

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа энергетики  
Подразделение НОЦ И.Н. Бутакова  
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Автоматическая система контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2</b>

УДК 621.182.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Штейзель Александр Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Кац Марк Давыдович	канд. физ.-мат. наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГИ ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александр Михайловна	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, инженерные, гуманитарные, социально-экономические знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>теплоэнергетических и теплотехнических установок</i> , автоматизированных систем управления, средств автоматизации и контроля.
P2	Формулировать задачи в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Проектировать <i>теплоэнергетические и теплотехнические системы</i> , автоматизированных систем управления <i>и их компоненты</i> .
P4	Планировать и проводить испытания и экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>систем теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, их <i>оборудования</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления
P6	Применять практические знания принципов и технологий <i>теплоэнергетической и теплотехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i>
P12	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа энергетики  
Подразделение НОЦ И.Н. Бутакова  
Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель профиля  
Озерова И.П.

\_\_\_\_\_  
(Подпись)    (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Штейзелю Александру Евгеньевичу

Тема работы:

<b>Автоматическая система контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2</b>	
Утверждена приказом директора №	135 – 41/С от 14.05.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Проектирование автоматической системы контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 на базе современных технических средств. Цикл работы парогенератора непрерывный. Величина температуры перегретого пара парогенератора должна изменяться в пределах 5С. от базового значения пристепени затухания переходного процесса не менее 0,9.
--------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор по литературным источникам (технология объекта, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации). Выбор оптимальных вариантов.</li> <li>2. Проектирование автоматической системы регулирования температуры перегретого пара</li> <li>3. Расчет автоматической системы регулирования температуры перегретого пара.</li> <li>4. Разработка мнемосхемы АСУ температуры перегретого пара.</li> <li>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>6. Социальная ответственность.</li> </ol>
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема структурная</li> <li>2. Схема функциональная</li> <li>3. Схема принципиальная электрическая</li> <li>4. Схема монтажная</li> <li>5. Общий вид щита автоматизации</li> </ol>

#### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2020
--	------------

#### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Кац Марк Давыдович	канд. физ.-мат. наук		01.02.2020

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Штейзель Александр Евгеньевич		01.02.2020

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 115 с., 36 рис., 13 табл., 25 источников.

Ключевые слова: автоматическая система управления, температура перегретого пара, ПИ регулятор, контроль, микропроцессорные технические средства автоматизации, парогенератор.

Целью выполнения данной работы является усовершенствования автоматической системы управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 на основе современных технических средств.

В процессе выполнения работы был произведен анализ существующих схем и технических средств контроля и регулирования. Выбраны структурная схема автоматизации, алгоритм управления. Разработаны функциональная схема, принципиальная электрическая, монтажная и схема общего вида щита управления. Осуществлен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация.

По итогам выполнения работы была разработана автоматическая система контроля и управления температуры на основе микропроцессорных средств автоматизации. Произведен расчет автоматической системы регулирования температуры перегретого пара на основе современных инженерных методов.

## Оглавление

Введение .....	9
1 Анализ объекта автоматизации.....	10
1.1 Описание технологической схемы производства тепловой и электрической энергии на ГРЭС.....	10
1.1 Системный анализ объекта автоматизации .....	11
1.2. Состояние автоматизации парогенератора на данный момент .....	14
2 Выбор структуры автоматической системы регулирования .....	15
2 Проектная разработка системы управления.....	19
2.1. Выбор технических средств АСР температуры перегретого пара.....	19
2.1.1 Выбор первичного преобразователя температуры .....	19
2.1.2 Выбор регулирующего органа .....	21
2.1.4 Выбор пускового устройства .....	23
2.1.5 Выбор регулирующего устройства.....	24
2.2 Разработка функциональной схемы АСР температуры перегретого пара....	29
2.3 Разработка монтажной схемы .....	31
2.4 Разработка электрической схемы щита управления.....	33
2.5 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР.....	34
3 Расчет АСР температуры перегретого пара .....	35
3.1 Расчет статических характеристик элементов системы.....	35
3.2 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя .....	36
3.3. Расчет коэффициента передачи регулирующего органа.....	37
3.3.1. Выбор характеристики и расчет коэффициента передачи регулирующего клапана.....	38

3.3.2 Расчет коэффициента передачи пароохладителя.....	39
3.4 Расчет динамических характеристик объекта регулирования .....	40
3.4.1 Экспериментальное определение кривых разгона объекта управление ....	41
3.4.2. Получение передаточных функций по кривым разгона объектов регулирования.....	43
3.5. Расчет оптимальных настроек регулятора.....	45
3.5.1 Методы определения параметров настройки регулятора .....	45
3.5.2 Расчет параметров настройки дифференциатора .....	49
3.5.3 Расчет параметров настройки регулятора .....	51
4 Разработка мнемосхемы регулирования участка температуры перегретого пара.....	57
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	62
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений .....	62
5.1.2 SWOT-анализ.....	65
5.1.3 Планирование работ и оценка времени выполнения.....	66
5.1.4 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	68
5.2 Материальные затраты .....	68
5.3 Затраты на амортизацию .....	68
5.4 Затраты на социальные нужды .....	70
5.5 Прочие затраты.....	70
5.6 Накладные расходы.....	70
5.7 Смета затрат на оборудование и монтажные работы .....	71
5.8 Расчет экономической эффективности .....	74
5.9 Заключение по разделу .....	74
6 Социальная ответственность.....	78

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	78
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	78
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	79
6.2 Производственная безопасность.....	79
6.2.1 Повышенный уровень шума .....	80
6.2.2 Отклонение параметров микроклимата .....	80
6.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	81
6.2.4 Электробезопасность .....	82
6.2.5 Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов .....	83
6.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работника.....	83
6.4 Экологическая безопасность.....	83
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	84
6.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность» .....	86
Заключение.....	87
Список использованных источников .....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ А Расчет коэффициента передачи регулирующего клапана ...	91
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Программный код для мнемосхемы.....	107
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.019 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.019 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.019 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.019 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.019 ВО	Общий вид щита автоматизации

## Введение

Современные тепловые электрические станции представляют собой сложный технологический объект. Надежность и экономичность работы оборудования обеспечивают автоматические системы управления.

В России большинство тепловых электрических станций сталкиваются с острой необходимостью модернизации как технологических систем, так и систем контроля и управления основного технологического оборудования. Это связано с тем, что средства контроля и управления находятся в эксплуатации уже 10-15 и более лет, а также из-за отсутствия запасных частей (большинство используемых приборов снято с производства).

Автоматические системы управления котлоагрегатами, находящимися в эксплуатации на ГРЭС-2, не являются в этом плане исключением.

В данной работе разработана автоматическая система контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС-2 и произведен расчет параметров настройки регулирующего устройства. Выпускная квалификационная работа содержит анализ объекта автоматизации, обзор структуры и технических средств контроля и автоматизации.

## 1 Анализ объекта автоматизации

### 1.1 Описание технологической схемы производства тепловой и электрической энергии на ГРЭС

Выработка электроэнергии на ГРЭС осуществляется в три этапа:

- парогенератор за счет тепла, выделяющегося при сжигании топлива, вырабатывает перегретый водяной пар;
- паровая турбина преобразует тепловую энергию пара в механическую энергию вращения ротора;
- генератор завершает технологический цикл ГРЭС, преобразуя механическую энергию в электрическую;

Особенность технологического и производственного процессов на ГРЭС состоит в невозможности складирования готовой продукции, т.е. электроэнергии. Это означает, что количество тепла и пара, вырабатываемое парогенератором в каждый момент времени, должно соответствовать количеству потребляемой электроэнергии. Помимо основных агрегатов – парогенераторов, турбин и электрогенераторов – на ГРЭС имеется значительное количество вспомогательных установок, также оснащенных автоматическими устройствами [1].

Установленные мощности ГРЭС-2: электрическая 331 МВт, тепловая 815 Гкал/ч; обеспечиваются 10 парогенераторами, типы: БКЗ-220-100-4 (2 шт.), ТП-230-2(5 шт.), БКЗ-210-140(3 шт.), 6 турбинами, типы: Т-50-2, Т-43(50)-90-2м (2 шт.), ПТ-25-90/10, ПТ-60-90/13, Т-110/125-130-8. Основным топливом является Кузнецкий уголь, резервным – природный газ, растопочным – мазут. Штатная численность ГРЭС-2 на 01.04.15 составляет 553 чел.

## 1.1 Системный анализ объекта автоматизации

Парогенератор БКЗ-210-140, который изготовлен Барнаульским котельным заводом (БКЗ) с номинальной производительностью 210 т/час. Параметры пара: давление – 140 атмосфер, температура – 560 °С.

Котел предназначен для работы как антраците, так и на природном газе. Котел однобарабанный, вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией, однокорпусный, в газоплотном исполнении, П-образной полуоткрытой компоновки.

Топочная камера – призматическая, открытого типа, полностью экранирована трубами, расположенными с шагом 80 мм. В горизонтальном сечении по осям труб имеет размеры 6730x9340 мм. Экраны секционированы по числу транспортабельных топочных блоков. По углам топочной камеры расположены прямоточные щелевые горелки. Фронтальной и задней экран в нижней части образуют скаты холодной воронки с углом наклона 50°, в верхней части трубы заднего экрана образуют аэродинамический выступ, который предназначен для улучшения газового аэродинамического потока на выходе из топки и частичного затенения поверхности второй ступени пароперегревателя (ширм). Топочные блоки экранов плоские.

Конструкция топочно-горелочного устройства обеспечивает нормативные выбросы вредных веществ за котлом.

Объектом автоматизации является участок трубопровода, который начинается перед впрыскивающим пароохладителем и заканчивается главной паровой задвижкой парогенератора типа БКЗ-210-140.

Технические характеристики котла БКЗ-210-140 представлены в таблице 1.1[2].

Таблица 1.1 – Технические характеристики котла БКЗ-210-140

Параметры	Характеристики
КПД, %	84,5
Вид топлива	антрацит
Удельные выбросы оксидов азота (NOx) за котлом, мг/нм <sup>3</sup>	570
Давление пара на выходе, МПа	13,8
Температура пара на выходе, °С	560
Вид характеристики	Числовые значения
Ширина, м	9,2
Глубина, м	19,044
Высота, м	37,554
Компоновка котла	П-образная

На рисунке 1.1 изображена принципиальная схема барабанного котла БКЗ 210-140.

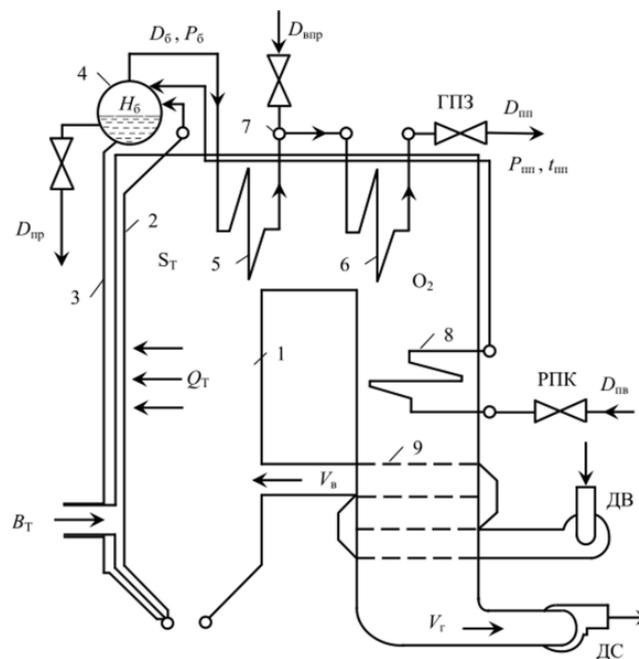


Рисунок 1.1– Принципиальная схема барабанного котла БКЗ 210-140

Задача регулирования технологического процесса котельного агрегата сводится, в основном, к необходимости поддержания материального и

энергетического баланса, при котором он будет работать в постоянном (стационарном) режиме, который характеризуется постоянством во времени давлений, температур, уровней, расходов и других контролируемых параметров.

При регулировании температуры перегретого пара на современных котлоагрегатах предъявляются жесткие требования к точности поддержания параметра на заданном значении [3].

Допустимые отклонения температуры от номинального значения для котлоагрегата со средними параметрами составляют от +10 до -15 °С. Указанные отклонения температуры перегретого пара для котлоагрегатов без промперегрева должны быть выдержаны в диапазоне нагрузок от 70 до 100% номинальной производительности, а для котлоагрегатов с промперегревом – от 80 до 100% номинальной производительности. Основным возмущающим воздействием на температуру перегретого пара является изменение нагрузки котлоагрегата, сопровождаемое изменением количества топлива, подаваемого в топку котла. Как известно, при снижении нагрузки удельное тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева повышается, конвективных – уменьшается. Удельное тепловосприятие поверхностей нагрева, которые расположены в полурadiационной зоне дымовых газов с температурой 1000-1200 °С в рабочем диапазоне изменения нагрузок, остается приблизительно постоянным. Поэтому, с уменьшением нагрузки перегрев пара в радиационных пакетах пароперегревателя увеличивается, а в конвективных – уменьшается. Соответствующим подбором степени радиационности пароперегревателя, т.е. доли тепловосприятия его радиационной части, теоретически можно добиться постоянства перегрева во всем диапазоне рабочих нагрузок. Тем не менее, такой пароперегреватель не обеспечивает постоянства перегрева даже при неизменной нагрузке котлоагрегата в связи с тем, что его тепловосприятие в процессе эксплуатации может изменяться в связи с загрязненностью экранных и конвективных поверхностей нагрева, изменения влажности и тонины помола топлива, изменения температуры питательной воды и т. д. Также на температуру перегретого пара оказывают большое влияние такие возмущения, как

незакономерные изменения подачи топлива при заданной нагрузке, изменение тягодутьевого режима и т.п. В связи с этим в современных котлоагрегатах обязательно предусматриваются устройства для регулирования температуры перегретого пара.

## 1.2. Состояние автоматизации парогенератора на данный момент

Стандартная система автоматического управления парогенератором Томской ГРЭС-2 состоит из локальных АСР:

- АСР уровня воды в барабане (питания);
- АСР тепловой нагрузки (топлива);
- АСР воздуха; - АСР разрежения;
- АСР температуры перегретого пара;
- АСР непрерывной продувки;
- АСР давления пара на обдувку;
- АСР разрежения перед мельницами;
- АСР температуры аэросмеси за мельницей;
- АСР загрузки мельниц.

Данная структура является морально и технически устаревшей и не используется при проектировании современных АСУ, а также не даёт возможности оптимального управления парогенератором, т.к. контуры системы разделены между собой и не имеют единого аппаратного пространства. Все вышеперечисленные АСР базируются на аналоговой технике не позволяющей реализовывать набор функций в одном небольшом контроллере.

Основная тенденция развития автоматизированных систем – объединение локальных АСР. Их цель – создание комплексных систем, сочетающих автоматизацию решения экономических задач и задач административного управления с автоматизацией управления технологическими процессами, проектирования изделий и технологии.

Повышение научно-технического уровня и эффективности АСУ создало предпосылки для разработки систем более высокого класса – многоуровневых интегрированных автоматизированных систем управления – ИАСУ.

ИАСУ включает АСУП – организационно-управленческую сторону производственной деятельности; АСУТП – технико-технологическую сторону производственной деятельности и САПР – конструкторско-технологическую сторону производственной деятельности.

Эти элементы взаимосвязаны и образуют единый контур организационно-экономического управления.

Регулируемым параметром в данной работе является температура. Важно не просто измерять температуру, но и своевременно реагировать на происходящие изменения, а зачастую и предсказывать возможность появления каких – либо отклонений в процессе, избегая опасных аварийных ситуаций, незапланированных остановок производства и, как следствие, снижения эффективности работы предприятия. В таких условиях вопрос интеллектуальности средств измерения температуры является особенно актуальным.

## 2 Выбор структуры автоматической системы регулирования

Метод смешивания получил широкое применение для автоматических систем регулирования температуры перегретого пара. Для реализации данного метода необходимо выбрать автоматический регулятор, подобрать параметры его настройки и замкнуть через него схему регулирования.

Сигнал, поступающий на вход регулятора, пропорционален отклонению температуры перегретого пара от заданного значения. В зависимости от знака и величины отклонения температуры регулирующее устройство воздействует через исполнительный механизм на регулирующий орган, восстанавливая тем самым заданное значение температуры перегретого пара.

В качестве примера на рисунке 2 представлена схема системы автоматического регулирования температуры перегретого пара методом впрыска. Температура на выходе второго (регулируемого) пакета пароперегревателя измеряется термопарой ИУ (измерительное устройство) и ее

значение  $\Theta_{\text{вых}}$  сравнивается с заданием  $g(t)$  и в зависимости от знака и величины рассогласования регулирующее устройство РУ через исполнительный механизм ИМ воздействует на регулирующий орган РО, который изменяет количество впрыскиваемой жидкости в сторону восстановления заданного значения температуры пара.

На второй пакет пароперегревателя как объекта регулирования поступают возмущающие воздействия в виде изменения температуры пара на его входе  $f_{\Theta}$ , изменения расхода пара  $f_D$  и изменения обогрева  $f_Q$ .

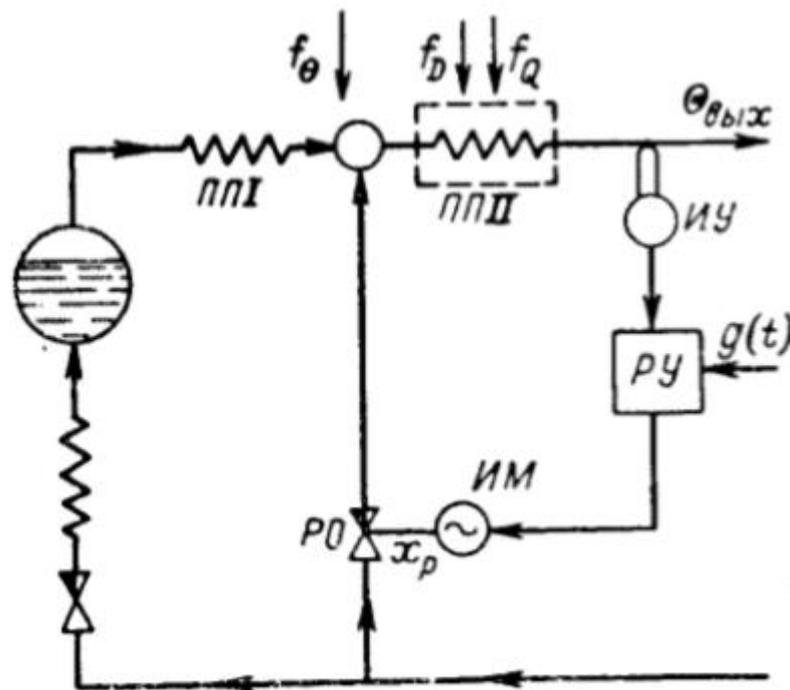


Рисунок 1.2 – Схема одноимпульсной АСР температуры перегретого пара

Одноимпульсная система автоматического регулирования имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что такая система не учитывает возмущающие воздействия в виде изменения температуры на выходе первого пакета пароперегревателя вследствие разных факторов.

Для улучшения качества характеристик переходного процесса в настоящее время при регулировании температуры перегрева пара чаще всего

используется двухимпульсная система автоматического регулирования. Внутренний контур возникает внедрением дифференцирующего звена, с помощью которого можно учитывать скорость изменения промежуточной регулируемой величины. Внутренний малоинерционный контур позволяет отфильтровать практически все возмущающие воздействия, идущие со стороны пароперегревателей в регулируемый участок паропровода, а внешний инерционный контур обеспечивает поддержание выходной регулируемой величины на заданном значении [2].

Двухимпульсная система регулирования обеспечивает относительное постоянство температуры пара на входе в регулируемый участок паропровода, следовательно, и более высокое качество регулирования температуры на выходе из пароперегревателя [2]. Схема такой системы автоматического регулирования представлена на рисунке 1.3.

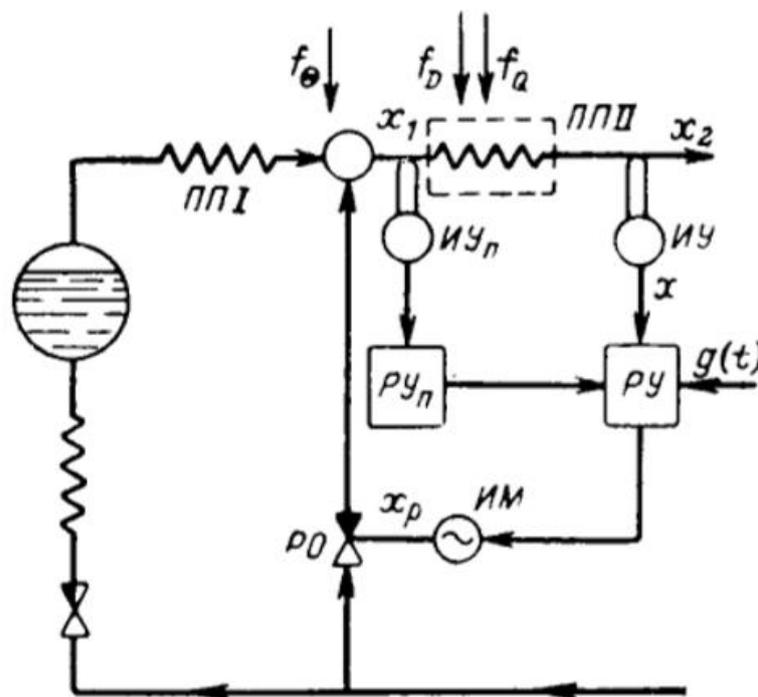


Рисунок 1.3 – Схема двухимпульсной АСР температуры перегретого пара

Так как в установившихся режимах работы котла регулирующее устройство должно контролировать лишь температуру на выходе

пароперегревателя  $x$ , сигнал от ИУ<sub>п</sub> должен появляться лишь в переходных режимах (так как в противоположном случае регулирующее устройство будет поддерживать на заданном значении не температуру пара после пароперегревателя, а сумму температур пара после пароперегревателя и после пароохладителя). Поэтому преобразователь сигнала ДФ обычно выполняют в виде реального дифференцирующего звена [1].

