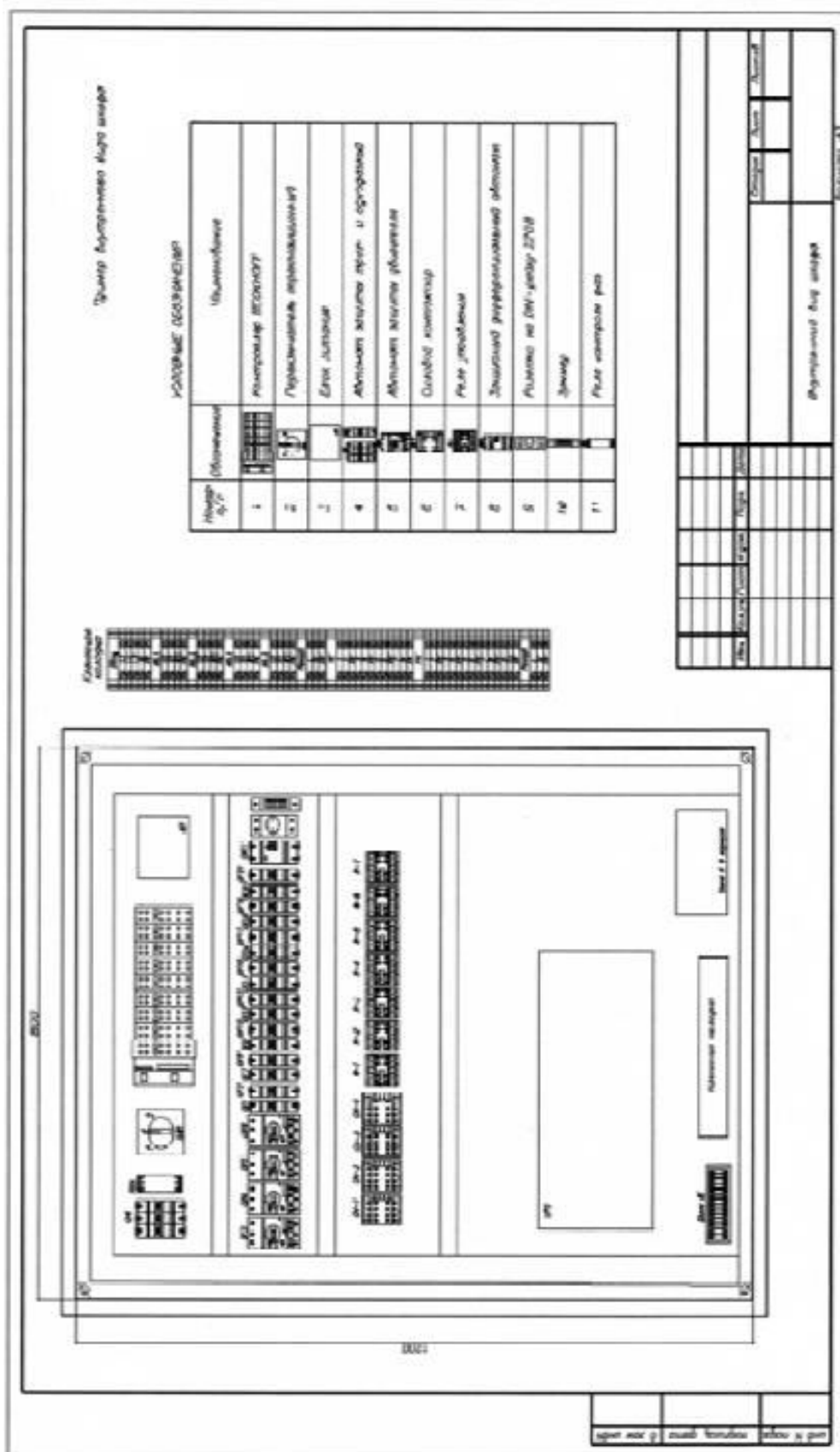


График переходного процесса по возмущению



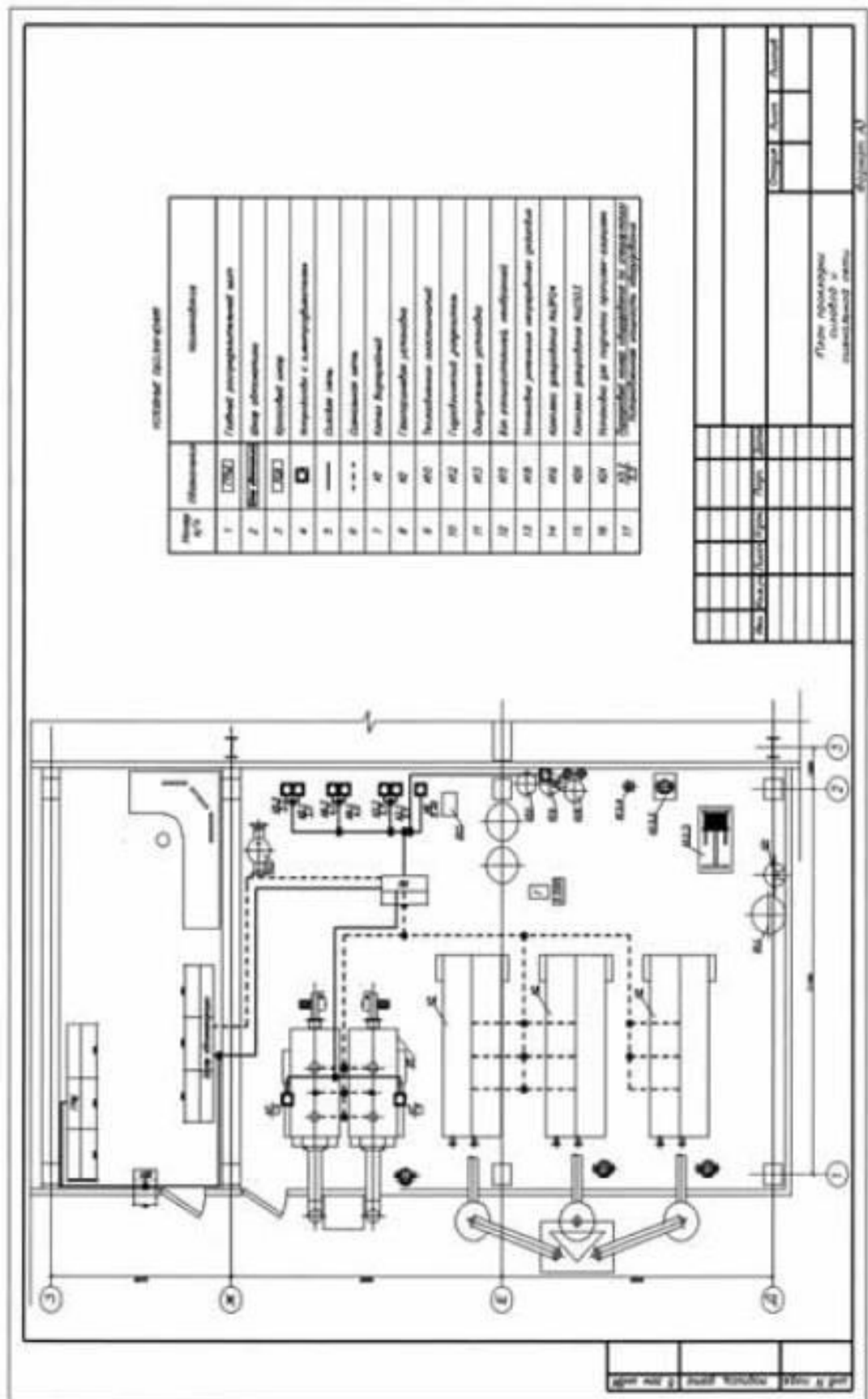
Функциональная схема автоматизации





План прокладки кабельной сети. Приложение 16

Приложение 19.



Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Рабочий график (план) практики и индивидуальное задание

Вид практики преддипломная

Тип практики _____

Студент (аспирант) _____
(Ф.И.О.)

Институт Энергетики и автоматизации
(наименование института)

Курс _____ Учебная группа _____ Форма обучения _____

Направление подготовки (специальность) 15.03.04, АТП и П
(код и наименование направления (специальности))

Профиль подготовки (специализация) АТП и П
(наименование профиля по учебному плану)

Сроки прохождения практики с _____ 201 г. по _____ 201 г.
(по календарному учебному графику)

Место прохождения практики Кафедра АТП и П
(полное наименование организации)

Должность студента (аспиранта) на
практике (при наличии) _____

Рабочий график (план) прохождения практики

Дата	Содержание выполняемых работ и заданий	Форма отчетности
Общие (типовые вопросы, изучаемые в ходе практики)		

	4. Индивидуальное задание (заполняется руководителем ВКР)	

Требования по выполнению и оформлению индивидуального задания

**Выполнять и оформлять в соответствии с ГОСТ 7.32-2001 «Отчет по НИР» п.6.
Правила оформления отчета**

**Вид (ы) отчетных материалов по практике и требования к их оформлению
в соответствии с индивидуальным заданием**

**Выполнять и оформлять в соответствии с ГОСТ 7.32-2001 «Отчет по НИР» п.6.
Правила оформления отчета**

Руководитель от
профильной организации:

(наименование организации)

(должность, Ф.И.О., печать организации)

(подпись, печать)

Руководитель от ВШТЭ
СПбГУПТД:

(должность/ звание, ученая степень, Ф.И.О.)

(подпись)

Задание принял к
исполнению:

(Ф.И.О.)

(подпись)

Дата _____

Санкт-Петербург

2017

Титульный лист отчета о преддипломной практике (практика в ВШТЭ). Приложение 18.
Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Институт _____

Кафедра _____

Направление подготовки (специальность) _____

Профиль подготовки: (специализация) _____

ОТЧЕТ

о прохождении практики

(наименование вида практики)

тип практики:

(наименование типа практики)

Руководитель структурного
подразделения
ВШТЭ СПбГУПТД :

(должность, Ф.И.О.)

*(подпись,
печать
организации)*

Руководитель
ВШТЭ СПбГУПТД:

*(должность/ звание, ученая степень,
Ф.И.О.)*

(подпись)

Обучающийся:

(Ф.И.О.)

(подпись)

Курс _____

Учебная группа: _____

**Санкт-Петербург
2017**

Титульный лист отчета о преддипломной практике (практика на предприятии). Приложение 19.
Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Институт _____

Кафедра _____

Направление подготовки (специальность) _____

Профиль подготовки: (специализация) _____

ОТЧЕТ

о прохождении практики

(наименование вида практики)

тип практики:

(наименование типа практики)

Руководитель
от профильной организации:

(наименование организации)

*(должность, Ф.И.О., печать
организации)*

*(подпись,
печать)*

Руководитель
от ВШТЭ СПбГУПТД:

*(должность/ звание, ученая степень,
Ф.И.О.)*

(подпись)

Обучающийся:

(Ф.И.О.)

(подпись)

Курс _____

Учебная группа: _____

**Санкт-Петербург
2017**

Отзыв о преддипломной практике (практика в ВШТЭ). Приложение 20.
Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Отзыв о практике обучающегося

Студент (аспирант) _____
(Ф.И.О.)

Институт _____
(наименование института)

Курс _____ Учебная группа _____ Форма обучения _____

Направление подготовки (специальность) _____
(код и наименование направления (специальности))

Профиль подготовки (специализация) _____
(наименование профиля по учебному плану)

проходил (а) _____ практику
(вид и тип практики)

с « _____ » 201_ года по « _____ » 201_ года

в _____
(полное наименование профильной организации)

Результаты работы

Личные и деловые качества

Качество отчета по практике

Рекомендации

Оценка

Руководитель практики
от ВШТЭ СПб ГУПТД:

_____ (должность, Ф.И.О.) _____ (подпись)

Телефон _____

**Санкт-Петербург
2017**

Отзыв о преддипломной практике (практика на предприятии). Приложение 21.
Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Отзыв о практике обучающегося

Студент (аспирант) _____
(Ф.И.О.)

Институт _____
(наименование института)

Курс _____ Учебная группа _____ Форма обучения _____

Направление подготовки (специальность) _____
(код и наименование направления (специальности))

Профиль подготовки (специализация) _____
(наименование профиля по учебному плану)

проходил (а) _____ практику
(вид и тип практики)

с « _____ » 201_года по « _____ » 201_года

в _____
(полное наименование профильной организации)

Результаты работы

Личные и деловые качества

Качество отчета по практике

Рекомендации

Оценка

Руководитель практики

от профильной организации:

_____ (должность, Ф.И.О.) _____ (подпись)

Телефон _____

М.П.

**Санкт-Петербург
2017**

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Институт энергетики и автоматизации
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

ОТЗЫВ

**руководителя о работе студента в период подготовки выпускной
квалификационной работы**

Фамилия, И., О. студента _____

Форма обучения _____

Направление подготовки _____

Наименование темы выпускной квалификационной работы

1. Характеристика проделанной работы по всем разделам пояснительной записки ВКР (*научный уровень/качество выполнения расчетов/ адекватность использованных методов/ связность изложения и составления пояснительной записки*)

2. Характеристика качества оформления текста, иллюстраций, графических работ

3. Степень самостоятельности работы студента над ВКР и отношение к процессу ее выполнения (*инициатива, самостоятельность, активность, ответственность*)

По результатам проверки ВКР системой "Антиплагиат" оценка оригинальности составляет _____%

4. Уровень подготовленности студента *(характеристика теоретической и практической подготовки/сформированность общекультурных, общепрофессиональных (профессионально-специализированных) и профессиональных компетенций/готовность и способность решать конкретные производственные и конструкторские задачи на базе последних достижений науки, техники, технологии, экономики, культуры и социальной сферы)*

Место работы, должность, ученая степень, звание руководителя ВКР

Фамилия, И., О. _____

Подпись _____

" ____ " _____ 20 ____ г.

С отзывом ознакомлен

Подпись студента _____

« ____ » _____ 20 ____ г.

Санкт-Петербург
2017

Реферат

ВКР 85 с., 24 рис., 12 табл., 50 источников, 2 прил.

ТЭЦ-1 ЧЕПЕЦКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА, КОТЕЛ ЦКТИ-75-39Ф2, ПРОЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПТК СПЕКОН.

Объектом автоматизации является котел ЦКТИ-75-39Ф2 ТЭЦ-1 Чепецкого механического завода.

Цель работы – модернизация АСУТП котельной установки с разработкой системы регулирования температуры свежего пара.

Выполнены исследования двух вариантов системы регулирования температуры пара на математической модели. Определены параметры настройки регуляторов.

В результате исследования выбран двухконтурный вариант системы регулирования.

В качестве технических средств автоматизации выбран ПТК СПЕКОН.

Внедрение предполагается на котлах ст. №№12, 13 ТЭЦ-1 ЧМЗ.

Пример основной надписи для чертежей и схем
по ГОСТ 21.101-93.

11x5=55							15.03.04-98035 АКУ.3				
							Чепецкий механический завод				
	Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					
	Разработал						ТЭЦ-1 Котел ЦКТИ-75-39Ф2		Стадия	Лист	Листов
	Проверил								15	15	20
	Н. Контр						Функциональная схема автоматизации		СПб ВШПТЭ АТП и П		
	Утвердил										
20		20		15	10	70		50			
185											

Перечень видов нормативных документов.