На основании изложенного составляем структурную схему АСР температуры перегретого пара. Данная структурная схема представлена на рисунке 1.4.

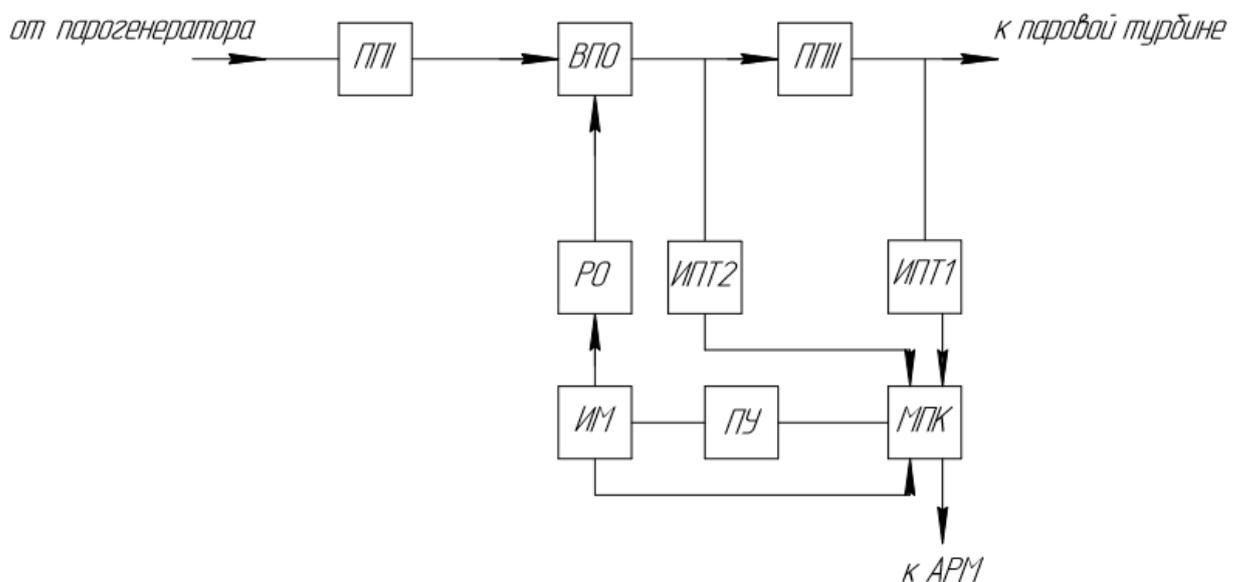


Рисунок 1.4 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара на базе микропроцессорного программируемого контроллера: ИПТ1, ИПТ2 – измерительные преобразователи температуры; МПК – микропроцессорный программируемый контроллер; РО – регулирующий орган; ПУ – пусковое устройство; ИМ – исполнительный механизм; ППИ, ППИИ – первый и второй пакет пароперегревателей; ВПО – впрыскивающий пароохладитель;

Получение информации о текущем значении температуры регулируемого параметра происходит при помощи измерительных преобразователей. На выходе измерительного преобразователя возникает сигнал, который подается на

МПК. С помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя процессор обрабатывает сигналы и вырабатывает управляющие воздействия, подаваемые на пусковое устройство. Аналоговые сигналы усиливаются пусковым устройством и поступают на обмотку управления ИМ. Вал ИМ вращается, и, соответственно, меняется положение РО.

## 2 Проектная разработка системы управления

### 2.1. Выбор технических средств АСР температуры перегретого пара

#### 2.1.1 Выбор первичного преобразователя температуры

В автоматической системе регулирования температуры перегретого пара температура измеряется после впрыскивающего пароохладителя и второго пакета перегревателя. Для измерения температуры используются термоэлектрические преобразователи. Рассмотрим несколько возможных вариантов для датчиков температуры

В качестве первичных преобразователей температуры используются аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом. Первичный преобразователь температуры выбираем по каталогу завода-изготовителя «ОВЕН» [5]. По подходящим конфигурациям выбираем преобразователи температуры типа:

ДТПК045М-0110.045И [4] предназначены для измерения высоких температур различных сред, в том числе и агрессивных сред.

Диапазоны измеряемых температур: 40...800 °С.

Класс допуска 2. Рабочий спай термопары изолирован относительно корпуса датчика. По подходящим конфигурациям так же подходят преобразователи температуры типа ОВЕН ДТПЛ-045Л.И.

Диапазоны измеряемых температур: 0...600 °С.

Класс допуска 2. Рабочий спай термопары изолирован относительно корпуса датчика.

Предел допускаемой основной приведенной погрешности  $\pm 0,75\%$  [4].

Альтернативным вариантом может быть преобразователь типа ТХАУ 205 с НСХ ХК(L) производства ООО НПО «Элемер». По техническим характеристикам он очень схож с ОВЕН ДТПЛ-045Л.И, но стоимость преобразователей типа ТХАУ 205 превышает стоимость преобразователей типа ОВЕН ДТПЛ-045Л.И.

Еще одним вариантом может быть термоэлектрический преобразователь ТХА-0193-02 фирмы ОАО «Теплоприбор» [9]. Его выходной сигнал не является унифицированным, и это повышает надежность оборудования. Измерение температуры происходит в тяжелых условиях при внешних и механических воздействиях и высокой температуре. Диапазон измерения  $-40\dots+800^{\circ}\text{C}$ , Класс допуска -2

Таким образом, в качестве первичного преобразователя выбираем ТХА-0193-02[9], так как он: подходит по техническим характеристикам; - оптимален по цене; ТХА-0193-02 имеет 2 чувствительных элемента, рабочий спай изолирован. Защитная арматура - со штуцером утонением арматуры в зоне измерения до 8 мм (малоинерционные), материал – сталь, материал головки - терморезистивная пластмасса.

Монтаж термопары на трубопроводе осуществляется под углом  $45^{\circ}$ . Место установки термоэлектрического преобразователя следует выбирать таким образом, чтобы обеспечить точность замера температуры перегретого пара. Также должно соблюдаться условие – чувствительный элемент должен быть направлен навстречу потоку пара и находиться в центре потока. Способ монтажа термоэлектрического преобразователя представлен на рисунке 2.1

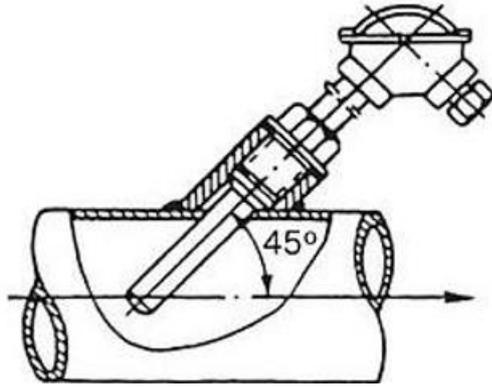


Рисунок 2.1 – Способ монтажа термоэлектрического преобразователя на трубопроводе

### 2.1.2 Выбор регулирующего органа

В качестве регулирующего органа выбираем клапан запорно-регулирующий РУСТ4, компании «Химнефтемаш»[11], предназначенная для регулирования и перекрытия потока рабочей среды, клапан был выбран по следующим характеристикам:

- температура среды 100...500 °С;
- диаметр трубопровода 50...600 мм;
- давление в трубопроводе 160 бар;

Основным преимуществом запорно-регулирующего клапана является как возможность постоянной регулировки потока жидкости, так и полное его перекрытие.

### 2.1.3 Выбор исполнительного механизма

Исполнительные механизмы (ИМ) являются приводной частью регулирующего органа и предназначены для его перемещения. При автоматизации объектов теплоэнергетики преимущественно используются электрические ИМ. В общем случае электрический ИМ включает электродвигатель и редуктор, которые вместе представляют собой

электропривод, блок датчиков положения и штурвал. Блок датчиков состоит из блока концевых и путевых выключателей, а также датчика положения ИМ.

Концевые выключатели выполняют функцию отключения электродвигателя при достижении крайних положений выходного вала ИМ. Путевые выключатели позволяют коммутировать электрические цепи управления под воздействием управляющих упоров в определённых точках пути контролируемого объекта. В зависимости от назначения в комплекте ИМ имеются различные датчики положения: реостатные (резистивные), индуктивные, токовые.

Выбор типа ИМ (однооборотный – МЭО, однооборотный фланцевый – МЭОФ, прямоходный постоянной скорости – МЭП, прямоходный кривошипный переменной скорости – МЭПК) определяется типом трубопроводной арматуры. В данной работе предполагается использование запорно-регулирующего клапана, который позволяет управлять интенсивностью потока воды на смешивание либо надёжно перекрывать его. Значит, тип ИМ – МЭОФ

Исполнительный механизм выбирается не только из вида регулирующего органа, но и от крутящего момента.

Максимальный крутящий момент МЭО вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 160 - 338 = 764,4 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.1)$$

где  $D_y$  - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе ИМ типа МЭО должно выполняться условие  $M_H > M_{\max}$ . Далее выбираем по каталогу завода-изготовителя «АБС ЗЭиМ Автоматизация» механизм электроисполнительный однооборотный фланцевый с номинальным значением момента на выходном валу 1000 Н·м, номинальное значение времени полного хода 25 с. В составе с токовым блоком сигнализации положения выходного вала БД-10АМ; год разработки – 2007. ОАО «ЗЭиМ», г. Чебоксары. Тип МЭОФ–1000/25–0,25-07К [6].

Установка фланцевых механизмов производится непосредственно на трубопроводной арматуре и соединяются с регулирующим органом посредством фланца.

Конструкция исполнительного механизма МЭОФ-1000/25-0,25 представлена на рисунке 2.2 [6].

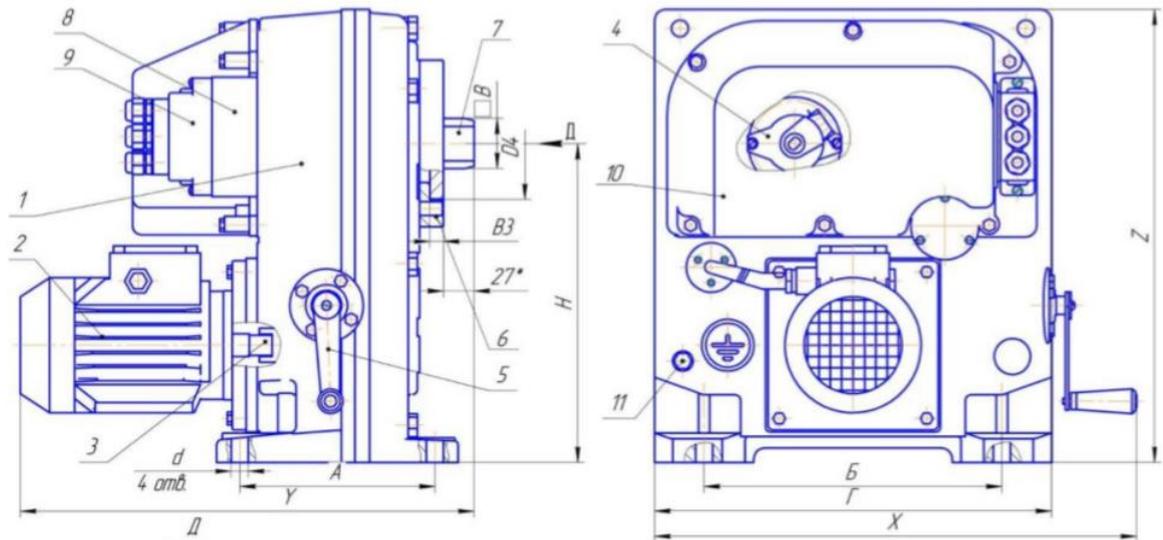


Рисунок 2.2 – Конструкция МЭОФ-1000/25-0,25: 1 – редуктор; 2 – электродвигатель; 3 – тормоз; 4 – блок сигнализации положения; 5 – ручной привод; 6 – фланец; 7 – выходной вал; 8 – ввод штуцерный; 9 – кожух штуцерного ввода; 10 – кожух; 11 – болт заземления.

Электрическое питание двигателя механизма МЭОФ с номинальным крутящим моментом 1000 Н·м осуществляется от сети переменного тока напряжения 380 В с частотой 50 Гц [6].

Блок датчиков МЭОФ состоит из датчиков положения, а также имеет концевые и путевые выключатели, представляющие собой дискретные уставки по положению и моменту [6].

#### 2.1.4 Выбор пускового устройства

Тип пускового устройства определяется по выбранному ИМ. Выбираем пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3А, обеспечивающий бесконтактное управления регулирующими и запорными электроприводами трубопроводной арматуры [7].

Другим вариантом ПУ может выступать БУЭР1 [7], который может управлять ИМ с трехфазным электродвигателем по командам, получаемым по резервированному цифровому каналу. Может выполнять функции управления электродвигателем (пуск, реверс, останов), самодиагностику, диагностику ИМ, защиту силовых ключей от короткого замыкания, защиту от перегрузки по току. По объему выполняемых функций

БУЭР1-30-02 превосходит ПБР-3А, стоимость БУЭР1-30-02 также выше, чем ПБР-3А. Поэтому в качестве пускового устройства выбран более надежный в эксплуатации тяжелых условиях ПБР-3А.

От блока датчиков по аналоговому сигналу пускатель получает информацию о положении выходного органа электропривода, моменте, перегреве электродвигателя, состоянии и неисправности блока датчиков, состоянии виртуальных концевых и путевых выключателей, а также на запросы включения электропривода при местном от блока датчиков управлении. При отсутствии связи, неготовности, неисправности блоков датчиков пускатель выключает электродвигатель.

### 2.1.5 Выбор регулирующего устройства

В настоящее время микропроцессорные программируемые контроллеры (МПК) являются неотъемлемой частью систем автоматизации, так как обладают рядом преимуществ (компактность, надежность, реализация сложных алгоритмов управления программными методами и др.). При этом есть возможность исключения таких устройств как блоки ручного управления, ручные задатчики регулируемого параметра, т.к. их функции может выполнять контроллер.

Различают следующие виды контроллеров: моноблочные, модульные, РС-совместимые контроллеры. РС-совместимые контроллеры отличаются от классических контроллеров тем, что в них большинство функций, которые у модульных или моноблочных контроллеров решаются на аппаратном уровне,

могут выполняться с помощью программного обеспечения. Для выбора МПК рассмотрим несколько вариантов.

1) Программируемый контроллер Siemens SIMATIC S7–300 производства «Siemens».

SIMATIC S7–300 – это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности.

Модульная конструкция контроллеров позволяет адаптировать их к любым задачам управления и автоматизации. Есть возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы, удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения рентабельных решений для построения систем автоматического управления в различных областях промышленного производства.

Эффективному применению контроллеров способствует возможность использования нескольких типов центральных процессоров различной производительности, наличие широкой гаммы модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров. В таблице 2.1 приведены технические характеристики контроллера Siemens SIMATIC S7–300.

Таблица 2.1 – Технические характеристики контроллера

Параметры	Характеристики
Диапазон температур, °С	от -40 до 70
Атмосферное давление, ГПа	от 800 до 1080
Изоляция: <ul style="list-style-type: none"><li>• цепи =24В</li><li>• цепи ~230В</li></ul>	Испытательное напряжение =500В Испытательное напряжение ~1500В

Продолжение таблицы 2.1

Параметры	Характеристики
Протоколы	PROFIBUS, PROFINET/Industrial Ethernet и AS-Interface, а также Internet
Интерфейсы	RS 232; RS 485; MODBUS RTU PPI; MPI
Количество сигнальных, функциональных и коммуникационных модулей	до 8 или до 32
Количество дискретных входов-выходов	до 6 входов и 4 выходов

2) ОВЕН ПЛК 63 производства ООО «ОВЕН» [10].

Контроллер предназначен:

автоматическое регулирование и измерение технологических параметров, значение которых первичными преобразователями может быть преобразовано в унифицированный электрический сигнал постоянного тока, а также сигнала с термопар;

- измерение аналоговых электрических сигналов;
- измерение входных дискретных сигналов;
- управление посредством дискретных выходов;
- обмен данными по интерфейсам RS-485, RS-323, ОВЕН, а также Ethernet по протоколам ModBus, DCON, CODESYS.

Контроллер применяется для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на транспорте, а также в различных областях промышленности.

Питание контроллера осуществляется от сети питания переменного тока 220 В. Характеристики контроллера:

- количество аналоговых входов – 8;
- количество дискретных входов – 8;
- количество дискретных выходов – 6;
- полное время преобразования сигнала с термопары – 0,4 с;
- габаритные размеры – 157x86x58 мм.

Возможно расширение количества точек ввода/вывода с помощью подключения внешних модулей по любому из встроенных интерфейсов [10].

3) МФК 1500 производства НПО «Текон-Автоматика» [12].

Многофункциональный высокопроизводительный программируемый контроллер МФК1500 предназначен:

- для построения управляющих и информационных систем автоматизации технологических процессов среднего и большого (по числу входов-выходов) уровня сложности;
- для построения систем блокировок и противоаварийной защиты.

Контроллер применяется для сбора и обработки информации, а также для управления объектами в схемах автономного управления или в составе распределенной системы управления. Отличительной особенностью контроллера является то, что одна из главных областей применения это АСУ ТП энергоблоков, котлов и других объектов теплоэнергетики. Основные особенности контроллера:

- резервирование ресурсов и модулей: полное или частичное;
- построение контроллера, состоящего из одного, двух, трех крейтов (всего до 61 модуля УСО с максимальным количеством 2928 дискретных входов или 976 аналоговых входов);
- «горячая» замена модулей;
- постоянный контроль и квитирование выполнения команд;
- дублированная контроллерная магистраль;

Также рассмотрим контроллер ЭЛСИ-ТМК компании «Элеси», г. Томск, контроллер ЭЛСИ-ТМК [13] является эффективной модульной платформой для

построения систем автоматизации малого и среднего масштаба во всех секторах промышленного производства. Его современный функционал, надежный фактор, стандартные коммуникации и открытая программная среда предоставляют мощный инструментарий для решения широкого спектра задач промышленной автоматизации.

Особенности:

- резервирование питания и каналов связи;
- полное дублирование корзин контроллера;
- развитая система самодиагностики и самокалибровки;
- открытая архитектура, поддержка стандартных протоколов и интерфейсов;
- watchdog-таймер и часы реального времени;
- расширенная номенклатура функциональных модулей;
- «горячая» замена модулей.

Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК имеет модульную архитектуру и позволяет использовать в своем составе следующий набор модулей:

Процессорные модули, модули дискретного ввода/вывода TD, модули счетных входов, модули аналогового ввода/вывода ТА, коммуникационные модули, модули питания TP.

Были рассмотрены регулирующие устройства отечественных и зарубежных фирм «ОВЕН», «АБС ЗЭиМ Автоматизация» и «Элеси», Siemens.к. эти фирмы являются лидерами на рынке микропроцессорных контроллеров, а также они зарекомендовали себя как поставщики надежных приборов контроля, а также регулирующих устройств.

Оптимальным вариантом выбора будет контроллер ОВЕН ПЛК 63, так как он подходит по эксплуатационным характеристикам и ценовому фактору для данной системы регулирования.

## 2.2 Разработка функциональной схемы АСР температуры перегретого пара

Основной технический документ, который определяет функционально-блочную структуру узлов контроля, регулирования и управления технологическим процессом является функциональная схема систем измерения и автоматизации. Функциональная схема также включает в себя оснащение приборами и средствами автоматизации объекта управления.

В процессе разработки функциональной схемы выполнены следующие задачи:

- 1) изучение технологической схемы объекта автоматизации;
- 2) определение перечня контролируемых и регулируемых параметров, а также регулирование технологического процесса и оборудования. Перечень регулируемых параметров представлен в таблице 3. Регулируемый параметр - температура перегретого пара после второго пакета пароперегревателя;
- 3) указание месторасположения точек отбора измерительной информации. На технологической схеме точки отбора информации расположены после впрыскивающего пароохладителя (ВПО) и перед главной паровой задвижкой (ГПЗ);
- 4) определение предельно допустимых рабочих значений контролируемых и регулируемых параметров;
- 5) выбор структуры измерительных каналов информационно-управляющей и исполнительной частей системы автоматизации: в состав структуры каналов измерительной части входит первичный преобразователь температуры без нормирующего преобразователя, в состав структуры каналов информационно-управляющей части входит МПК, в состав структуры исполнительной части входят пусковое устройство и исполнительный механизм;
- 6) выбор методов и технических средств получения, преобразования, представления и передачи измерительной информации, а также технических средств выработки управляющих воздействий. Выбран контактный метод измерения температуры перегретого пара посредством термоэлектрического

преобразователя (ТЭП), т.к. термопреобразователи сопротивления (ТПС) медные не могут обеспечить измерение температуры до 600 °С, а платиновые ТПС дорогие. Для реализации функций контроля и управления используется микропроцессорный программируемый контроллер;

7) размещение технических средств автоматизации (ТСА) на технологическом оборудовании: первичные преобразователи температуры расположены непосредственно на технологическом оборудовании, пусковое устройство находится в шкафу пусковой арматуры, МПК расположен в шкафу управления и автоматики.

Таблица 2.2 – Контролируемые параметры

Наименование параметра	Значение параметра
1. Температура на входе пароперегревателя	540 °С
2. Температура пара на выходе	560 °С

Функциональная схема АСР температуры перегретого пара представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.019 С2.

В верхней части чертежа функциональной схемы представлен участок трубопровода от первого пакета пароперегревателя до ГПЗ. Между пакетами перегревателя установлен ВПО. Технологические объекты выполнены в виде условных графических изображений. Также вверху чертежа располагаются измерительные преобразователи температуры и запорная арматура. Внизу чертежа показано пусковое устройство, установленное по месту, а также МПК, который установлен на щите автоматизации.