1. Государственные стандарты (ГОСТ).
2. Строительные нормы и правила (СН и П).
3. Система проектной документации для строительства (СПДС).
4. Единая система конструкторской документации (ЕСКД).
5. Система технической документации на АСУ (СТД АСУ).
6. Единая система программной документации (ЕСПД).
7. Единая система стандартов на АСУ (ЕСС АСУ).
8. Руководящие документы (РД).
9. Руководящие методические материалы (РММ).
10. Отраслевые стандарты (ОСТ).
11. Технические условия (ТУ).
12. Технические нормативы (ТН).
13. Регламенты.

Перечень ГОСТ и РД.

1. Для чертежей, предназначенных для производства строительного-монтажных работ:

ГОСТ 21.101-93. СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации. (Или ГОСТ Р 21.1101-92-действует).

ГОСТ 21.110-95. СПДС. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.

ГОСТ 21. 208-2013. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.

2. Для чертежей изделий, подлежащих изготовлению на предприятии.

ГОСТ 2.101-68. ЕСКД. Виды изделий.

ГОСТ 2.102-68. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.103-68. ЕСКД. Стадии разработки.

ГОСТ 2.104-68. ЕСКД. Основные надписи.

3. Общие правила выполнения чертежей.

ГОСТ 2.301-68. ЕСКД. Форматы.

ГОСТ 2.302-68. ЕСКД. Масштабы.

ГОСТ 2.303-68. ЕСКД. Линии.

ГОСТ 2.304-68. ЕСКД. Шрифты чертежные.

ГОСТ 2.307-68. ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений.

ГОСТ 2.701-84. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 2.793-79. ЕСКД. Обозначения условные графические. Элементы и устройства машин и аппаратов химических производств. Общие обозначения.

ГОСТ 2.109-73. ГОСТ 2.119-73, ГОСТ 2.120-73. ЕСКД. Основные требования к чертежам.

ГОСТ 2.781-96. ЕСКД. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические устройства управления и приборы контрольно-измерительные.

4. Для текстовых документов на изделия всех отраслей промышленности и строительства:

ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106-96. ЕСКД. Текстовые документы.

ГОСТ 2.113-75. ЕСКД. Групповые и базовые конструкторские документы.
5. Для автоматизированных систем управления (АСУ):

ГОСТ 24.104-85. СТД АСУ. Автоматизированные системы управления.
Общие требования.

ГОСТ 24.301-80. СТД АСУ. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 24.302-80. СТД АСУ. Общие требования к выполнению схем.

ГОСТ 24.303-80. СТД АСУ. Обозначения условные графические
технических средств.

ГОСТ 24.304-82. СТД АСУ. Автоматизированные системы управления.
Требования к выполнению чертежей.

ГОСТ 24.701-86. СТД АСУ. Надёжность автоматизированных систем
управления. Основные положения.

ГОСТ 34.003-90. СТД АСУ. Информационная технология. Комплекс
стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения.

ГОСТ 34.201-90. СТД АСУ. Информационная технология. Комплекс
стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и
обозначение документов при создании автоматизированных систем.

ГОСТ 34.601-90. СТД АСУ. Информационная технология. Комплекс
стандартов на автоматизированные системы. Стадии создания.

ГОСТ 34.602-90. СТД АСУ. Информационная технология. Комплекс
стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на
создание автоматизированной системы.

ГОСТ 19.003-80. Схема алгоритмов и программ. Обозначения условные
графические.

ГОСТ 19.002-80. Схема алгоритмов и программ. Правила выполнения.

ГОСТ 2.702-75. Условные изображения в электрических схемах.

РД50-680-88. Автоматизированные системы управления. Основные
положения.

РД50-698-90. СТД АСУ. Автоматизированные системы управления.
Требования к содержанию документов.

Библиографический список

1. Суриков В.Н., Малютин И.Б., Серебряков Н.П. Автоматизация технологических процессов и производств: учебно-методическое пособие/ СПб ГТУРП. - СПб., 2011.-62 с.
2. Серебряков Н.П. Проектирование автоматизированных систем: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию/ СПб ГТУРП.-СПб., 2011. -42 с.
3. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов. -М.:МЭИ, 2007. -352 с.
4. ГОСТ21.28-2013. Автоматизация технологических процессов. Обозначения Условные приборов и средств автоматизации в схемах.
5. ГОСТ7.32-2001. Отчет о научно- исследовательской работе. Структура и правила оформление.
6. Бельский А.П., Самойло В.Н., Казаков В.Г. Выпускная работа бакалавра: методические указания/СПб ГТУРП. -СПб., 2011. -47 с.
7. РТМ 108.711.02-79. Арматура энергетическая. Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной характеристики.
8. Селянинова Л.Н. Автоматизированная система имитационного моделирования систем управления: учебно-методическое пособие/СПб ГТУ РП. - СПб., 2007. -111 с.
9. Порядок создания автоматизированных систем управления технологическими процессами в отрасли энергомашиностроения. ОСТ 108.004.03-82. Разделы (Этапы работ по автоматизации. Разработка концепции. Разработка технических требований).
10. Тверской Ю.С., Крайнов В.К., Шамко В.Н., и др. Опыт формирования концепции модернизации АСУТП мощных энергоблоков тепловых электростанций. //Электрические станции, 2002. №8. С. 4-11.
11. ГОСТ 34.201-89 · Информационная технология. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем.
12. Автоматизация промышленных теплотехнических процессов и производств: методические указания по дипломному проектированию. В.Н. Суриков и др.; СПб ГТУРП, СПб., 2002. 27 с.
13. Рекомендации по разработке систем автоматического регулирования ТЭС (Технические требования)/сост. ПО Союзтехэнерго, ВТИ, АТЭП. –М.: СПО Союзтехэнерго, 1988. -33 с.
14. Нормы погрешности измерений технологических параметров тепловых электростанций и подстанций. РД 34.11.321-96. М СПО ОРГРЭС, 1997
15. Крайнов В.К., Шамко В.Н., Тверской Ю.С. и др. О формировании технической политики электростанций по модернизации систем контроля и управления и созданию полнофункциональных АСУТП// Электрические станции, 2002. № 1. С. 10-13.
16. Аракелен Э.К., Панько М.А. Проблемы выбора программно-технических средств для АСУТП энергоблоков ТЭС и АЭС. // Теплоэнергетика : ежемесячный теоретический и научно-практический журнал / Российская академия наук. Российское научно-техническое общество энергетиков и электротехников, 2004. №10. С.2.
17. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами.- СПб.: Профессия, 2009.