С термоэлектрических преобразователей 1а и 2а сигнал в виде термоЭДС поступает на МПК. В свою очередь МПК по заданной программе формирует и выдает управляющее воздействие. Сигнал с МПК поступает на пусковое устройство 3б. Пусковое устройство усиливает аналоговый сигнал и передает его на исполнительный механизм 3в. В исполнительный механизм встроены блок

датчиков положения, который может передавать информацию о положении вала исполнительного механизма на контроллер [2].

### 2.3 Разработка монтажной схемы

Монтажная документация предназначена для выполнения монтажных работ. Эту документацию также используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ. Для сложных систем автоматизации отдельно выполняют монтажные схемы щитов, пультов, внешних электрических и трубных проводок. В нашем случае система не большая, монтажные схемы внешних электрических проводок и щита управления выполнены на одном листе с шифром ФЮРА.421000.019 С4.

Монтажная документация, разрабатываемая в процессе проектирования систем автоматического регулирования, включает в себя:

- монтажную документацию щитов и пультов;
- монтажную документацию внешних электрических и трубных проводок.

Монтажные схемы, показывают каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных:

- на конструкции;
- за пределами конструкций.

Для разработки монтажной документации используются следующие материалы:

- функциональная схема;
- техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации и других средств;
- техническое описание;
- инструкция по эксплуатации.

В выпускной квалификационной работе необходимо разработать монтажную схему автоматической системы регулирования температуры перегретого пара, для этого нужно выполнить следующие этапы:

- 1) нанести на монтажную схему технические средства автоматизации, в соответствии с принятыми обозначениями;
- 2) выбрать проводки для соединения технических средств;
- 3) произвести нумерацию проводников в соответствии с электрической схемой;
- 4) выполнить подключения средств измерения и управления в шкаф автоматизации.

На схеме вверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, устанавливаемых непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

Датчики температуры и исполнительный механизм изображены монтажными символами в соответствии с заводскими инструкциями. При этом, внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним жил кабелей, причем, изображены только использующиеся клеммы. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа.

Щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в нижней части чертежа. В прямоугольнике показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним жилы кабелей и провода с соответствующей маркировкой.

Первичные преобразователи, внешние приборы и шкаф управления соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с помощью электрических кабелей, проводов и жгутов проводов.

Присвоены порядковые номера средств системы автоматизации. Проводники, подключаемые к зажимам и клеммам технических средств, маркированы в соответствии с принципиальной схемой.

К внешним электрическим и трубным проводкам относят такие проводки, которые расположены за пределами щитов и пультов.

Целью проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электропроводок, коммутации токоведущих жил и труб к техническим средствам автоматизации и вспомогательным элементам, проверки проводок и ввода их в эксплуатацию.

Для линий питания выбираем кабели с алюминиевыми жилами типа АКРВБГ сечением 2,5 мм<sup>2</sup> с броней из двух стальных оцинкованных лент.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 2.3 [14].

Таблица 2.3 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСР

№ линии	Марка	Кол-во жил	Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Диаметр, мм
4,9	АКРВБГ	4	2,5	15,51
1,2,3,5,6,7	КРВГ	4	1	10,54
8	КИПЭВ	2	0,6	9,2

Схема монтажная внешних электрических проводок, представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.0019 С4.

## 2.4 Разработка электрической схемы щита управления

Принципиальные электрические схемы предназначают полный состав приборов, аппаратов и устройств, действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации.

Принципиальные схемы — это основные чертежи для разработки рабочих монтажных чертежей, проведения пусконаладочных работ и квалифицированной эксплуатации этих узлов, устройств и систем электрического принципа действия.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов

технических средств. Расположение графического и текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

В данном разделе была разработана схема электрическая принципиальная АСР температуры перегретого пара, приведенная на листе с шифром ФЮРА.421000.019 ЭЗ.

## 2.5 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линий связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Щиты устанавливаются в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования щит шкафной, односекционный с задней дверью (ЩШ-ЗД) исполнения 2.

Для оперативного контроля за ходом технологического процесса разместим в необходимом и достаточном количестве на щите контроллер, блок питания, автоматический выключатель и сборки зажимов.

В данном случае для размещения средств автоматизации используем щит с задней дверью одиночный, шириной 500 мм и глубиной 500 мм – ЩШ-3Д-П-500×500.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей.

В нижней части панели щита расположены сборки зажимов ХТ1, ХТ2, ХТ3.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.019 ВО.

### 3 Расчет АСР температуры перегретого пара

К автоматической системе температуры перегретого пара предъявляются строгие требования к тому, насколько точно параметр должен поддерживаться на заданном значении. Для котлоагрегатов со средними параметрами допустимые отклонения температуры от номинального значения: от +10 °С до -15 °С, с высокими и повышенными параметрами от +5 °С до -10 °С. [3]

Расчет температуры перегретого пара производится в следующем порядке:

- определение статических характеристик элементов системы;
- определение динамических характеристик объекта регулирования;
- расчет оптимальных настроек регулятора;
- расчет и построение переходного процесса в замкнутой АСР;
- оценка качества переходного процесса.

#### 3.1 Расчет статических характеристик элементов системы

Статической характеристикой элемента называется зависимость установившихся значений выходной величины от значения величина на входе

системы. Статическая характеристика нужна для расчета коэффициентов передачи элементов АСР. В АСР регулирования температуры перегретого пара определяют статические характеристики измерительного преобразователя и регулирующего органа впрыска.

### 3.2 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя

Коэффициент передачи термопары определяется при лабораторной поверке прибора, порядок выполнения поверки представлен [18]. Схема лабораторной установки приведена на рисунке 3.1.

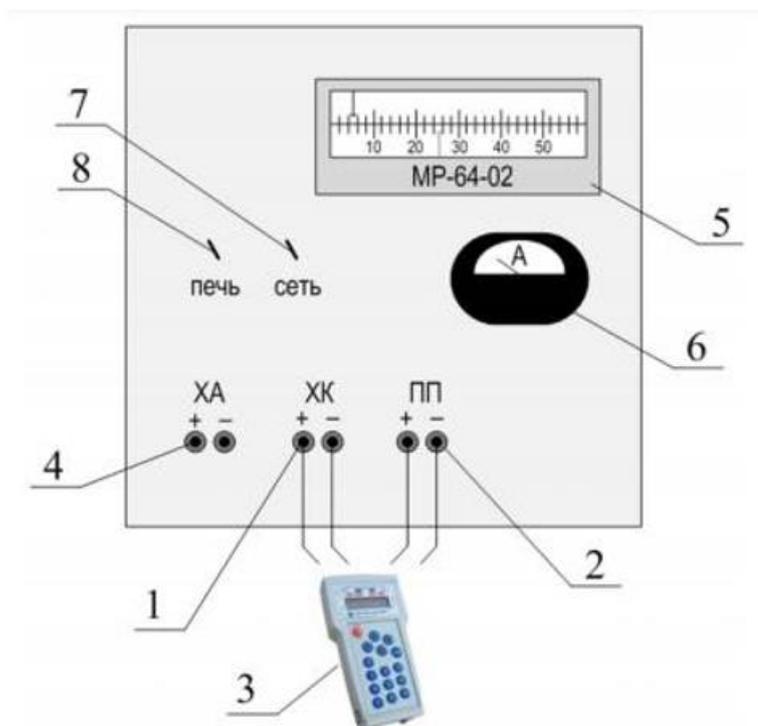


Рисунок 3.1 – Схема лабораторной установки: 1 – клеммы поверяемого ТЭП; 2 – клеммы эталонного ТЭП; 3 – эталонный калибратор; 4 – клеммы вспомогательного ТЭП; 5 – пирометрический милливольтметр; 6 – амперметр; 7 – тумблер включения питания установки; 8 – тумблер включения печи [18]

Экспериментальное определение заключается в определении ТЭДС при заданных значения температуры, при этом полученные градуировочные характеристики должны соответствовать номинальным статическим характеристикам ТЭ1П в пределах допустимых отклонений ТЭДС.

. В таблице 3 приведены результаты экспериментального определения статической характеристики термопары ТХА-1393-02 градуировки ХА.

Таблица 3.1 – Результаты экспериментального определения

Температура, °С	500	510	520	530	540	550	560
Ток, мА	0	0,084	0,166	0,248	0,332	0,416	0,498

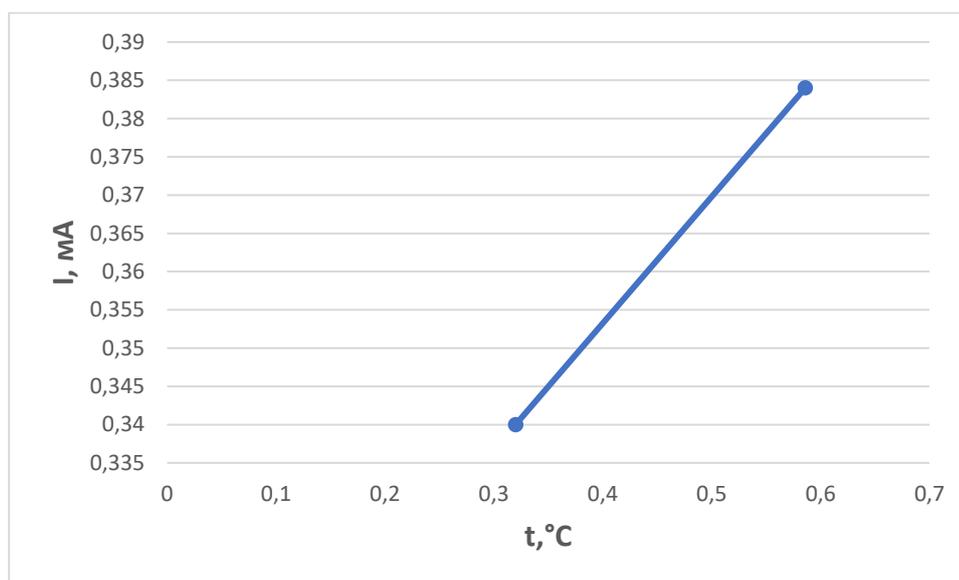


Рисунок 3.2 – Определение статической характеристики, где I – ток, t – температура

По графику определяем коэффициент передачи измерительного преобразователя

$$K_T = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{0,248 - 0,084}{530 - 510} = 0,0082 \text{ мА/}^\circ\text{С}. \quad (3.1)$$

### 3.3. Расчет коэффициента передачи регулирующего органа

В качестве регулирующего органа впрыска в работе выступают запорно-регулирующий клапан и пароохладитель.

Коэффициент передачи регулирующего органа  $K_{po}$  рассчитывается по формуле:

$$K_{PO} = K_{РПК} \cdot K_{ПО}. \quad (3.2)$$

### 3.3.1. Выбор характеристики и расчет коэффициента передачи регулирующего клапана

Характеристики регулирующих клапанов должны выбираться в зависимости от свойств регулируемого объекта и применяемого регулятора с тем, чтобы обеспечить оптимальную настройку последнего при переменных нагрузках объекта. Это осуществляется путем выбора конструктивной и расходной характеристик регулирующего органа. На рисунке 3.3 приведена расчетная схема линии впрыска.

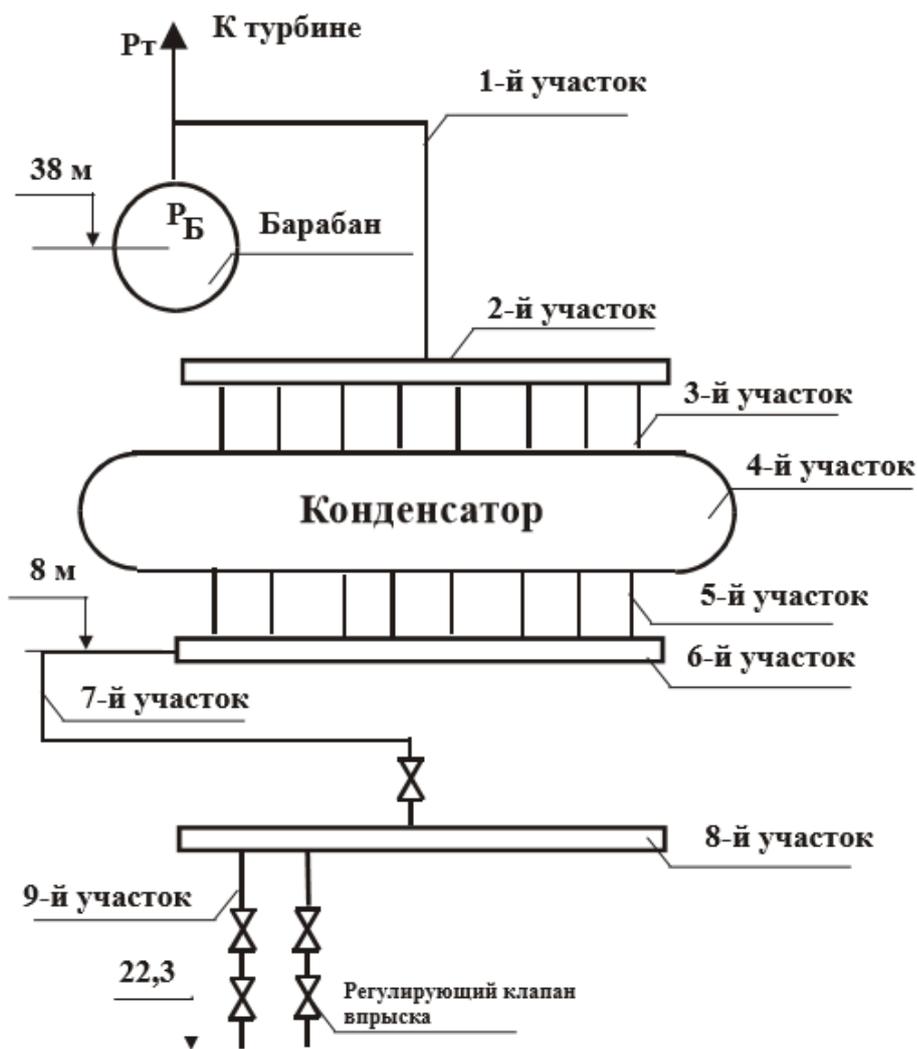


Рисунок 3.3 – Схема линии впрыска. Обозначения участков: 1-й участок: барабан – коллектор; 2-й участок: коллектор; 3-й участок: спуск к конденсатору; 4-й участок: конденсатор; 5-й участок: отвод конденсатора; 6-й участок: коллектор; 7-й участок: снижение к коллектору на отметке 8 м; 8-й участок: коллектор на отметке 8 м; 9-й участок: подъем к впрыскивающему охладителю первой ступени.

Расчеты приведены в приложении А.

Коэффициент передачи РПК находится из графика следующим образом: задаемся приращением расхода воды в окрестности выбранного режима работы котла  $\Delta W = W_2 - W_1$ ; по графику расходной характеристики определяется соответствующее изменение относительного перемещения клапана  $\Delta l = l_2 - l_1$ ; искомый коэффициент передачи клапана определяем по формуле:

$$K_{РПК} = \frac{\Delta W}{\Delta l \cdot 100} = \frac{1,92}{0,1 \cdot 100} = 0,192. \quad (3.3)$$

### 3.3.2 Расчет коэффициента передачи пароохладителя

Находим значение температуры перегретого пара  $t_{пп1}$  на выходе пароохладителя при минимальном расходе охлаждающей воды на впрыск. Для этого воспользуемся уравнением теплового баланса

$$D_{пп} \cdot i_{пп} + W_{но,мин} \cdot i_B = (D_{пп} + W_{но,мин}) \cdot i_{пп,1}, \quad (3.4)$$

где  $D_{пп}$  – расход перегретого пара из котла, т/ч;  $W_{но,мин}$  – минимальный расход воды на впрыск, т/ч;  $i_{пп}$  – энтальпия перегретого пара на входе в пароохладитель, кДж/кг;  $i_B$  – энтальпия охлаждающей воды, кДж/кг;  $i_{пп,1}$  – энтальпия перегретого пара на выходе из пароохладителя, кДж/к.

Из уравнения теплового баланса рассчитываем энтальпию перегретого пара

$$i_{пп} = \frac{D_{пп} \cdot i_{пп} + W_{но,мин} \cdot i_B}{D_{пп} + W_{но,мин}} = \frac{216 \cdot 2431,575 + 4,8 \cdot 1277,58}{216 + 4,8} = 2406,48 \text{ кДж / кг}.$$

По величине энтальпии перегретого пара  $i_{пп,1}$  из таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [19] находим температуру на выходе пароохладителя  $t_{пп,1} = 327,69^\circ\text{C}$ .

Находим значение температуры перегретого пара  $t_{пп2}$  на выходе пароохладителя при максимальном расходе охлаждающей воды на впрыск. Вычисляем энтальпию перегретого пара на выходе из пароохладителя  $i_{пп,2}$  при максимальном расходе воды на впрыск

$$i_{пп} = \frac{D_{пп} \cdot i_{пп} + W_{но,маx} \cdot i_B}{D_{пп} + W_{но,маx}} = \frac{216 \cdot 2431,575 + 24 \cdot 1277,58}{216 + 24} = 2316,18 \text{ кДж / кг},$$

где  $W_{но,маx}$  — максимальный расход воды на впрыск, т/ч.

По величине энтальпии перегретого пара  $i_{пп,2}$  из таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [19] находим температуру на выходе пароохладителя  $t_{пп,2} = 326,95^\circ\text{C}$

Производим расчет коэффициента передачи пароохладителя по формуле:

$$K_{по} = \frac{t_{пп2} - t_{пп1}}{W_{но,маx} - W_{но,мин}} = \frac{326,95 - 327,69}{24 - 4,8} = 0,04. \quad (3.5)$$

Знак коэффициента передачи пароохладителя будет отрицательным. При введении в АСР отрицательной обратной связи он будет меняться на противоположный. Тогда коэффициент передачи регулирующего органа будет равен:

$$K_{ро} = K_{рпк} \cdot K_{по} = 0,192 \cdot 0,04 = 0,008. \quad (3.6)$$

### 3.4 Расчет динамических характеристик объекта регулирования

Для исследования динамики объекта регулирования в настоящее время используются аналитический и экспериментальный методы. Аналитические методы определения динамических характеристик регулируемых объектов широкого распространения не получили в силу своей сложности. В настоящее время наиболее достоверными и легкодоступными для работников промышленных предприятий являются методы экспериментального

определения динамических характеристик объектов. Математическое описание объекта сравнительно быстро можно получить экспериментальными методами, так как они относительно просты, поэтому они получили широкое распространение при исследовании свойств объектов, подлежащих автоматизации.

Теплоэнергетические объекты представляют собой устойчивые инерционные динамические системы и характеризуются непрерывными технологическими процессами. Их можно рассматривать как фильтры инфранизких частот с полосой пропускания от  $\omega=0$  до  $\omega=0,1 \div 0,2$  рад/сек с точки зрения динамики [20].

### 3.4.1 Экспериментальное определение кривых разгона объекта управление

В данной работе применяется экспериментальный метод определения кривой разгона. Схема экспериментальной установки для снятия переходной функции объекта управления представлена на рисунке 3.4.

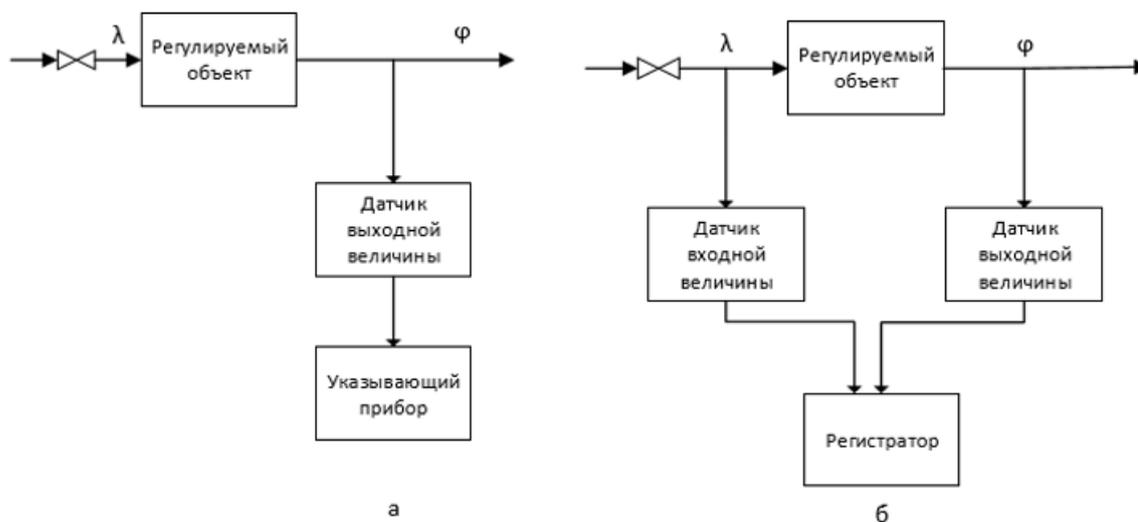


Рисунок 3.4 – Схема экспериментальной установки для снятия переходной функции объекта управления: а) регистрация выходного сигнала; б) регистрация входного и выходного сигнала [21]

Эксперимент проводится следующим образом: сначала стабилизируют часть посторонних возмущений, упрощая этим обработку результатов эксперимента, далее перед началом эксперимента устанавливают равновесный режим в системе, потом выбирают величину возмущения и вид входного сигнала, исходя из конкретных условий работы исследуемого объекта, и в конце, наносят возмущение и регистрируют изменение входного и выходного сигналов [21].

На рисунках 3.5 и 3.6 представлены экспериментальные кривые разгона по температуре инерционного и малоинерционного контуров пароперегревателя при возмущении расходом на впрыск 2 т/ч.

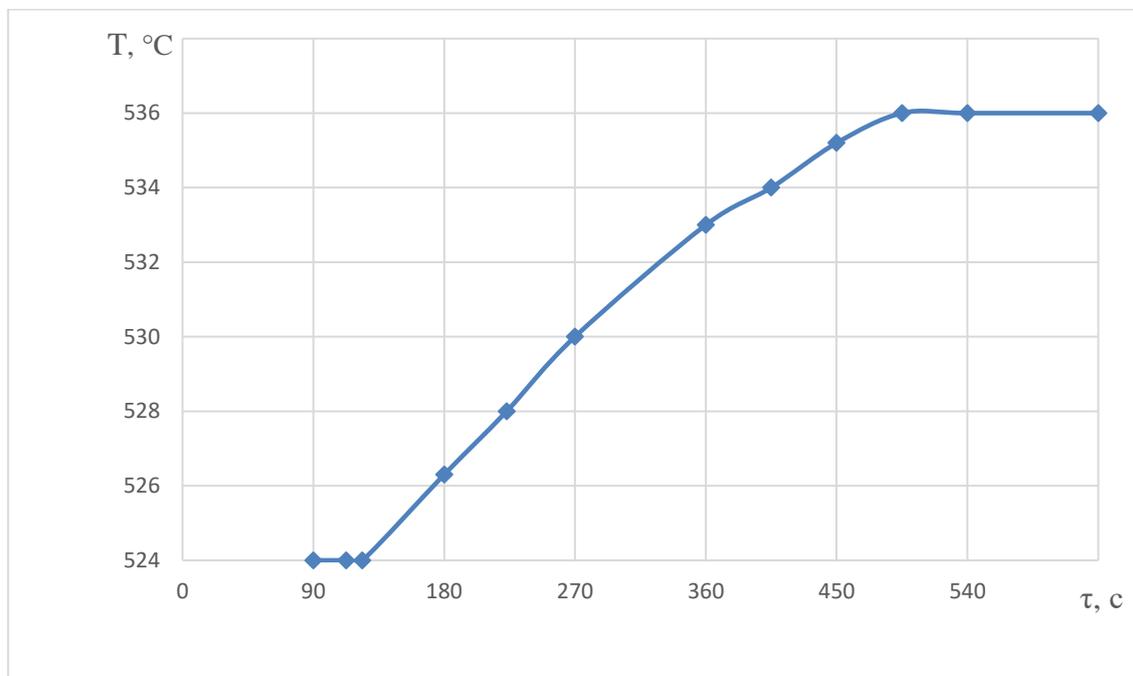


Рисунок 3.5–Кривая разгона объекта управления инерционного контура при возмущении расходом на впрыск 2 т/ч

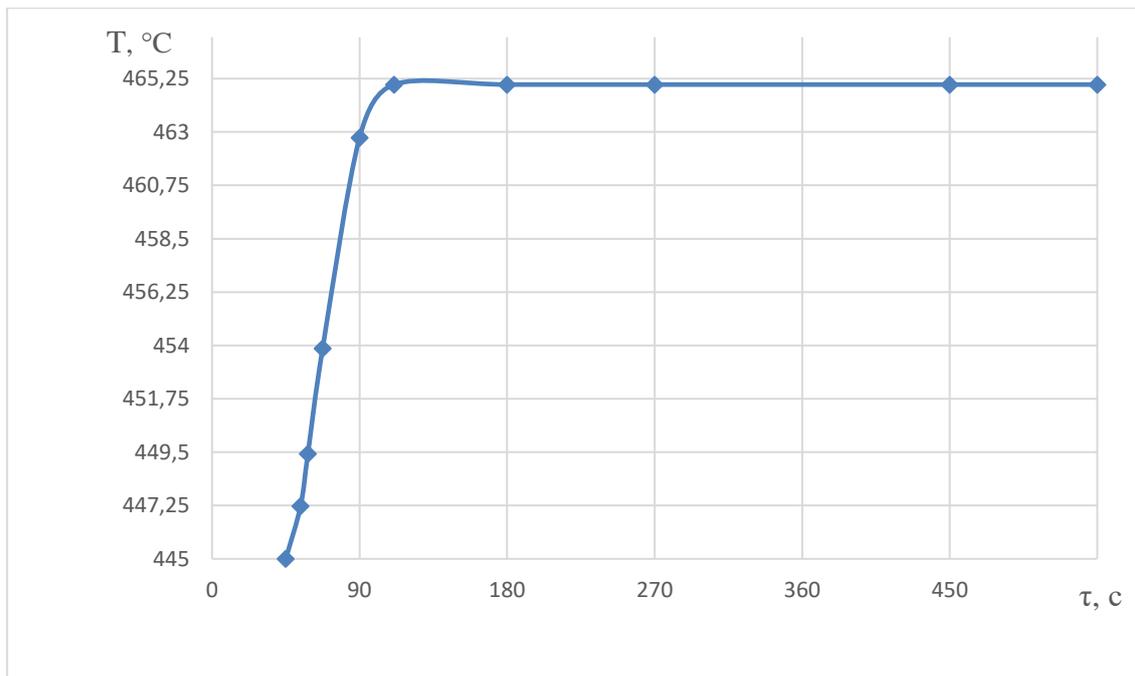


Рисунок 3.6–Кривая разгона объекта управления опережающего контура при возмущении расходом на впрыск 2 т/ч

### 3.4.2. Получение передаточных функций по кривым разгона объектов регулирования

Для получения передаточных функций инерционного и малоинерционного объектов регулирования воспользуемся методом аппроксимации Круг-Мининой [20]. Этот метод применяется для приближенного описания S – образной временной кривой временной кривой апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием. Аппроксимирующая передаточная функция в этом случае имеет вид:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (3.6)$$

где k – коэффициент усиления, °C /т/ч ;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания, с;

T– постоянная времени, с.

Определяем расположение на кривой точек А и Б и находим необходимые неизвестные параметры.

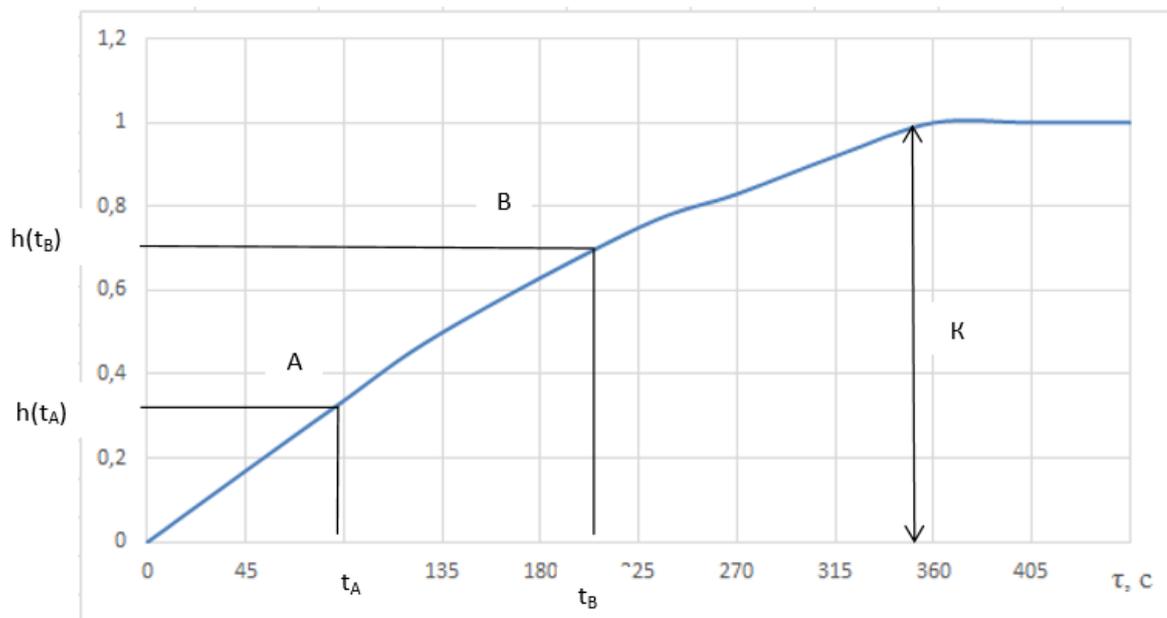


Рисунок 3.7 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора

Определяется время  $t_B$  по нормированной переходной функции  $H(t)$ , которое является корнем уравнения  $h(t_B)$  и время  $t_A$  и  $h(t_A)$ . Затем вычисляются постоянная времени  $T$  и время запаздывания  $\tau$ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B),$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1,2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (3.7)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 90 - 205) = 32,5 \text{ с},$$

$$T = 1,25(205 - 90) = 143,75 \text{ с}.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{32,5}{(143,75P + 1)} e^{-32,5},$$

Определяем расположение на кривой разгона опережающего контура точек A и B и находим необходимые неизвестные параметры.

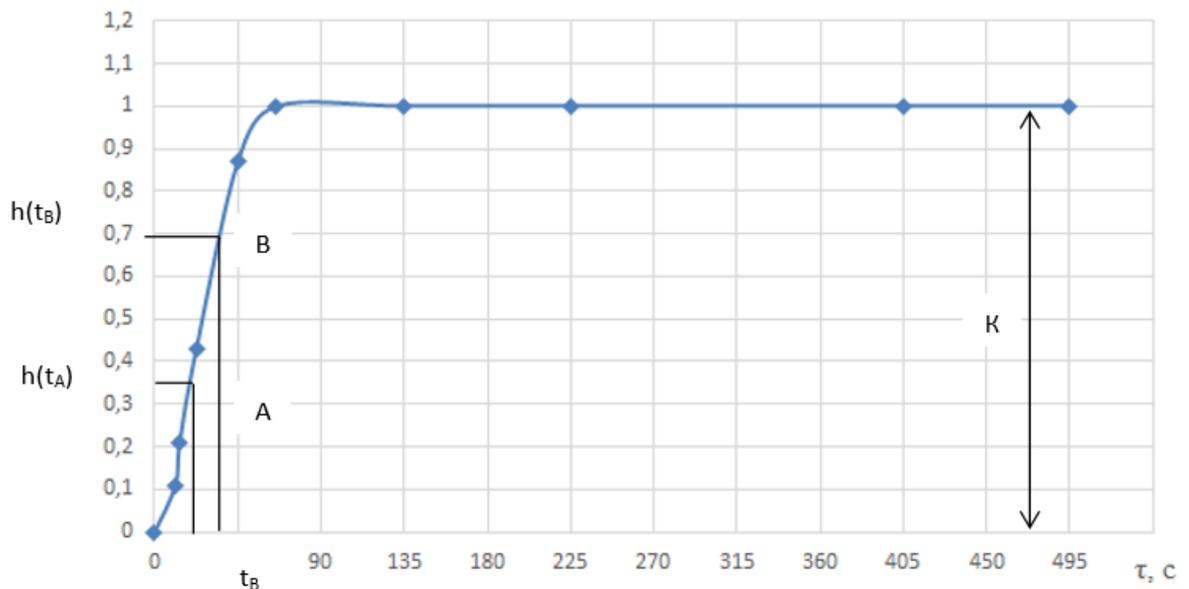


Рисунок 3.8 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 16,25 - 33,75) = 7,5 \text{ с,}$$

$$T = 1,25(33,75 - 16,25) = 21,9 \text{ с.}$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{7,5}{(21,9P+1)} e^{-7,5}.$$

### 3.5. Расчет оптимальных настроек регулятора

#### 3.5.1 Методы определения параметров настройки регулятора

Существует несколько методов расчета параметров настройки регулятора: аналитические, графические и на основе приближенных правил [20].

Аналитические методы основаны на том, чтобы достигнуть значения, определенного из критериев. В качестве критериев могут выступать: запас устойчивости по фазе и по модулю, заданная степень устойчивости и др. Также к аналитическим относятся и частотные методы нахождения параметров настройки. Методы расчета по частотным характеристикам лежат в основе

методов для расчета реально применяемых систем регулирования. Они дают возможность учитывать величины случайных шумов.

Графический метод представляет собой построение области устойчивости в координатах параметров регулятора. Далее происходит построение в этих же координатах новой области для параметров, которые рассчитываются по определенному критерию. Оптимальные параметры настройки регулятора выбираются исходя от определенных правил.

Расчет параметров настройки регулятора осуществим методом расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ). Расчетные формулы этого метода способны обеспечивать границы заданного запаса устойчивости или же заданной степени колебательности системы в пространстве параметров настройки регулятора и использовать при расчетах средства вычислительной техники [20].

Структурная схема АСР температуры перегретого пара представлена на рисунке 3.9.

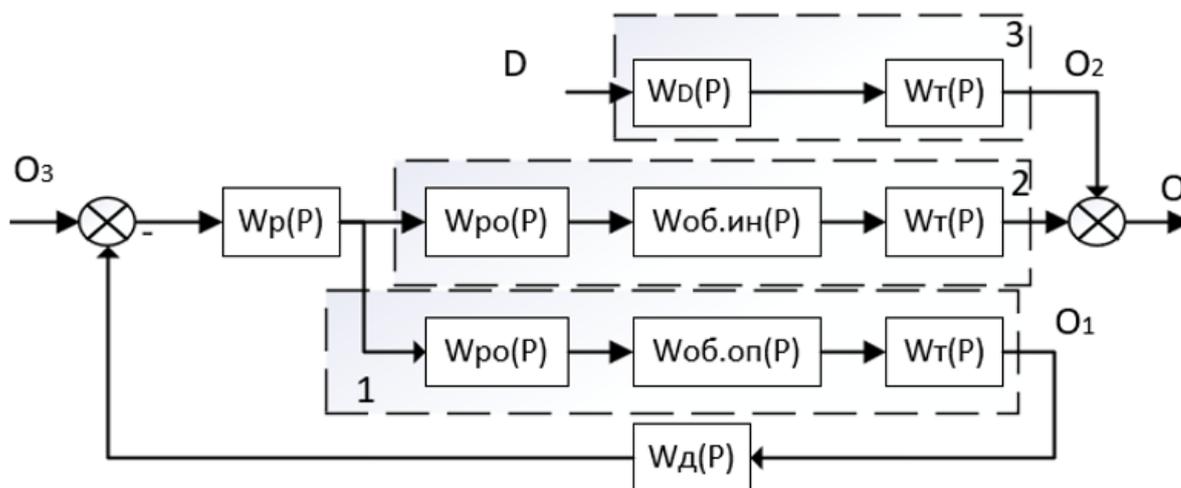


Рисунок 3.9 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара:  
 $W_p(p)$  – передаточная функция регулятора;  $W_d(p)$  – передаточная функция дифференциатора;  $W_{po}(p)$  – передаточная функция регулирующего органа;  
 $W_{об.оп}(p)$  – передаточная функция опережающего участка;  $W_{об.ин}(p)$  – передаточная функция инерционного участка;  $W_t(p)$  – передаточная функция

термоэлектрического преобразователя  $W_D(p)$  – передаточная функция по каналу возмущения расходом пара;  $O_1$  и  $O_2$  – сигналы на выходе термоэлектрических термометров ТЭТ (или их комплекта с измерительным преобразователем);  $O_3$  – сигнал задания;  $D$  – возмущение изменением расхода пара.

На схеме выделены контуры участков, передаточные функции которых равны:

1- передаточная функция объекта регулирования опережающего участка с учетом динамических характеристик регулирующего органа и измерительного преобразователя:

$$W_{об.оп} (P) = W_{po} (P) \cdot W_T (P) \cdot W_{об.оп1} (P), \quad (3.8)$$

$$W_{po} = 0,008$$

$$\text{где } W_T = 0,0082$$

$$W_{об.оп1} = \frac{7,5}{(21,9P + 1)} e^{-7.5P}.$$

следовательно:

$$W_{об.оп} (P) = \frac{0,000492}{(21,9P + 1)} e^{-7.5P}. \quad (3.9)$$

2- передаточная функция объекта регулирования инерционного участка с учетом динамических характеристик регулирующего органа и измерительного преобразователя:

$$W_{об.ин} (P) = W_{po} (P) \cdot W_T (P) \cdot W_{об.ин1} (P). \quad (3.10)$$

$$W_{po} = 0,008$$

$$\text{Где } W_T = 0,0082$$

$$W_{об.ин1} = \frac{32,5}{(143,75P + 1)} e^{-32.5P}.$$

следовательно:

$$W_{об.ин} (P) = \frac{0,00213}{(21,9P + 1)} e^{-32.5P}. \quad (3.11)$$

### 3.5.2 Аналитический расчет оптимальных настроек регулятора и дифференциатора и построение переходного процесса в замкнутой АСР

Задача выбора оптимальных параметров настройки заключается в поиске экстремума критерия оптимальности в области допустимых значений параметров.

Структурная схема системы регулирования представлена на рисунке 3.10

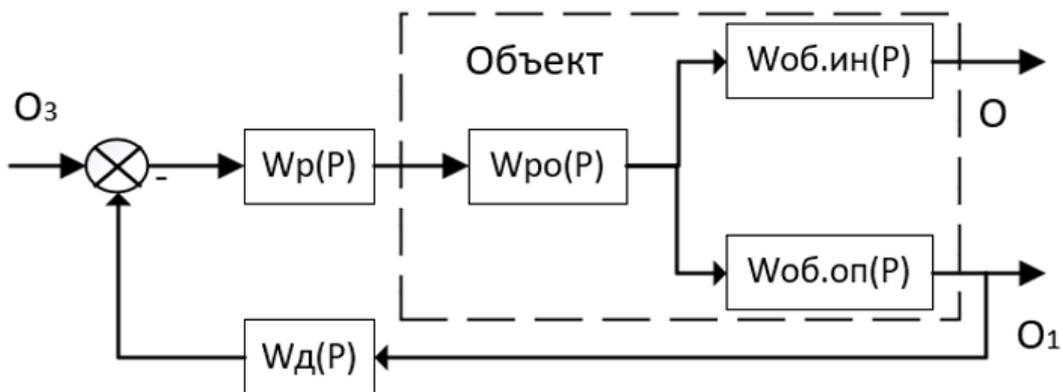


Рисунок 3.10 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара:  
 $W_p(p)$  – передаточная функция регулятора;  $W_d(p)$  – передаточная функция дифференциатора;  $W_{po}(p)$  – передаточная функция регулирующего органа;  $W_{об.оп}(p)$  – передаточная функция опережающего участка;  $W_{об.ин}(p)$  – передаточная функция инерционного участка.

Передаточные функции регулятора и дифференциатора будут иметь вид:

$$W_p(P) = k \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_{up}} \right) = C_1 + \frac{C_0}{p}; \quad (3.12)$$

$$W_d(P) = \frac{k_p T_p p}{T_p p + 1} = \frac{1}{C_3 + \frac{C_2}{p}}, \quad (3.13)$$

где  $C_0 = \frac{k_p}{T_u}$ ;  $C_1 = k_p$ ;  $C_2 = \frac{1}{k_d T_d}$ ;  $C_3 = \frac{1}{k_d}$ .

Для выбора оптимальных параметров настройки каскадной схемы АСР температуры перегретого пара выполняем отдельный расчет контуров, который может быть только в случае малой инерционности внутреннего контура относительно инерционности внешнего контура.

### 3.5.2 Расчет параметров настройки дифференциатора

Передаточная функция замкнутой АСР по задающему воздействию относительно выходного параметра согласно структурной схеме (рисунк 16) имеет вид

$$W_{sc}^{O_1 O_3}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{об.ин.}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{об.ин.}(p) + W_p(p) \cdot W_{об.оп.}(p) \cdot W_D(p)}. \quad (3.14)$$

Поделим числитель и знаменатель на  $W_p(p) \cdot W_{об.оп.}(p) \cdot W_D(p)$  и устремим коэффициент усиления регулятора к бесконечности. В результате получим

$$W_{sc}^{O_1 O_3}(p) = \frac{\frac{W_{об.ин.}(p)}{W_{об.оп.}(p)} \cdot \frac{1}{W_D(p)}}{1 + \frac{W_{об.ин.}(p)}{W_{об.оп.}(p)} \cdot \frac{1}{W_D(p)}}. \quad (3.15)$$

Таким образом, при условии малой инерционности внутреннего контура исходная двухконтурная АСР преобразуется в одноконтурную систему с эквивалентным объектом и эквивалентным регулятором:

$$W_{об.э}(P) = \frac{W_{об.ин.}(p)}{W_{об.оп.}(p)}; \quad (3.16)$$

где  $W_{об.ин.}(P) = \frac{0,00213}{(21,9P+1)} e^{-32,5P}$ ,  $W_{об.оп.}(P) = \frac{0,000492}{(21,9P+1)} e^{-7,5P}$ .

Определим параметры настройки дифференциатора методом расширенных частотных характеристик.

Передаточная функция регулятора

$$W_{p,э}(p) = \frac{1}{W_D(p)} = \frac{1}{k_D(P)} + \frac{1}{k_D(P) \cdot T_D \cdot P}. \quad (3.17)$$

Замена  $P$  на комплексную переменную  $P = (-\omega) \cdot (\omega - i)$ .

### Настроечные параметры дифференциатора

$$\frac{1}{k_D \cdot T_D} = \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \left( -\frac{\text{Im}_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)} \right), \quad (3.18)$$

$$\frac{1}{k_D} = -\frac{m \cdot \text{Im}_{o\delta}(m, \omega) + \text{Re}_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)}, \quad (3.19)$$

Где  $\text{Re}_{o\delta}(m, \omega)$  и  $\text{Im}_{o\delta}(m, \omega)$  расширенные ВЧХ и МЧХ объекта,

$A_{o\delta}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{o\delta}(m, \omega) + \text{Im}_{o\delta}(m, \omega)}$  - расширенная АЧХ объекта.