18. РТМ 108.711.02-79 Арматура энергетическая. Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной характеристики.
19. Благоев Э.Е., Ивницкий Б.Я. Дроссельно - регулирующая арматура в энергетике. М. Энергия, 1974.
20. РД 153-34.1-35.127-2002. Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых станций.
21. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. -М.: Энергоиздат, 1981.
22. ГОСТ 26.013-81. Средства измерения и автоматизации. Сигналы электрические с дискретным изменением параметров входные и выходные.
23. ГОСТ 26.011-88. Средства измерения и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические входные и выходные.
24. ГОСТ 24.701-86. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения.
25. РД 153-34.1-35.137-00. Технические требования к подсистеме технологических защит, выполненных на базе микропроцессорной техники.
26. Попов В.Б. Автоматизация процессов регенерации химикатов в содорегенерационном котлоагрегате. Технология целлюлозно-бумажного производства. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды в ЦБП. Т. 3. Ч.1. Автоматизация, стандартизация и экономика в ЦБП. – СПб.: Политехника, 2008. - 621 с.
27. Серебряков Н.П. Проектирование автоматизированных систем: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию. – 2-е изд.- СПб.: СПб ГУПТД.
28. Бельфор В.М. Математические модели технологических процессов и производств. учебное пособие. - СПб.: СПб ГТУРП., 2014. - 147 с.
29. Бельфор, В.Б. Попов, И.В. Антонишин. Математическое моделирование технологического объекта управления: учебно-методическое пособие по курсовой работе. - СПб.: СПб ГТУРП, 2013.
30. Буйлов Г.П. Автоматизация оборудования целлюлозно-бумажного производства: учебное пособие по дипломному проектированию. - 2-е изд., -СПб.: СПб ГТУРП, 2016.
31. Бельфор В.М., Суриков В.Н. Сетевые информационные технологии АСУ: учебное пособие. -СПб.: СПб ГТУРП, 2012.
32. Суриков В.Н., Буйлов Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств. учебно-методическое пособие, часть1. -СПб.: СПб ГТУРП, 2011.
33. Леонтьев В.Н. Анализ систем автоматического управления: учебно-методическое пособие, часть1. -СПб.: СПб ГТУРП, 2014.
34. Леонтьев В.Н. Анализ систем автоматического управления: учебно-методическое пособие, часть2. -СПб.: СПб ГТУРП, 2014.
35. Леонтьев В.Н. Моделирование систем автоматического управления: учебно-методическое пособие. -СПб.: СПб ГТУРП, 2013.
36. Кондрашкова Г.А., Бондаренкова И.В., Черникова А.В. Метрологическое обеспечение систем контроля и управления: учебное пособие. -СПб.: СПб ГТУРП, 2011.
37. ЭБС. Электронные ресурсы «IPRBooks»
38. ЭБС. Электронные ресурсы «knigafond»

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕМАТИКА ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ (ВКР)	4
2. СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ (ВКР)	5
2.1. Описание и анализ объекта автоматизации	6
2.1.1. Техническая характеристика объекта автоматизации	6
2.1.2. Описание технологического процесса и основного оборудования	9
2.1.3. Анализ технологического процесса как объекта автоматизации	15
2.2. Разработка САУ параметром	18
2.2.1. Обоснование требований к САУ	18
2.2.2. Выбор способа управления параметром	19
2.2.3. Выбор средств автоматизации и управления	25
2.3. Расчет и анализ САУ параметром	36
2.3.1. Математическое описание объекта управления	36
2.3.2. Расчет САУ параметром	44
2.3.3. Моделирование САУ параметром и анализ качества управления	50
2.4. Проектирование	61
2.4.1. Разработка функциональной схемы автоматизации технологического процесса	61
2.4.2. Разработка функциональных схем САУ параметров технологического процесса	62
2.4.3. Разработка АСУ технологического процесса	62
3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКИ	69
4. ОРГАНИЗАЦИЯ РУКОВОДСТВА ВКР	70
5. ПРОЦЕДУРА И СРОКИ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ГИА	71
6. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВКР	72
7. ОФОРМЛЕНИЕ ВКР	73
7.1. Оформление текстовой части ВКР	73
7.2. Оформление графической части ВКР	74
Приложения	75
Библиографический список	105

Учебное издание

*Валерий Николаевич Суриков
Николай Павлович Серебряков
Владимир Борисович Попов*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Учебно-методическое пособие по выпускной
квалификационной работе бакалавра

Техн. редактор Л.Я. Титова
поз. 70

Темплан 2017__г.,

Подп. к печати Формат 60х84/16.

Бумага тип. №1

Печать офсетная. Уч.-изд.л. Усл.печ.л.

Тираж 100 экз.

Изд. № 70 Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095, СПб, ул. Ивана Черных, 4.