Задаем степень затухания  $\psi = 0,998$ , тогда степень колебательности  $\psi = 0,989$

Диапазон частоты задаем  $\omega = 0.1, 0.101..0.5$

Обозначим

$$C_2(\omega) = \frac{1}{k_o T_o}, \quad (3.20)$$

$$C_3(\omega) = \frac{1}{k_o}.$$

$\omega =$	$C_2(\omega) =$	$C_3(\omega) =$
0.1	0	-1
0.101	0.0002	-0.79895
0.102	0.00085	-0.59489
0.103	0.00197	-0.39361
0.104	0.00359	-0.20646
0.105	0.00565	-0.04792
0.106	0.00794	0.07239
0.107	0.01028	0.15704
0.108	0.0125	0.21869
0.109	0.01458	0.27132
0.11	0.01657	0.32416
0.111	0.01849	0.38116
0.112	0.02041	0.44295
0.113	0.02233	0.50863
0.114	0.02427	0.5769
...	...	...

Рисунок 3.11 – Коэффициенты системы  $C_2$  и  $C_3$  и частота  $\omega$

Построим график зависимости  $C_2(\omega) = f(C_3(\omega))$ . График представлен на рисунке 3.12.

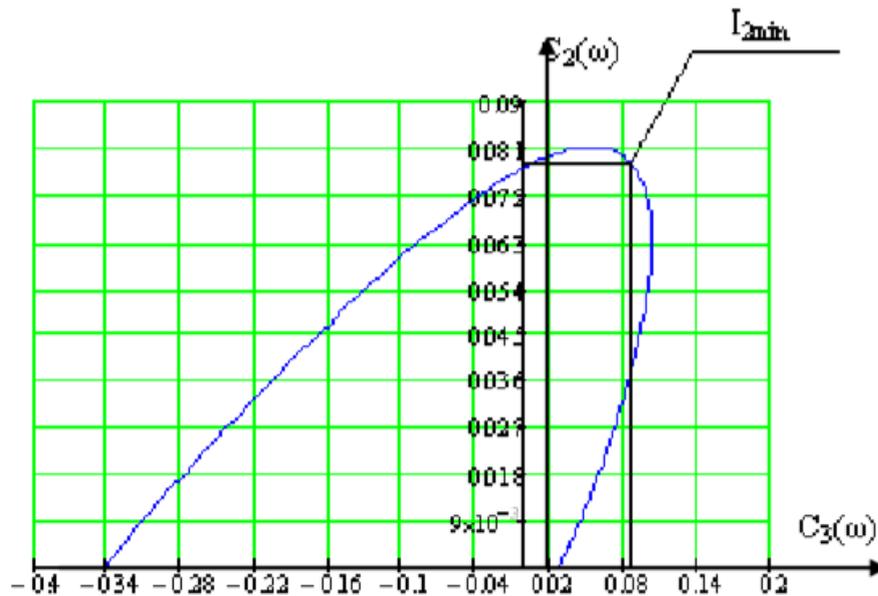


Рисунок 3.12 – Граница запаса устойчивости

Используя второй интегральный критерий качества, находим коэффициенты  $C_2 = 0,0773$  и  $C_3 = 0,084$

Откуда находим оптимальные параметры настройки дифференциатора  $k_D = 1,235, T_D = 10,479c$ .

Передаточная функция дифференциатора  $W_D(P) = \frac{k_D \cdot T_D \cdot P}{T_D \cdot P + 1} = \frac{12,94 \cdot P}{10,479 + 1}$ .

### 3.5.3 Расчет параметров настройки регулятора

Значения  $k_D$  и  $T_D$  найдены из условия, что коэффициент усиления регулятора достаточно большой, но практически его значение всегда ограничено. Поэтому необходимо определение оптимальных параметров настройки регулятора.

Дифференциатор  $W_D(p)$  совместно с объектами  $W_{об.ин}(p)$  и  $W_{об.оп}(p)$  образуют для регулятора эквивалентный объект регулирования в одноконтурной АСР с передаточной функцией

$$W_{об.э.}^P(P) = W_{об.ин}(P) + W_{об.оп.}(P) \cdot W_D(P). \quad (3.21)$$

Определим параметры настройки ПИ-регулятора методом расширенных частотных характеристик

Диапазон изменения частоты задаем

Замена  $P$  на комплексную переменную  $P = (-\omega) \cdot (\omega - i)$ .

Настроечные параметры регулятора

$$\frac{k_p}{T_u} = \frac{(-1)}{A_{обP}^2(m, \omega)} \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{обP}(m, \omega), \quad (3.22)$$

$$k_p = \frac{(-1)}{A_{обP}^2(m, \omega)} \cdot (\text{Re}_{обP}(m, \omega) + m \cdot \text{Im}_{обP}(m, \omega)), \quad (3.23)$$

Где  $\text{Re}_{обP}(m, \omega)$  и  $\text{Im}_{обP}(m, \omega)$  расширенные ВЧХ и МЧХ объекта,

Определяем ВЧХ и МЧХ объекта

Диапазон изменения частоты задаем  $\omega = 0, 0.01..0.5$

$$\text{R}2(\omega) = \text{Re}_{обP}(m, \omega); \text{Im}2(\omega) = \text{Im}_{обP}(m, \omega).$$

$\omega =$	$\text{R}\chi(\omega) =$	$\text{Im}\chi(\omega) =$
0	0.00029	$-3.08554 \cdot 10^{-4}$
0.01	0.00024	$-3.15869 \cdot 10^{-4}$
0.02	0.00019	$-3.17449 \cdot 10^{-4}$
0.03	0.00016	$-3.17907 \cdot 10^{-4}$
0.04	0.00013	$-3.19158 \cdot 10^{-4}$
0.05	0.0001	$-3.21755 \cdot 10^{-4}$
0.06	$7.92797 \cdot 10^{-5}$	$-3.25567 \cdot 10^{-4}$
0.07	$5.35929 \cdot 10^{-5}$	$-3.30113 \cdot 10^{-4}$
0.08	$2.63062 \cdot 10^{-5}$	$-3.34717 \cdot 10^{-4}$
0.09	$-3.26145 \cdot 10^{-6}$	$-3.38583 \cdot 10^{-4}$
0.1	$-3.55471 \cdot 10^{-5}$	$-3.40825 \cdot 10^{-4}$
0.11	$-7.07734 \cdot 10^{-5}$	$-3.40489 \cdot 10^{-4}$
0.12	-0.00011	$-3.3656 \cdot 10^{-4}$
0.13	-0.00015	$-3.27972 \cdot 10^{-4}$
0.14	-0.00019	$-3.1363 \cdot 10^{-4}$
...	...	...

Рисунок 3.13– Расширенные ВЧХ и МЧХ объекта и частота  $\omega$

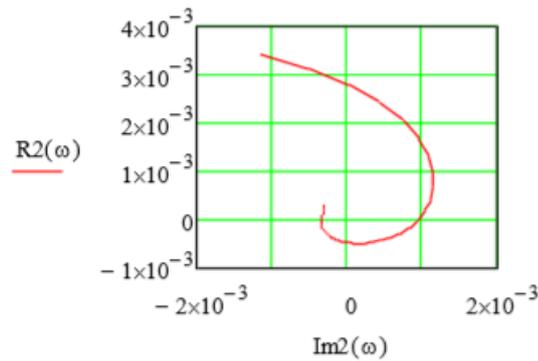


Рисунок 3.14 – РАФЧХ объекта

Определяем расширенные АЧХ и ФЧХ

$$A_{\text{обP}}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{\text{обP}}(m, \omega) + \text{Im}_{\text{обP}}(m, \omega)} \quad (3.24)$$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}; \quad (3.25)$$

Диапазон изменения частоты  $\omega = 0, 0.001..0.3$

w =	$A_{\text{iaD}}(\omega) =$	$\phi_{\text{iaD}}(\omega) =$
0	$4.24508 \cdot 10^{-4}$	-0.81373
$1 \cdot 10^{-3}$	$3.93897 \cdot 10^{-4}$	-0.93048
$2 \cdot 10^{-3}$	$3.71275 \cdot 10^{-4}$	-1.0256
$3 \cdot 10^{-3}$	$3.5531 \cdot 10^{-4}$	-1.10782
$4 \cdot 10^{-3}$	$3.44684 \cdot 10^{-4}$	-1.18352
$5 \cdot 10^{-3}$	$3.38252 \cdot 10^{-4}$	-1.25719
$6 \cdot 10^{-3}$	$3.35081 \cdot 10^{-4}$	-1.33193
$7 \cdot 10^{-3}$	$3.34435 \cdot 10^{-4}$	-1.40985
$8 \cdot 10^{-3}$	$3.3575 \cdot 10^{-4}$	-1.49237
$9 \cdot 10^{-3}$	$3.38598 \cdot 10^{-4}$	1.56116
0.01	$3.42674 \cdot 10^{-4}$	1.46687
0.011	$3.47767 \cdot 10^{-4}$	1.36586
0.012	$3.53757 \cdot 10^{-4}$	1.25771
0.013	$3.60608 \cdot 10^{-4}$	1.14208
0.014	$3.68366 \cdot 10^{-4}$	1.01867
0.015	...	...
...		

Рисунок 3.15 – Расширенные АЧХ и ФЧХ объекта и частота  $\omega$

Задаем степень затухания  $\psi = 0,998$ , тогда степень колебательности  $\psi = 0,989$

Диапазон изменения частоты задаем  $\omega = 0, 0.01..0.5$

Обозначим  $C_0(\omega) = \frac{k_d}{T_u}$ ,  
 $C_1(\omega) = k_p$ .

$\omega =$	$C_0(\omega) =$	$C_1(\omega) =$
0.1	0	$-2.025 \cdot 10^3$
0.101	0.4877	$-1.54865 \cdot 10^3$
0.102	2.04141	$-1.0571 \cdot 10^3$
0.103	4.79409	-562.69768
0.104	8.80395	-89.01373
0.105	13.94553	334.58613
0.106	19.86027	686.16926
0.107	26.05848	964.88511
0.108	32.13019	$1.19158 \cdot 10^3$
0.109	37.86641	$1.39422 \cdot 10^3$
0.11	43.20896	$1.59344 \cdot 10^3$
0.111	48.13636	$1.79814 \cdot 10^3$
0.112	52.58653	$2.00795 \cdot 10^3$
0.113	56.43086	$2.21709 \cdot 10^3$
0.114	59.47802	$2.41704 \cdot 10^3$
...	...	...

Рисунок 3.16 – Коэффициенты  $C_0$  и  $C_1$

Построим график зависимости  $C_0(\omega) = f(C_1(\omega))$ . График представлен на рисунке 3.17.

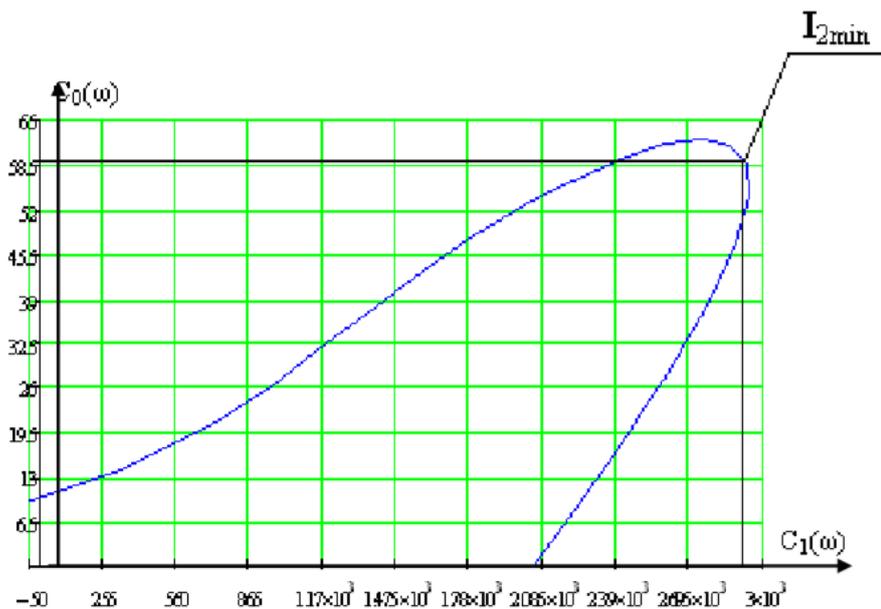


Рисунок 3.17 - Граница запаса устойчивости

Используя второй интегральный критерий качества, находим коэффициенты  $C_0 = 55,21$  и  $C_1 = 0,084$

Откуда находим оптимальные параметры настройки регулятора

$$k_p = 2697,7, T_p = 48,86c, \omega_p = 0,0188c^{-1}.$$

Передаточная функция регулятора  $W_p(P) = \frac{k_p(1+T_p \cdot P)}{T_p \cdot P} = \frac{2697,7(1+48,86)}{48,86P}$ .

### 3.5.5 Построение переходного процесса по задающему воздействию и оценка качества работы системы

Построение переходного процесса по задающему воздействию проводим с использованием передаточной функции методом численного интегрирования.

$$W_{sc}^{o_1, o_3}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{об.ин.}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{об.ин.}(p) + W_p(p) \cdot W_{об.оп.}(p) \cdot W_d(p)}. \quad (3.26)$$

Этот метод основан на том, что при нулевых начальных условиях и единичном ступенчатом воздействии связь между переходной характеристикой и вещественной частотной характеристикой (ВЧХ) системы имеет вид

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega t) d\omega. \quad (3.27)$$

График ВЧХ системы представлен на рисунке 3.18

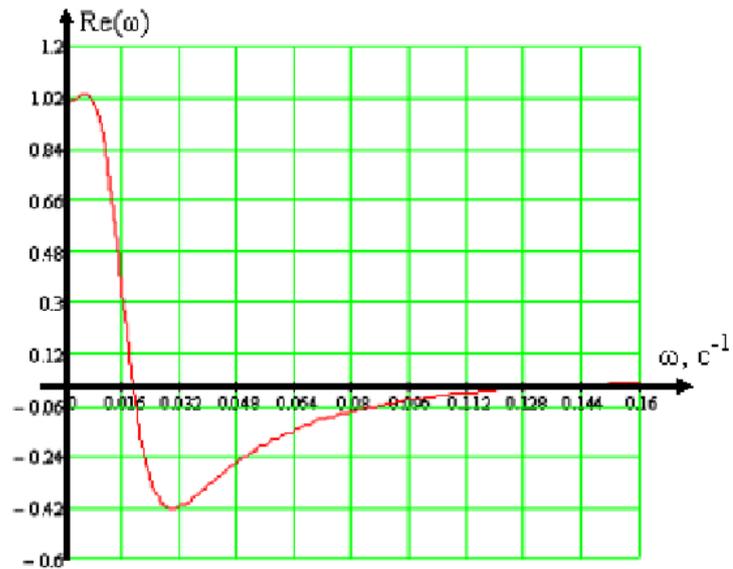


Рисунок 3.18 – ВЧХ системы

Резонансная частота  $\omega_{рез} = 0,128c^{-1}$

Переходный процесс рассчитываем по формуле

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{0,128} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega t) d\omega. \quad (3.28)$$

График переходного процесса представлен на рисунке 3.19

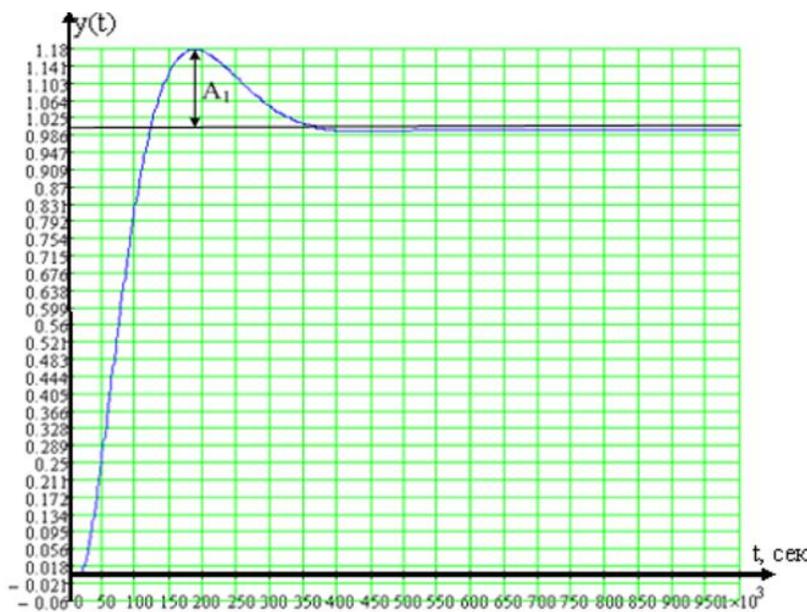


Рисунок 3.19 – график переходного процесса по каналу задающего воздействия

По графику переходного процесса определяем величины  $A_1 = 0,17787$ ,  $A_2 = 0,00497$ .

Прямые оценки качества переходного процесса:

1. Максимальная динамическая ошибка  $A_1 = 0,17787$ .

2. Степень затухания переходного процесса

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_2} = \frac{0,17789 - 0,00497}{0,17787} = 0,997; \quad (3.29)$$

3. Время регулирования  $t_p = 280$  с.

4. Перерегулирование  $\sigma = \frac{A_1}{Y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,17789}{1} \cdot 100 = 17,787\%.$  (3.30)

5. Динамический коэффициент

$$R_o = \frac{A_1 + Y(\infty)}{k_{об}} \cdot 100 = \frac{0,17789 + 1}{1} \cdot 100 = 177,87\% \quad (3.31)$$

6. Статическая ошибка  $\varepsilon_{ст} = S - Y(\infty) = 1 - 1 = 0.$  (3.32)

Показатели переходного процесса рассчитанной нами системы соответствуют требованиям, предъявляемым к переходному процессу АСР температуры перегретого пара парогенератора.

#### 4 Разработка мнемосхемы регулирования участка температуры перегретого пара

Мнемосхемой называется графическое изображение, основанное на функциональной схеме управляемого объекта. Таким образом, схема описывает технологический процесс, используя программное управление. Мнемосхема является промежуточным звеном между оператором и производственным процессом, в процессе управления мнемосхема это источник данных о текущем состоянии системы и всех ее составляющих.

Общие требования, предъявляемые к мнемосхеме:

1) мнемосхема должна содержать элементы, необходимые оператору для контроля и управления объектом;

2) отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;

3) форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствие с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема для температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140, которые приведены на рисунке 4.1 и 4.2 Разработаны два взаимосвязанных экрана. Экран мнемосхема является основным.(Рисунок 4.1) На нем показан участок, на котором происходит измерение температуры перегретого пара, клапан впрыска, впрыскивающий парохладитель, также на основном экране оператор может регулировать процессом, выбирать режим управления: автоматический или ручной, открывать и закрывать клапан впрыска, и включать отображение измерения с датчиков температуры, также на экран добавлены лампы сигнализаций: охлаждения, перегрева, аварии, для отслеживания оператором состояния протекания процесса в ручном режиме управления.

На экране процессы (Рисунок 4.2) будут отображаться: график температур после первого и второго пароперегревателей, значения температур, лампы, сигнализирующие об охлаждении или перегреве, лампа, показывающая, что произошла авария а также расход впрыскиваемой воды.

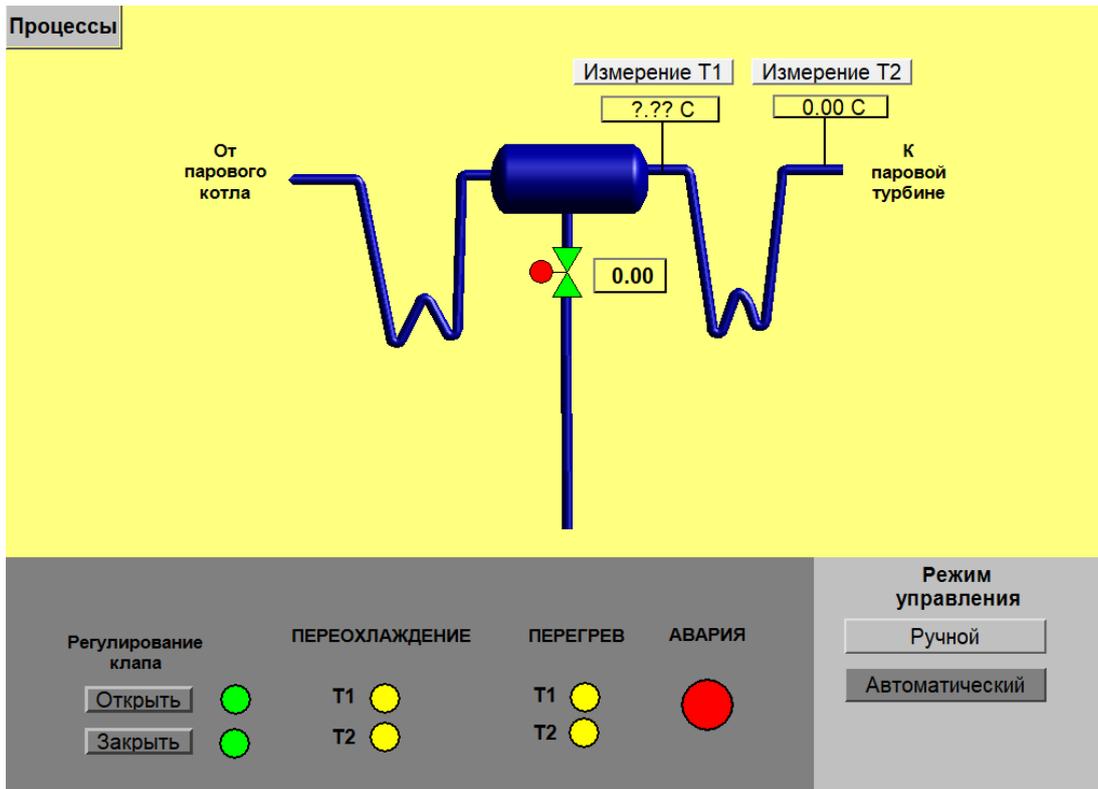


Рисунок 4.1 – Мнемосхема процессы



Рисунок 4.2 – Экран мнемосхемы

Два экрана между собой взаимосвязаны и имеют быстрый и свободный переход между ними, с помощью кнопки в левом верхнем углу.

Данная работа выполнялась с помощью таких программных средств, как Codesys и Masterscada. Поэтому параметры мнемосхемы могут изменяться как с помощью одной программной среды, так и с помощью другой.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б6В	Штейзель Александр Евгеньевич

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	НОЦ И.Н Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР

Автоматическая система контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Тариф на электроэнергию составляет 3,25 руб/кВт·ч
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент- 1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды 30 % от фонда оплаты труда (ФОТ)

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	- Описание потенциальных потребителей; - Анализ конкурентных технических решений; -SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Описание потенциального эффекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Диаграмма Ганта
--------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г	Доцент, к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Б6В	Штейзель Александр Евгеньевич		

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания данного раздела является расчет финансово-экономических аспектов автоматической системы контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС-2: определение конкурентоспособности, перспективности, и успешности выбранного проектного решения.

Для выполнения данной задачи необходимо:

- 1) составить план работ и оценить время их выполнения;
- 2) составить смету затрат на проект;
- 3) составить смету затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта;
- 4) определить срок окупаемости проекта.

### 5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки технического проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### 5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет производить сравнения между конкурирующими разработками и определить тенденции для ее дальнейшего роста.

В результате анализа существующих решений управления и контроля температуры перегретого пара было выбрано несколько конкурирующих систем.

##### 1. Метод поверхностного охлаждения

Данный метод заключается в передаче тепла от одной среды другой без смешивания веществ в различных теплообменниках. Температура перегретого пара в таком случае регулируется количеством воды, движущейся через теплообменник, и определяется по положению двухходового регулирующего клапана.

##### 2. Метод воздействия на тепловосприятие

Метод воздействия на тепловосприятие поверхностей перегрева, осуществляется с помощью изменения положения факела в топке, распределением газов по газоходам и циркуляцией дымовых газов. Положение факела в топке изменяется поворотом горелок и включением дополнительных горелок при их многоярусном расположении

### 3. Метод смешивания

Метод смешивания осуществляется посредством впрыска в пар воды или добавлением к нему пара, имеющего более низкое теплосодержание. Вода для впрыска отбирается из питательной магистрали до регулирующего клапана парового котла и через регулирующийся клапан впрыска вводится в поток пара между первым и вторым пакетами перегревателя. Клапан регулирует расход питательной воды, которая, проходя через экономайзер поступает в барабан котельного агрегата.

Выбранные проектные решения приведены в таблице 1 под цифрами 1, 2, 3, соответственно. Позиция выбранных вариантов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 (100%).

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		1	2	3	1	2	3
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
2. Надежность	0,2	4	3	4	0,8	0,6	0,8
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,25	4	4	5	1	1	1,25
4. Простота эксплуатации	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,15	3	4	5	0,3	0,6	0,75

Продолжение таблицы 5.1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		1	2	3	1	2	3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,15	4	2	4	0,6	0,3	0,6
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>3,7</b>	<b>3,45</b>	<b>4,6</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K_i = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где  $K_i$  – конкурентоспособность первого, второго или третьего решения;

$B_i$  – вес  $i$ -го критерия (в долях единицы);

$B_i$  – баллы  $i$ -го показателя.

Пример оценки конкурентоспособности приведем 2 конкурента:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 = 3,45.$$

По результатам анализа можно увидеть, что выбранное проектное решение является конкурентоспособным. Регулирование температуры перегретого пара методом впрыска является одной из самых эффективных, простых и надежных в эксплуатации. Также обладает высокими функциональными и интеллектуальными возможностями, что позволяет осуществлять более эффективное, по сравнению с конкурентами, регулирование процесса.

Два альтернативных решения Два других рассматриваемых решения имеют более низкую функциональность и качество интеллектуального интерфейса. Что может негативно сказаться на качестве выполняемых функций.

Далее планируется рассматривать только выбранную систему регулирования.

### 5.1.2 SWOT-анализ

SWOT анализ – это метод оценки ситуации и будущих перспектив проекта, основная задача которого: определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. На основании анализа делаются вывод: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта.

Таблица 5.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Возможности
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Доступная стоимость</li><li>2. Высокая функциональность и надежность оборудования</li><li>3. Простота и удобство эксплуатации</li><li>4. Использование современных технологических решений</li><li>5. Безопасность</li><li>6. Экономия воды на впрыск</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Повышение стоимости конкурентных разработок</li><li>2. Высокий спрос инвесторов к новым разработкам</li><li>3. Увеличение стоимости на электроэнергию</li></ol>
Слабые стороны	Угрозы
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Сложность монтажа</li><li>2. Сложность оборудования</li><li>3. Низкая адаптивность системы</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Повышение цен на компоненты системы</li><li>2. Усовершенствование конкурентных решений</li></ol>

По указанным данным видно, что возможности и сильные стороны способствуют развитию спроса.

По результатам анализа выявлена такие достоинства разрабатываемой системы, как относительно невысокая стоимость, высокая функциональность и надёжность оборудования. Проект включает в себя современные технологические решения, которые долгое время будут актуальны.

Несмотря на все преобладания сильных сторон у проекта существует ряд недостатков, связанных в первую очередь со сложностью монтажа самой

системы и оборудования. Устранение этих недостатков проекта возможно с учетом проведения дополнительных исследований, и последующей доработкой системы.

### 5.1.3 Планирование работ и оценка времени выполнения

Для организации процесса реализации проекта необходимо планирование занятости участников в проекте, а также сроков выполнения определенных этапов работы. В таблице 8 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 5.3 – Перечень работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
Получение задания	Инженер	1
	Научный руководитель	1
Обзор мировых работ, связанных с регулированием температуры перегретого пара	Инженер	6
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	25
	Научный руководитель	3
Анализ подобранных материалов	Инженер	6
Разработка функциональной и структурной схем, подбор оборудования	Инженер	17
	Научный руководитель	3
Разработка щита управления САУ	Инженер	8
Проектирование мнемосхемы	Инженер	7
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	7

Продолжение таблицы 5.3

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
Проверка и утверждение выпускной квалификационной работы	Инженер	8
	Научный руководитель	1
Итого	Инженер	85
	Научный руководитель	8

По данным таблицы 5.3 построен график проведения работ, представленный в таблице 5.4.

Диаграмма Ганта – это популярный тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту. Является одним из методов планирования проектов. Используется в приложениях по управлению проектами.

Таблица 5.4- Диаграмма Ганта

Наименование работы	1	2-7	8-32	33-38	39-55	56-63	64-70	71-77	78-85
Получение задания									
Обзор мировых работ, связанных с регулированием температуры перегретого пара									
Подбор и изучение материалов по теме									
Анализ подобранных материалов									
Разработка функциональной и структурной схем, подбор оборудования									
Разработка щита управления САУ									
Проектирование мнемосхемы									
Оформление пояснительной записки ВКР									
Проверка и утверждение ВКР									

#### 5.1.4 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{np} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл}, \quad (5.2)$$

где  $K_{mat}$  – материальные затраты;

$K_{ам}$  – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$  – затраты на заработную плату;

$K_{с.о}$  – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$  – прочие затраты;

$K_{накл}$  – накладные расходы.

#### 5.2 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем 1000 руб.

#### 5.3 Затраты на амортизацию

Амортизацию оборудования в классическом понимании можно назвать постепенным переносом стоимости основной части финансовой организации и ее активов нематериального значения по уровню их морального и физического износа на итоговую цену выпускаемых товаров.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал.}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad (5.3)$$

где  $T_{исп.кт}$  – время использования компьютерной техники;

$T_{кал.}$  – календарное время;

$Ц_{кт}$  – цена компьютерной техники;

$T_{сл}$  – срок службы компьютерной техники.

$$K_{ам} = \frac{85}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1164 \text{ руб./год,}$$

#### 5.4 Затраты на заработную плату

Заработная плата – это вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также выплаты компенсационного и стимулирующего характера.

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \quad (5.5)$$

где  $ЗП_{инж}^{\phi}$  - фактическая заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^{\phi}$  - заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад инженера и научного руководителя:

$$\begin{aligned} ЗП_{инж}^M &= ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \\ ЗП_{нр}^M &= ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \end{aligned} \quad (5.6)$$

где  $ЗП_{инж}^M$  - месячная заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^M$  - месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$  - месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 26300 руб.);

$K_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

$K_2$  – районный коэффициент равен 1,3 (10%).

$$ЗП_{инж}^M = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.},$$

$$ЗП_{нр}^M = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.},$$

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (5.7)$$

где  $ЗП_{мес}$  – месячная заработная плата;

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

$n^{\phi}$  - фактическое число дней в проекте.

$$\text{Инженер: } ЗП_{\phi} = \frac{17000}{21} \cdot 85 = 68809 \text{ руб.}$$

Научный руководитель:  $ЗП_{\phi} = \frac{97609}{21} \cdot 8 = 14327 \text{ руб.}$   
 $K_{з/пл} = 68809 + 14327 = 83136 \text{ руб}$

#### 5.4 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды – обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством государственного социального страхования в Фонд социального страхования РФ, Пенсионный фонд РФ, фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату

$$K_{соц/н} = K_{з/пл} \cdot 0,3, \quad (5.8)$$

$$K_{соц/н} = 83136 \cdot 0,3 = 24941 \text{ руб.}$$

#### 5.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{пр} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{соц/н}) \cdot 0,1, \quad (5.9)$$

$$K_{пр} = (1000 + 1164 + 83136 + 24941) \cdot 0,1 = 11024 \text{ руб}$$

#### 5.6 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на хозяйственное обслуживание производства и управление предприятием, являющиеся дополнительными к основным затратам и наряду с ними включаемые в издержки производства. Накладные расходы принимаются в размере 20 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{з/пл} \cdot 0,2 \quad (5.10)$$

$$K_{\text{накл}} = 83136 \cdot 0,2 = 16627 \text{ руб}$$

В таблице 5.5 представлена смета затрат на проект.

Таблица 5.5 – Бюджет НТИ

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1164
Затраты на заработную плату	83136
Затраты на социальные нужды	24941
Прочие затраты	11024
Накладные расходы	16627
<b>Итого:</b>	<b>137892</b>

#### 5.7 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 11 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость

Таблица 5.6 –Перечень используемого оборудования

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
Микропроцессорный программируемый контроллер ПЛК ОВЕН 63	15000	1
Датчик температуры (ТЭП)	4000	2
Блок питания БП-15	2300	1
Исполнительный механизм МЭОФ-1000/25-0,25	38000	1
Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3А	4500	1
Кабель КИПЭВ 2x0,6	9300	1

Продолжение таблицы 5.6

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
Кабель КРВГ 4x1	2520	1
Кабель КРВБГ 4x1	5400	1
Кабель АКРВБГ 4x2.5	1080	1
Компьютер	25000	1
<b>Итого</b>	<b>111100</b>	<b>11</b>

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 20 % от суммы затрат на технические средства:

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot K_{\text{обор}}, \quad (5.11)$$

где  $K_{\text{обор}}$  - затраты на оборудование.

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 111100 = 22220 \text{ руб}$$

Общие капитальные затраты:

$$\begin{aligned} \sum K &= K_{\text{пр}} + K_{\text{обор}} + K_{\text{монт}}, \\ \sum K &= 137892 + 111100 + 22220 = 271212 \text{ руб}. \end{aligned} \quad (5.12)$$

2,8 Расчет годовых эксплуатационных издержек

$$I_{\text{год}} = I_{\text{ам}} + I_{\text{рем}} + I_{\text{з/пл}} + I_{\text{соц}}, \quad (5.13)$$

где  $I_{\text{ам}}$  – затраты на амортизацию;

$I_{\text{рем}}$  – затраты на текущий ремонт;

$I_{\text{з/пл}}$  – затраты на зарплату обслуживающего персонала;

$I_{\text{соц}}$  – затраты на социальные нужды (30% от оплаты труда).

Амортизационные отчисления при сроке службы технических средств

$T_{\text{сс}} = 10$  лет определяется по формуле:

$$\begin{aligned} I_{\text{ам}} &= \frac{1}{T_{\text{сс}}} \cdot I_{\text{обор}}, \\ I_{\text{ам}} &= \frac{1}{10} \cdot 111100 = 11110 \text{ руб}. \end{aligned} \quad (5.14)$$

Затраты на ремонт приняты в размере 10 % от затрат на амортизацию:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{рем}} &= 0,1 \cdot I_{\text{ам}}, \\
 I_{\text{рем}} &= 0,1 \cdot 11110 = 1111 \text{руб.}
 \end{aligned}
 \tag{5.15}$$

Рассчитаем затраты на заработную плату в рублях по формуле:

$$I_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{опер}} + 3П_{\text{инж}} + 3П_{\text{монт}}, \tag{5.16}$$

где  $3П_{\text{опер}}$  – заработная плата оператора;  $3П_{\text{инж}}$  – заработная плата инженера КИПиА;  $3П_{\text{монт}}$  – заработная плата слесаря-монтажника.

Рассчитаем месячный оклад сотрудников по формуле:

$$I^{\text{м}} = 3П \cdot K_1 \cdot K_2, \tag{5.17}$$

где  $3П$  – месячный оклад, руб;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск (10 %);  $K_2$  – районный коэффициент (30 %).

$$I_{\text{опер}}^{\text{м}} = 15000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 21450 \text{руб.},$$

$$I_{\text{инж}}^{\text{м}} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{руб.}$$

$$I_{\text{монт}}^{\text{м}} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{руб.}$$

Годовая заработная плата обслуживающего персонала будет составлять:

$$I_{\text{з/пл}} = 12 \cdot 3П^{\text{м}},$$

$$I_{\text{опер}} = 12 \cdot 21450 = 257400 \text{руб.}, \tag{5.18}$$

$$I_{\text{инж}} = 12 \cdot 42900 = 257400 \text{руб.}$$

Работа слесаря-монтажника составляет один месяц. Тогда, затраты на заработную плату за год будут равны:

$$I^{\text{м}} = 257400 + 257400 + 42900 = 815100 \text{руб.}$$

Отчисления на социальные нужды составляют 30 % от фонда оплаты труда:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{соц}} &= 0,3 \cdot I_{\text{з/пл}}, \\
 I_{\text{соц}} &= 0,3 \cdot 815100 = 244530 \text{руб.}
 \end{aligned}
 \tag{5.19}$$

Годовые эксплуатационные расходы составляют:

$$I_{\text{год}} = 11110 + 1111 + 244530 + 815100 = 1071851 \text{руб.} \tag{5.20}$$

## 5.8 Расчет экономической эффективности

За счет внедрения автоматической системы энергосбережение на предприятии составит 20-25 % от суточного потребления электроэнергии. Предел годовой экономии можно рассчитать по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_y = 365 \cdot \Delta \mathcal{E} \cdot \tau_y, (5.21)$$

где  $\Delta \mathcal{E} = 3000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  – экономия электроэнергии;  $\tau_y = 3,25 \text{ руб кВт} \cdot \text{ч}$  – тариф на электроэнергию

$$\Delta \mathcal{E}_y = 365 \cdot 3000 \cdot 3,25 = 3558750 \text{ руб},$$

Годовой эффект будет равен пределу годовой экономии:

$$\Delta \mathcal{E}_{год} = 3558750 \text{ руб}.$$

Рассчитаем срок окупаемости капитальных вложений, используя формулу:

$$T_{ок} = \frac{K_{пр} + K_{обор} + K_{монт}}{\mathcal{E}_{год} - I_{год}}, (5.22)$$
$$T_{ок} = \frac{137892 + 111100 + 22220}{3558750 - 1071851} = 0,11 \text{ года}$$

Реализация проекта по внедрению автоматической системы регулирования температуры перегретого пара требует больших финансовых вложений на разработку проекта, приобретение оборудования и монтаж системы. При внедрении данной системы снижается нагрузка на производственное оборудование и вследствие этого повышается рабочий ресурс, также снижаются затраты на электроэнергию.

## 5.9 Заключение по разделу

В ходе выполнения данного раздела был проведен анализ коммерческого потенциала проектируемой системы контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора.

1. Для начала были рассмотрены, проанализированы различные варианты построения данной системы, затем по результатам оценочной карты система будет строиться на методе впрыска питательной воды, т.к. это наиболее конкурентноспособный и перспективный вариант разработки.

2. Затем в ходе SWOT-анализа были проанализированы слабые и сильные стороны данной системы затем был проведен прогноз внешних угроз и возможностей, учитывая которые можно повысить конкурентоспособность данного проекта.

3. В данной части было произведено распределение обязанностей по внедрению проектируемой системы в работу рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Общая продолжительность работ составила 85 дней.

4. Был произведен подсчет затрат на разработку, исходя из этого можно сформировать вывод о том, что основной статьей расходов является расходы на заработную плату – 83136 руб. (), на втором месте расходы на соц. Нужды – 24941 руб. (), Затем идут накладные расходы – 16627 руб. (), прочие расходы – 11024 руб. (). Меньше всего средств уходит на амортизацию оборудования – 1164 руб. и материальные затраты – 1000 руб.(). Общий бюджет разработки составил 137892 руб.

5. В заключительной части была рассчитана экономическая эффективность внедряемой разработки, срок окупаемости капитальных вложений составил 0.11 года.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б6В	Штейзель Александр Евгеньевич

<b>Школа</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Уровень образования</b>	<b>Направление/специальность</b>
		Бакалавриат	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

<b>Автоматическая система контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС-2</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования	Создание автоматической системы контроля и управления температуры перегретого пара
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	-Конституция РФ -ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. - ФЗ №181 «Об основах охраны труда в РФ
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	-Повышенный уровень шума -Отклонение показателей микроклимата Повышенный уровень электромагнитных излучений - Поражение электрическим током - Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– Влияние рассматриваемого объекта исследования на атмосферу и гидросферу, методы минимизации ущерба окружающей среде
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	- Короткое замыкание -Самовозгорание -Не соблюдение техники безопасности -Перегрузка сетей, которая ведет сильный нагрев токоведущих элементов и загорание изоляции

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Штейзель Александр Евгеньевич		

## 6 Социальная ответственность

### Введение

В выпускной квалификационной работе была спроектирована автоматическая система контроля и управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140. Данная система должна быть установлена в котельной и ее дальнейшее использование на практике является актуальной. Предполагается ликвидирование потери энергии, обеспечение надежности и безопасности работы парогенератора. Объектом для установки данной системы является Томская ГРЭС-2.

Эксплуатация данной системы управления и контроля подразумевает уменьшение количество персонала и понижение стоимости тепловой энергии. Для того чтобы обеспечить работоспособность системы необходим оператор, который должен отслеживать температуру перегретого пара на выходе котла, и осуществлять обслуживание системы.

#### 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основным законом страны является конституция, поэтому указы и правовые акты, принимающиеся в РФ не должны ей противоречить. На данный момент существуют принятые нормы в области охраны труда:

1. Жизнь и здоровье работника находятся на первом месте, а уже далее следует результат производственной деятельности предприятия;
2. Единые нормативные требования по охране труда
3. В случае, если работник пострадал в результате несчастного случая на производстве регламентируются защита его интересов

##### 6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Один раз в три месяца каждый оператор котельной должен пройти инструктаж по технике безопасности, и строго соблюдать все правила пожарной безопасности. Без присмотра и надзора оператор не имеет права оставлять котел. Оператор должен быть обеспечен за счет предприятия средствами индивидуальной защиты, такими как спецодежда, спецобувь и т.д.

Останавливать работу котла только в случаях аварии, и только после получения распоряжения от административного персонала предприятия. В конце рабочего дня оператор обязан сдать дежурство, отметившись в журнале.

### 6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Все работники имеют право на охрану труда, в том числе:

1) на рабочее место, которое защищено от воздействия вредных или опасных производственных факторов;

2) на возмещение вреда, которое причинено увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей;

3) на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

Рабочее помещение должно соответствовать всем нормам освещения. Рабочее место должно иметь обеденное место, и оснащено средствами гигиенического ухода

## 6.2 Производственная безопасность

В таблице 6.1 представлен перечень опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть в процессе разработки, изготовления и эксплуатации системы автоматизации

Таблица 6.1 - Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень шума		+	+	Шумы – СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Микроклимат – СанПиН 2.2.4.548 – 96 Электромагнитное излучение - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Электробезопасность – ГОСТ 12.1.038-82
2. Отклонение параметров микроклимата	+	+	+	
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	

4. Поражение электрическим током	+	+	+	Защита от тепловых воздействий ГОСТ Р 30331.4-95
5. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	+	+	+	

### 6.2.1 Повышенный уровень шума

Шум является опасным фактором, источниками шума на ГРЭС могут быть турбины, котлы, электродвигатели, и другое оборудование, которое находится вблизи операторской.

На персонал оказываются такие последствия как головная боль, утомленность, а при длительном воздействии приводят к заболеваниям нервной системы. Так, например вследствие уровня шума около 30-50 дБ в течение продолжительного времени у человека возникает раздражительность, при уровне более 90 дБ возникают нарушения работы органов слуха, нервной системы.

Допустимый уровень шума в производственных помещениях - 80дБ. При превышении данных значений проводятся мероприятия по снижению уровня шума, например, использование индивидуальных средств защиты (наушников, беруши), если речь идет о групповых мероприятиях, то применяются шумоизоляции стен и потолочных перекрытий.

### 6.2.2 Отклонение параметров микроклимата

Человек, находясь на рабочем месте, существенно подвержен влиянию микроклимата в производственном помещении, который может изменяться в течение всего рабочего дня. Параметры, характеризующие микроклимат: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость потока воздуха. Отклонения данных параметров могут возникать вследствие неисправной работы отопительной системы, поверхностей, оконных и дверных щелей и т.д.

Неблагоприятный микроклимат может вызвать перегрев или переохлаждение организма человека, вследствие чего, возникают головные боли, слабости, повышение или понижение давления, сердечно-сосудистые заболевания. Поэтому на предприятии должны быть обеспечены комфортные условия для работы персонала. Оптимальные величины показателей микроклимата приведены в таблице 6.2 согласно СанПиН 2.2.4.548-96:

Таблица 6.2 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочем месте

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость перемещения воздуха, м/с
Холодный	21...23	60...40	< 0,1
Теплый	22...24	60...40	<0,1

Для того чтобы поддерживать оптимальные значения показателей микроклимата в производственных помещениях устанавливаются системы кондиционирования, отопления, вентиляции, увлажнения.

### 6.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электрическое оборудование, располагающееся в производственном помещении, является источников электромагнитных полей.

ЭМИ (электромагнитное излучение) оказывает негативное влияние на нервную, эндокринную и сердечно-сосудистую систему. Длительное нахождение в его зоне вызывает головные боли, бессонницу, стресс.

Степень воздействия ЭМИ на организм человека зависит от напряжения, которое проходит через окружающее оборудование. Чем выше напряжение, тем сильнее воздействие электромагнитных волн. В таблице 14 показаны предельно допустимые нормы.

Таблица 6.3 – Предельно допустимые нормы ЭМИ для производственных помещений

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, (В/м) <sup>2</sup> *ч	По магнитной составляющей, (А/м) <sup>2</sup> *ч	По плотности потока энергии (мкВт/см <sup>2</sup> )*ч
300 к Гц – 3МГц	20000,0	200,0	
3-30 МГц	7000,0	Не разработаны	-
30-50 МГц	800,0	0,72	-
50-300 МГц	800,0	Не разработаны	-
300 МГц -300 ГГц	-	-	200,0

На предприятиях эффективным средством защиты от ЭМИ является снижение времени нахождения вблизи источника, это достигается нормированным рабочим графиком и обязательными перерывами в течение рабочего дня. Также персонал во время работы обеспечен специальной одеждой, или работа производится с помощью экранизирующих устройств.

#### 6.2.4 Электробезопасность

Источниками поражения электрическим током человека являются все устройства, подключенные к сети питания 220, 380 В. Последствиями поражения могут стать ожоги, судороги, потеря сознания, в некоторых случаях даже смерть человека. Для обеспечения электробезопасности необходимо соблюдение все норм и правил эксплуатации электрического оборудования, таких как:

- использование защитного заземления и зануления;
- использование средств индивидуальной защиты;
- контроль изоляции проводов, а также технического состояния приборов;
- Соблюдение организационных мер обеспечения безопасности.

### 6.2.5 Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов

Температура пара в котле и на выходе из котла достигает 500 °С, вследствие чего происходит нагрев котельного агрегата, и всех сопроводительных трубопроводов, по которым движется пар и вода. Последствиями контакта с такими высоко нагретыми поверхностями могут стать ожоги различной степени тяжести.

### 6.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работника.

Для снижения воздействия шума на слуховые органы человека используют наушники, беруши, также влияние можно уменьшить за счет гашения в источнике, проведения акустической обработки котельной, шумоизоляции.

Для обеспечения нормального микроклимата и благоприятной среды предусматриваются системы вентиляции, отопления, вытяжные системы. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией и верхним и нижним отсосом, которая обеспечивает равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного

ГОСТ Р 30331.4-95 регламентирует, что мерами предосторожности от теплового воздействия являются:

- соблюдать ТБ при работе с исследуемыми нагретыми частями;
- использовать перчатки из негорючего материала для защиты от ожогов;
- выполнять все работы по обслуживанию только при полностью отключенном от сети питанием оборудовании и после остывания нагретых частей.

### 6.4 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность на предприятии – это комплексные меры, направленные на выявления негативных факторов, влияющих на окружающую среду, на здоровье человека и проведение мероприятий по устранению данных факторов.

В таблице 6.4 представлены источники неблагоприятного воздействия и природоохранные мероприятия.

Таблица 6.4 – Неблагоприятные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия

Элемент окружающей природной среды	Источник загрязнения	Природоохранное мероприятие
Атмосфера	Выбросы в атмосферу, вследствие сгорания топлива (Увеличение концентрации NO)	Планируемые мероприятия: -Регулирование температуры в топке котла - Контроль расхода воздуха в топку котла -Улавливание сернистых соединений -Применение альтернативных видов топлива - Установка сооружений для очистки дымовых газов
Гидросфера	Повышенное использование питательной воды на впрыск	Необходимо регулировать расход впрыска воды в зависимости от температуры
	Химическое загрязнение водостоков, повреждение почвенного покрова.	Установка сооружения для очистки сточных вод Повторное использование на нужды станции сточных вод

### 6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация(ЧС) – это ситуация, сложившееся на определенной территории, которая произошла в результате опасного природного явления, катастрофы, аварии, стихийного или иного бедствия, повлекшая или в теории может повлечь человеческие смерти, также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. По характеру ЧС могут быть техногенной, природной, биологической, социальной или экологической.

Основные способы защиты населения, в том числе и производственного персонала являются:

- проведение эвакуационных мероприятий;
- укрытие в защитных сооружениях
- использование средств индивидуальной защиты

При эксплуатации данной системы автоматического регулирования опасными местами в котельной являются помещения топочной камеры и трубные магистрали.

Наибольшую опасность представляет возникновение пожара. В качестве возможных причин пожара можно указать следующие:

- короткое замыкание;
- перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих элементов и загорание изоляции;
- не соблюдение техники безопасности.

Также не следует исключать возникновение самосгорания. При эксплуатации необходимо контролировать состояние штабелей, путем внешнего осмотра и измерения температуры в штабелях. Признаки самовозгорания: наличие пятен на увлажненной поверхности штабеля, повышение температуры. При появлении признаков самовозгорания топлива в первую очередь необходимо начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе.

Также одной из самых распространённых причин возникновения пожара в котельной является нарушение противопожарных правил, поэтому обслуживающему персоналу необходимо знать их и строго выполнять.

Для предотвращения пожаров необходимо проводить следующие мероприятия:

- помещение оборудовать средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиками с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи, также необходимо своевременно проверять исправность электрической проводки осветительных приборов и электрооборудования.

- проводить инструктаж с сотрудниками и проверять их на знание мест нахождения средств пожаротушения и средств связи, номеров телефонов для сообщения о пожаре, а также на умение пользоваться средствами пожаротушения.

Порядок действий в результате самовозгорания:

В первую очередь необходимо начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе. Заливать очаги горения в штабеле водой строго запрещено, так как это интенсифицирует процесс самовозгорания. Для ликвидации очагов горения штабель вскрывают, переносят очаги горения на специальную площадку и на ней заливают водой. На резервных складах запасы топлива необходимо проверять и обновлять, расходуя в первую очередь штабеля, которые имеют температуру 40–60 °С.

#### 6.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены и проанализированы вопросы, обуславливающие социальную ответственность для разработанной системы

Как итог работы по разделу «Социальная ответственность» были изучены: негативные воздействия на окружающую среду; выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве; указаны методики и средства борьбы с этими факторами; описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению, а также описаны требования по поведению персонала при ЧС.

Внедрение разработанной автоматическая система контроля и управления температуры перегретого пара позволяет решить несколько задач: уменьшен простой, следовательно парогенератор будет работать меньше, следовательно будет происходить снижение пагубных факторов на окружающую среду.

Также в конце хочется отметить, что на данный момент деградация окружающей среды связана с тем, что на многих предприятиях установлено устаревшее оборудование, которое не имеет новейших систем фильтрации, тем самым идет увеличение выбросов и отходов. Поэтому следует устанавливать

новое оборудование, регулирующее работу котлов, как итог идет сокращение пагубного влияния на атмосферу и литосферу

### Заключение

Результатом усовершенствования автоматической системы управления температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 на основе современных технических средств.

В процессе выполнения работы был произведен анализ существующих схем и технических средств контроля и регулирования. Выбраны структурная схема автоматизации, алгоритм управления. Разработаны функциональная схема, принципиальная электрическая, монтажная и схема общего вида щита управления. Осуществлен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация.

Разработана автоматическая система контроля и управления температуры на основе микропроцессорных средств автоматизации. Произведен расчет автоматической системы регулирования температуры перегретого пара на основе современных инженерных методов.

Разработанная автоматическая система управления и контроля температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 может использоваться при модернизации управления Томской ГРЭС-2.

### Список использованных источников

1. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций М.: Энергоатомиздат, 1986.- 344 с.
- 2 Котёл паровой БКЗ 210-140. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://akmz.net/production/steam/coal/bkz-210-140> свободный. – Загл. с экрана.
- 3 Андык В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС : учебник / В.С. Андык ; Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 408 с.
- 3 Ключев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
- 4 Глушков Д.О. Автоматизация технологических процессов и производств промышленной теплоэнергетики. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 180 с.
- 5 Термоэлектрические преобразователи Овен. Каталог продукции 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.owen.ru/catalog/termosoprotivleniya\\_termopari\\_s\\_npt\\_dts\\_i\\_dtp\\_i/41050575](http://www.owen.ru/catalog/termosoprotivleniya_termopari_s_npt_dts_i_dtp_i/41050575) свободный. – Загл. с экрана.
6. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Каталог продукции ООО «Чебоксарыэлектропривод». [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: [http://cheber.ru/produkcija/meof/meof\\_1000/?item=814](http://cheber.ru/produkcija/meof/meof_1000/?item=814) свободный. – Загл. с экрана.

7. Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3А. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.skbspa.ru/ftpgetfile.php?id=231> свободный. – Загл. с экрана.

8Блоки управления БУЭР 1-30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elkont.ru/> свободный. – Загл. с экрана.

9 Термоэлектрические преобразователи Теплоприбор. Каталог продукции 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tdutr.ru/production/produkcija-teplopribor-chelyabinsk/termopreobrazovatelithatk-0193-02-0193-02a-1393-02> свободный. – Загл. с экрана

10ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.owen.ru/uploads/rie\\_plk63\\_1001.pdf](http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf) свободный. – Загл. с экрана.

11Запорно-регулирующий клапан РУСТ4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа :<https://hnmash.ru/product/662> свободный. – Загл. с экрана

12. Контроллер малоканальный МФК 1500. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tecon.ru/prodykciia/kontrollery/?cat=6> свободный. – Загл. с экрана.

13 ПЛК ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/plc.aspx>свободный. – Загл. с экрана.

14 ГОСТ 1508-78 Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.

15 ГОСТ 1508-78 Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.

- 16 Щит шкафной малогабаритный. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ugka.ru/produkcija/korpusa\\_witov/wity\\_shkafnye\\_malogabaritnye](http://ugka.ru/produkcija/korpusa_witov/wity_shkafnye_malogabaritnye), свободный. – Загл. с экрана.
- 17 Ключев А.С., Товарнов А.Г. Настройка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. – 280 с.
- 18 Атрошенко Ю.К. Метрология, стандартизация и сертификация: сборник лабораторных и практических работ: учебное пособие. Часть 2. – Томск: изд-во ТПУ, 2014. – 92 с.
- 19 Вукалович М.П., Ривкин С.П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – М.: Изд. Стандартов, 1969.- 408с.
- 20 Стефани Е.П. – Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. Издание 2-е. Москва: «Энергия», 1972-376 с.
- 21 Широкий Д.К., Куриленко О.Д. – Расчет параметров промышленных систем регулирования. Справочник. Киев: Техника, 1972-232 с.
- 22 Татарников А.А., Кац М.Д. Исходные данные к выполнению курсового проекта по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств».- Томск: изд-во ТПУ,2004.- 9с.
- 23 Тепло и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник. Под общ. ред. В.А. Григорьева, В. М. Зорина. - М.: Энергоиздат, 1982.- 375 с.
- 24 Настройка автоматического регулирования барабанных паровых котлов/А. С. Ключев, А. Т. Лебедев, С. И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
- 25 СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР\\_ориг1.htm](http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm) свободный. – Загл. с экрана.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Расчет коэффициента передачи регулирующего клапана

Исходные данные к расчету приведены в [22]

Вычислим потери давления в трубопроводной линии при максимальном расходе среды (без регулирующего органа):

$$W_{\max} = n_1 \cdot n_2 \cdot W_{p,\max} = 1 \cdot 1 \cdot 24 = 24 \text{ м} / \text{ч} \quad (\text{A.1})$$

где  $n_1$  – количество конденсационных установок;  $n_2$  – количество впрысков;  $W_{p,\max}$  – максимальный расход воды на впрыск, т/ч.

Далее рассчитываем участок 1 (барабан-коллектор). Среда – насыщенный пар. Плотность пара на участке определяется по давлению и температуре  $P_6 = 12,48$  МПа и  $T_6 = 330^\circ\text{C}$  [23] и равна  $\rho_{n,1} = 44,8$  кг/м<sup>3</sup>.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_1 = \frac{W_{\max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр},1}^2}{4} \cdot \rho_{n,1}} = \omega_1 = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (82 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 28,18 \text{ м} / \text{с} \quad (\text{A.2})$$

где  $d_{\text{тр},1}$  – внутренний диаметр трубы.

Определим коэффициент кинематической вязкости по формуле:

$$\nu_1 = \frac{\mu_1}{\rho_{n,1}} = \frac{2094,5 \cdot 10^{-8}}{44,8} = 4,67 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с} \quad (\text{A.3})$$

где  $\mu_1$  – коэффициент динамической вязкости (Па·с), который определяется по таблице [23].

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,1} = \frac{\omega_1 \cdot d_{mp,1}}{\nu_1} = \frac{28,18 \cdot 82 \cdot 10^{-3}}{4,67 \cdot 10^{-7}} = 4,9 \cdot 10^6 \text{ м}^2 / \text{с} \quad (\text{A.4})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,1}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,1}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.5})$$

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{82} + \frac{68}{4,9 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{mp,1} = \lambda_1 \cdot \frac{L_{mp,1}}{d_{mp,1}} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{n,1} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.6})$$

$$\Delta P_{mp,1} = 0,024 \cdot \frac{21,6}{82} \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,112 \text{ МПа},$$

Где  $L_{тр,1}$  – длина участка 1 (м).

Потери давления на местных сопротивлениях на участке 1 при максимальном расходе.

Рассчитываем колено  $90^\circ$ . Коэффициенты  $A_1=130$  и  $\xi_{кв} = 0,6$  определяем по таблице [23]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{mk} = \frac{A_1}{\text{Re}_{\max,1}} + \xi_{кв} = \frac{130}{4,9 \cdot 10^6} + 0,6 = 0,6, \quad (\text{A.6})$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_{к,90} = \xi_{mk} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{e,1} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.7})$$

$$\Delta P_{\kappa,90} = 0,6 \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,0106 \text{ МПа.}$$

Количество колен по заданию  $n=1$  шт. Тогда суммарные потери давления на коленах  $90^\circ$  будут равны:

$$\sum \Delta P_{\kappa,90} = n \cdot \Delta P_{\kappa,90},$$

$$\sum \Delta P_{\kappa,90} = 1 \cdot 0,0106 = 0,0106 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем колено  $60^\circ$ . Коэффициенты  $A_1=120$  и  $\xi_{\text{кв}} = 0,52$  определяем по таблице [23]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{\text{МК}} = \frac{A_1}{\text{Re}_{\text{max},1}} + \xi_{\text{кв}} = \frac{120}{4,9 \cdot 10^6} + 0,52 = 0,52$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_{\kappa,60} = \xi_{\text{МК}} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{\text{в},1} \cdot 10^{-6},$$

$$\Delta P_{\kappa,60} = 0,52 \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,0092 \text{ МПа.}$$

Количество колен по заданию  $n=1$  шт. Тогда суммарные потери давления на коленах  $60^\circ$  будут равны

$$\sum \Delta P_{\kappa,60} = n \cdot \Delta P_{\kappa,60},$$

$$\sum \Delta P_{\kappa,60} = 1 \cdot 0,0092 = 0,0092 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем тройник. Коэффициенты  $A_1=150$  и  $\xi_{\text{кв}} = 0,3$  определяем по таблице [23]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{\text{МК}} = \frac{A_1}{\text{Re}_{\text{max},1}} + \xi_{\text{кв}} = \frac{150}{4,9 \cdot 10^6} + 0,3 = 0,3,$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_m = \xi_{\text{МК}} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{\text{в},1} \cdot 10^{-6},$$

$$\Delta P_m = 0,3 \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,0053 \text{ МПа.}$$

Количество тройников по заданию  $n=1$  шт. Тогда суммарные потери давления на тройниках будут равны:

$$\sum \Delta P_m = n \cdot \Delta P_m,$$

$$\sum \Delta P_m = 1 \cdot 0,0053 = 0,0053 \text{ МПа.}$$

Суммарные потери на первом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_1 = \Delta P_{mp1} + \sum \Delta P_{\kappa,90} + \sum \Delta P_{\kappa,60} + \sum \Delta P_m,$$

$$\sum \Delta P_1 = 0,112 + 0,0106 + 0,0092 + 0,0053 = 0,137 \text{ МПа}$$

Рассчитываем участок 2 (коллектор). Среда – насыщенный пар. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 1:  $\rho_{n,2} = \rho_{n,1}$ ;  $\nu_2 = \nu_1$

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_2 = \frac{W_{\max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp,2}^2}{4} \cdot \rho_{n,1}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (78 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 31,14 \text{ м/с}$$

где  $d_{тр,2}$  – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,2} = \frac{\omega_2 \cdot d_{mp,2}}{\nu_2} = \frac{31,14 \cdot 78 \cdot 10^{-3}}{4,67 \cdot 10^{-7}} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ м}^2 / \text{с}$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,2}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,2}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A7})$$

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{78} + \frac{68}{5,2 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,025.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{mp,2} = \lambda_2 \cdot \frac{L_{mp,2}}{d_{mp,2}} \cdot \frac{\omega_2^2}{2} \cdot \rho_{n,2} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.8})$$

$$\Delta P_{mp,2} = 0,025 \cdot \frac{5,6}{78} \cdot \frac{31,14^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,039 \text{ МПа},$$

где  $L_{тр,2}$  – длина участка 2 (м).

Суммарные потери на втором участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_2 = \Delta P_{mp,2}, \quad (\text{A.9})$$

$$\sum \Delta P_2 = 0,039 \text{ МПа}. \quad (\text{A.10})$$

Рассчитываем участок 3 (спуск к конденсатору). Среда – насыщенный пар. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 1:  $\rho_{n,3} = \rho_{n,1}$ ;  $\nu_3 = \nu_1$

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_3 = \frac{(W_{\max} / n_3) \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp,3}^2}{4} \cdot \rho_{n,3}} = \frac{(24 / 4) \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (72 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 9,14 \text{ м/с} \quad (\text{A.11})$$

где  $d_{тр,3}$  – внутренний диаметр трубы,  $n_3=4$ , количество трубопроводов

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,3} = \frac{\omega_3 \cdot d_{mp,3}}{\nu_3} = \frac{36,6 \cdot 72 \cdot 10^{-3}}{4,67 \cdot 10^{-7}} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ м}^2 / \text{с} \quad (\text{A.12})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_3 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,3}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,3}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.13})$$

$$\lambda_3 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{72} + \frac{68}{1,4 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,025.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле

$$\Delta P_{mp,3} = \lambda_2 \cdot \frac{L_{mp,3}}{d_{mp,3}} \cdot \frac{\omega_3^2}{2} \cdot \rho_{n,3} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.14})$$

$$\Delta P_{mp,3} = 0,025 \cdot \frac{0,8}{78} \cdot \frac{9,14^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,51 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где  $L_{тр,3}$  – длина участка 3 (м).

Суммарные потери на третьем участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_3 = \Delta P_{mp3}, \quad (\text{A.15})$$

$$\sum \Delta P_3 = 0,51 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 4 (конденсатор). Среда – насыщенный пар. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 1:  $\rho_{n,4} = \rho_{n,1}$ ;  $\nu_4 = \nu_1$

Потеря давления при максимальном расходе питательной воды принимается равной [24] :  $\Delta P_k = 0,1 \text{ МПа}$ .

Суммарные потери на четвертом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_4 = \Delta P_k, \quad (\text{A.16})$$

$$\sum \Delta P_4 = 0,1 \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 5 (отвод конденсатора). Среда – вода. Плотность пара на участке определяется по давлению и температуре  $P_6 = 14,63 \text{ МПа}$  и  $T_6 = 340,16^\circ\text{C}$  [23] и равна  $\rho_{n,1} = 610,68 \text{ кг/м}^3$ .

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_5 = \frac{(W_{\max} / n_5) \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp,5}^2}{4} \cdot \rho_{n,5}} = \frac{(24/3) \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (42 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 2,63 \text{ м/с} \quad (\text{A.17})$$

где  $d_{тр,5}$  – внутренний диаметр трубы;  $n_5 = 3$  шт – количество трубопроводов.

Определим коэффициент кинематической вязкости по формуле:

$$\nu_5 = \frac{\mu_5 \cdot d_{mp,5}}{\rho_{n,5}} = \frac{2131 \cdot 10^{-8}}{610,68} = 0,35 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с} \quad (\text{A.18})$$

где  $\mu_5$  – коэффициент динамической вязкости (Па·с), который определяется по таблице [23].

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,5} = \frac{\omega_5 \cdot d_{mp,5}}{\nu_5} = \frac{2,63 \cdot 42 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 10^{-7}} = 3,2 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{с} \quad (\text{A.19})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_5 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,5}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,5}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.20})$$
$$\lambda_5 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{42} + \frac{68}{3,2 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 0,029.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{mp,5} = \lambda_5 \cdot \frac{L_{mp,5}}{d_{mp,5}} \cdot \frac{\omega_5^2}{2} \cdot \rho_{n,5} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.21})$$

$$\Delta P_{mp,5} = 0,029 \cdot \frac{2,4}{42} \cdot \frac{2,63^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где  $L_{тр,5}$  – длина участка 5 (м).

Суммарные потери на пятом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_5 = \Delta P_{mp,5}, \quad (\text{A.22})$$

$$\sum \Delta P_4 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 6 (коллектор). Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5:  $\rho_{n,6} = \rho_{n,5}$ ;  $\nu_6 = \nu_5$ .

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_6 = \frac{W_{\max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp,6}^2}{4} \cdot \rho_{n,6}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (99 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 1,42 \text{ м/с} \quad (\text{A.23})$$

где  $d_{тр,6}$  – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,6} = \frac{\omega_6 \cdot d_{mp,6}}{\nu_6} = \frac{1,42 \cdot 99 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 4 \cdot 10^6 \text{ м}^2 / \text{с} \quad (\text{A.24})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_6 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,6}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,6}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.25})$$

$$\lambda_6 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{99} + \frac{68}{4 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,023.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{mp,6} = \lambda_6 \cdot \frac{L_{mp,6}}{d_{mp,6}} \cdot \frac{\omega_6^2}{2} \cdot \rho_{n,6} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.26})$$

$$\Delta P_{mp,6} = 0,023 \cdot \frac{4,8}{99} \cdot \frac{1,42^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 0,69 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где  $L_{тр,6}$  – длина участка 6 (м).

Суммарные потери на шестом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_6 = \Delta P_{mp,6}, \quad (\text{A.27})$$

$$\sum \Delta P_6 = 0,69 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 7 (снижение к коллектору на отметке 8 м). Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5:  $\rho_{n,7} = \rho_{n,5}$ ;  $v_7 = v_5$ .

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_7 = \frac{W_{\max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp,7}^2}{4} \cdot \rho_{n,7}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (86 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 1,88 \text{ м/с} \quad (\text{A.28})$$

где  $d_{тр,7}$  – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,7} = \frac{\omega_7 \cdot d_{mp,7}}{v_7} = \frac{1,88 \cdot 86 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 4,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с} \quad (\text{A.29})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_7 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,7}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,7}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.30})$$

$$\lambda_7 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{86} + \frac{68}{4,6 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле

$$\Delta P_{mp,7} = \lambda_7 \cdot \frac{L_{mp,7}}{d_{mp,7}} \cdot \frac{\omega_7^2}{2} \cdot \rho_{n,7} \cdot 10^{-6}, \quad (A.31)$$

$$\Delta P_{mp,7} = 0,024 \cdot \frac{36,8}{86} \cdot \frac{1,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 11,08 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где  $L_{тр,7}$  – длина участка 7 (м).

Суммарные потери на седьмом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_7 = \Delta P_{mp,7}, \quad (A.32)$$

$$\sum \Delta P_7 = 11,08 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 8 (коллектор на отметке 8 м). Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5:  $\rho_{n,8} = \rho_{n,5}$ ;  $\nu_8 = \nu_5$ .

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_8 = \frac{W_{\max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp,8}^2}{4} \cdot \rho_{n,8}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (86 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 1,88 \text{ м/с} \quad (A.33)$$

где  $d_{тр,8}$  – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,8} = \frac{\omega_8 \cdot d_{mp,8}}{\nu_8} = \frac{1,88 \cdot 86 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 4,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с} \quad (A.34)$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_8 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,8}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,8}} \right)^{0,25}, \quad (A.35)$$

$$\lambda_8 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{86} + \frac{68}{4,6 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{mp,8} = \lambda_8 \cdot \frac{L_{mp,8}}{d_{mp,8}} \cdot \frac{\omega_8^2}{2} \cdot \rho_{n,8} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.36})$$

$$\Delta P_{mp,8} = 0,024 \cdot \frac{4,8}{86} \cdot \frac{1,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где  $L_{тр,8}$  – длина участка 8 (м).

Суммарные потери на восьмом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_8 = \Delta P_{mp,8}, \quad (\text{A.37})$$

$$\sum \Delta P_8 = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 9 (подъем к впрыскивающему охладителю первой ступени). Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5:  $\rho_{n,9} = \rho_{n,5}$ ;  $\nu_9 = \nu_5$ .

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_9 = \frac{W_{\max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp,9}^2}{4} \cdot \rho_{n,9}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (42 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 7,88 \text{ м/с} \quad (\text{A.39})$$

где  $d_{тр,9}$  – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$\text{Re}_{\max,9} = \frac{\omega_9 \cdot d_{mp,9}}{\nu_9} = \frac{7,88 \cdot 42 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 9,5 \cdot 10^6 \text{ м}^2 / \text{с}$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [23]  $\Delta = 0,2$  мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_9 = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_{mp,9}} + \frac{68}{\text{Re}_{\max,9}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.40})$$

$$\lambda_9 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,2}{42} + \frac{68}{9,5 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,028.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{mp,9} = \lambda_9 \cdot \frac{L_{mp,9}}{d_{mp,9}} \cdot \frac{\omega_9^2}{2} \cdot \rho_{n,9} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.41})$$

$$\Delta P_{mp,9} = 0,028 \cdot \frac{44,8}{42} \cdot \frac{7,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 0,57 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где  $L_{тр,9}$  – длина участка 9 (м).

Потери давления на местных сопротивлениях на участке 9 при максимальном расходе. Рассчитываем вентиль. Коэффициенты  $A_1=75$  и  $\xi_{кв} = 0,03$  определяем по таблице [23]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{мз} = \frac{A_1}{\text{Re}_{\max,1}} + \xi_{кв} = \frac{75}{5,2 \cdot 10^6} + 0,03 = 0,03, \quad (\text{A.42})$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_3 = \xi_{мз} \cdot \frac{\omega_9^2}{2} \cdot \rho_{e,9} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.43})$$

$$\Delta P_3 = 0,03 \cdot \frac{7,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 5,69 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}.$$

Количество вентиляей по заданию  $n=1$  шт. Тогда суммарные потери давления на вентиляях будут равны:

$$\sum \Delta P_3 = n \cdot \Delta P_3, \quad (\text{A.44})$$

$$\sum \Delta P_3 = 1 \cdot 5,69 \cdot 10^{-4} = 5,69 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}.$$

Напор столба жидкости на участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_{h,9} = g \cdot \rho_{e,9} \cdot \Delta h_9 \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.45})$$

$$\sum \Delta P_{h,9} = 9,81 \cdot 610,68 \cdot 22,3 \cdot 10^{-6} = 0,134 \text{ МПа},$$

Общие потери давления на участке 9:

$$\sum \Delta P_9 = \Delta P_{mp,9} + \sum \Delta P_B + \sum \Delta P_{h,9}, \quad (\text{A.46})$$

$$\sum \Delta P_9 = 0,57 + 5,69 \cdot 10^{-4} + 0,134 = 0,7 \text{ МПа}.$$

Суммарные потери давления на трубопроводной сети

Общие потери давления на участке впрыска котла:

$$\sum \Delta P_c^{\max} = \sum \Delta P_{1..9} = 0,993 \text{ МПа} \quad (\text{A.47})$$

Перепад давления на РПК при максимальном расходе питательной воды:

$$\sum \Delta P_{РПК}^{\max} = P_{\sigma} - P_m - \Delta P_c^{\max} + P_{вент} = 0,333 \text{ МПа} \quad (\text{A.48})$$

Диаметр условного прохода РПК должен приблизительно соответствовать внутреннему диаметру трубопровода. Значение  $D_y = 25$  мм берется из параметрического ряда, устанавливаемого ГОСТ 28338-89.

Максимальная скорость воды в присоединительном патрубке

$$\omega_{РПК}^{\max} = \frac{W_{\max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot D_y^2}{4} \cdot \rho_{e1}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 303,15 \text{ м/с} \quad (\text{A.49})$$

Коэффициент сопротивления РПК при максимальном расходе

$$\xi_{РПК}^{\max} = \frac{2 \cdot \Delta P_{РПК}^{\max} \cdot 10^6}{(\omega_{РПК}^{\max})^2 \cdot \rho_{e1}} = \frac{2 \cdot 0,333 \cdot 10^6}{303,15^2 \cdot 44,8} = 0,16 \quad (\text{A.50})$$

Построение расходной характеристики РПК

Шаг построения расходной характеристики рассчитывается по формуле:

$$\Delta W = \frac{W_{\max} - 0,2 \cdot W_{\max}}{10} = \frac{24 - 0,2 \cdot 24}{10} = 1,92 \text{ м / ч} \quad (\text{A.51})$$

Начальное значение, шаг и конечное значение счетчика расхода  $j = 0, 1..10$ .

Расход питательной воды в расчетной точке определяется по формуле:

$$W_j = \Delta W \cdot j + 0,2 \cdot W_{\max}.$$

Перепад давления в сети в расчетной точке рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_c^j = \Delta P_c^{\max} \cdot \left( \frac{W_j}{W_{\max}} \right)^2$$

Перепад давления на РПК в расчетной точке определяется по формуле:

$$\Delta P_{РПК}^j = P_H - P_6 - \Delta P_c^j - \sum \Delta P_c^{\max}.$$

Коэффициент сопротивления РПК в расчетной точке рассчитан по формуле:

$$\xi_{РПК}^j = \frac{2 \cdot \Delta P_{РПК}^j \cdot 10^6}{\omega_{РПК}^{\max 2} \cdot \rho_{61}} \cdot \left( \frac{W_{\max}}{W_j} \right)^2.$$

В качестве регулирующего органа возьмем клапан запорно-регулирующий РУСТ4, компании «Химнефтемаш»

По значениям коэффициента сопротивления  $\xi_{РПК}^j$  вычисляем величины  $\lg \xi_{РПК}^j$  и по графику гидравлической характеристики (рисунок А.1) клапана находим значения относительного перемещения клапана  $l_j$ . Результаты расчетов для каждой точки приведены в таблице А.1

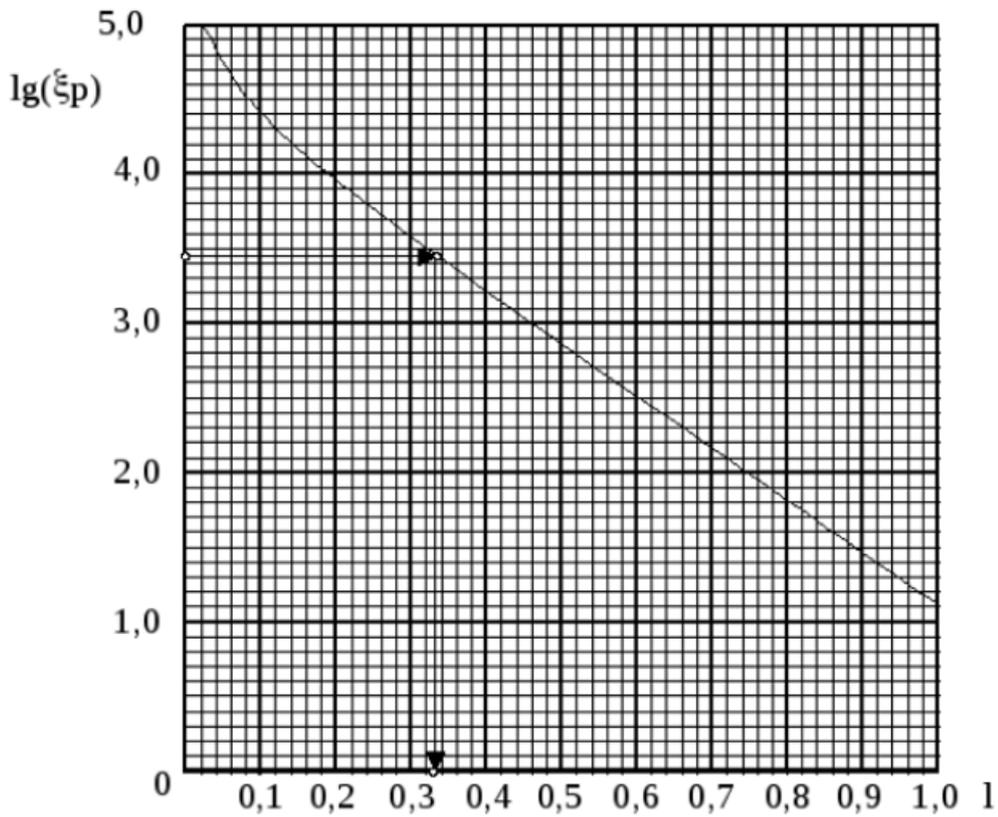


Рисунок А.1 – Гидравлическая характеристика клапана

Таблица А.1– Результаты расчета

j	$W_j$	$\Delta P_c^j$	$\Delta P_{РПК}^j$	$\xi_{РПК}^j$	$\lg(\xi_{РПК}^j)$	$l$
0	4,8	0,040	1,117	13,569	1,133	0,12
1	6,72	0,078	1,079	6,686	0,825	0,24
2	8,70	0,129	1,028	3,854	0,586	0,32
3	10,58	0,192	0,965	2,421	0,384	0,34
4	12,48	0,269	0,888	1,596	0,203	0,4
5	14,4	0,357	0,800	1,079	0,033	0,46
6	16,32	0,459	0,698	0,733	-0,135	0,5
7	18,24	0,574	0,583	0,491	-0,309	0,54
8	20,16	0,701	0,456	0,314	-0,503	0,6
9	22,08	0,840	0,317	0,182	-0,741	0,68
10	24	0,993	0,164	0,080	-1,099	0,78

Производим построение графика расходной характеристики клапана

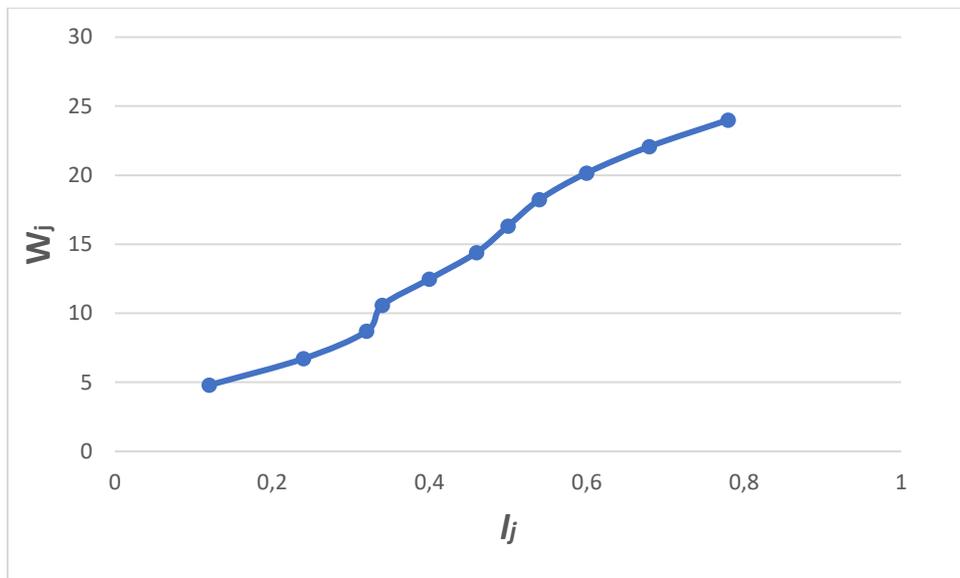


Рисунок А.2 – График расходной характеристики клапана

Коэффициент передачи РПК находится из графика следующим образом: задаемся приращением расхода воды в окрестности выбранного режима работы котла  $\Delta W = W_2 - W_1$ ; по графику расходной характеристики определяется соответствующее изменение относительного перемещения клапана  $\Delta l = l_2 - l_1$ ; искомый коэффициент передачи клапана определяем по формуле:

$$K_{РПК} = \frac{\Delta W}{\Delta l \cdot 100\%} = \frac{1,92}{0,1 \cdot 100\%} = 0,192$$

где 100% – коэффициент полного диапазона перемещения регулирующего органа.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Программный код для мнемосхемы

На рисунке Б1-Б4 представлены переменные и программный код.

```
PLC_PRG x Device Символьная конфигурация
1 PROGRAM PLC_PRG
2 VAR
3     AVARIA: BOOL:=FALSE; //АВАРИЯ
4     Peregrev: BOOL:=FALSE; //Перегрев T1
5     pereohl: BOOL:=FALSE; //Переохлаждение T1
6     Peregrev2: BOOL:=FALSE; //Перегрев T2
7     pereohl2: BOOL:=FALSE; //Переохлаждение T2
8     manual: BOOL:=FALSE; //Ручной режим работы
9     auto: BOOL:=FALSE; // Автоматический режим работы
10    IM:REAL :=0; //Расход Впрыска
11    IMon:BOOL:=FALSE; //открыть задвижку
12    IN_o:BOOL:=FALSE; //задвижка открыта
13    IN_ok:BOOL:=FALSE; //задвижка Закрыта
14    IMoff:BOOL:=FALSE; //Закрыть задвижку
15    Tvkl:BOOL:=FALSE; //Включить измерение термодпары 1
16    Tvkl2:BOOL:=FALSE; //Включить измерение термодпары 2
17    T1:REAL :=540; //Температура после 1 пароперегревателя
18    T2:REAL :=560; //Температура после 2 пароперегревателя
19 END_VAR
```

Рисунок Б1- Переменные в CoDeSys

```

1  IF manual=TRUE THEN
2      auto:=FALSE;
3      END_IF
4  IF auto=TRUE THEN
5      manual:=FALSE;
6      END_IF
7  //Ручной режим
8  IF manual=TRUE THEN
9      auto:=FALSE;
10 IF Tvkl=TRUE THEN
11     T1:=T1+0.01;
12     END_IF
13 IF Tvkl2=TRUE THEN
14     T2:=T2+0.005;
15     END_IF
16 IF T1>548 THEN
17     PeregreV:=TRUE;
18     ELSE PeregreV:=FALSE;
19     END_IF
20 IF T1<542 THEN
21     pereohl:=TRUE;
22     ELSE pereohl:=FALSE;
23     END_IF
24 IF T2>568 THEN
25     PeregreV2:=TRUE;
26     ELSE PeregreV2:=FALSE;
27     END_IF
28 IF T2<562 THEN
29     pereohl2:=TRUE;
30     ELSE pereohl2:=FALSE;
31     END_IF
32 IF IMon=TRUE THEN
33     WHILE T1>=542 OR T2>=562 DO
34         IM:=IM+3;
35         T1:=T1-1;
36         T2:=T2-1;
37         END_WHILE
38     IN_o:=TRUE;
39     ELSE IN_o:=FALSE;
40 END_IF

```

Рисунок Б2 - Листинг программы

```

37     END_WHILE
☐ 38     IN_o:=TRUE;
39     ELSE IN_o:=FALSE;
40 END_IF
☐ 41 IF IMoff=TRUE THEN
42     IMon:=FALSE;
43     IN_ok:=TRUE;
44     ELSE IN_ok:=FALSE;
45 END_IF
☐ 46 IF Imon=TRUE THEN
47     IMoff:=FALSE;
48 END_IF
☐ 49 IF IM>50 THEN
50     IM:=0;
51 END_IF
52 END_IF
53 //Автоматический режим
☐ 54 IF auto=TRUE THEN
55     manual:=FALSE;
56     T1:=T1+0.01;
57     T2:=T2+0.005;
☐ 58 IF T1>548 THEN
59     PeregreV:=TRUE;
60     ELSE PeregreV:=FALSE;
61 END_IF
☐ 62 IF T1<542 THEN
63     pereohl:=TRUE;
64     ELSE pereohl:=FALSE;
65 END_IF
☐ 66 IF T2>568 THEN
67     PeregreV2:=TRUE;
68     ELSE PeregreV2:=FALSE;
69 END_IF
☐ 70 IF T2<562 THEN
71     pereohl2:=TRUE;
72     ELSE pereohl2:=FALSE;
73 END_IF
☐ 74 IF T1>550 THEN
75     IM:=IM+1.5;
76     T1:=T1-5;

```

Рисунок Б3 - Листинг программы

```

70 IF T2<562 THEN
71     pereohl2:=TRUE;
72 ELSE pereohl2:=FALSE;
73 END_IF
74 IF T1>550 THEN
75     IM:=IM+1.5;
76     T1:=T1-5;
77     In_o:=TRUE;
78 ELSE In_o:=FALSE;
79 END_IF
80 IF T2>570 THEN
81     IM:=IM+1.8;
82     T2:=T2-6;
83     In_o:=TRUE;
84 ELSE In_o:=FALSE;
85 END_IF
86 IF IM>50 THEN
87     IM:=0;
88 END_IF
89 END_IF
90 IF T1<=520 OR T2<=540 OR T1>=570 OR T2>=590 THEN
91     AVARIA:=TRUE;
92 ELSE AVARIA:=FALSE;
93 END_IF
94

```

Рисунок Б4 - Листинг программы

Расшифровка программного кода:

PROGRAM PLC\_PRG

VAR

AVARIA: BOOL:=FALSE; //АВАРИЯ

Peregrev: BOOL:=FALSE; //ПерегревТ1

pereohl: BOOL:=FALSE; //ПереохлаждениеТ1

Peregrev2: BOOL:=FALSE; //ПерегревТ2

pereohl2: BOOL:=FALSE; //ПереохлаждениеТ2

manual: BOOL:=FALSE; //Ручнойрежимработы

auto: BOOL:=FALSE; // Автоматический режим работы

IM:REAL :=0; //Расход Впрыска

IMon:BOOL:=FALSE; //открыть задвижку

IN\_o:BOOL:=FALSE; //задвижкаоткрыта

IN\_ok:BOOL:=FALSE; //задвижкаЗакрыта

IMoff:BOOL:=FALSE; //Закрытьздвижку

Tvkl:BOOL:=FALSE; //Включитьизмерениетермопары 1

Tvkl2:BOOL:=FALSE;//Включить измерение термопары 2

T1:REAL :=540;//Температура после 1 пароперегревателя

T2:REAL :=560;//Температура после 2 пароперегревателя

END\_VAR

IF manual=TRUE THEN// Если нажата кнопка ручной режим работы  
    auto:=FALSE;//то блокировка включение автоматического режима  
END\_IF

IF auto=TRUE THEN//Если нажата кнопка автоматический режим работы  
    manual:=FALSE;//то блокировка включения ручного режима работы  
END\_IF

//Ручной режим

IF manual=TRUE THEN //При условии, что включен ручной режим работы  
    auto:=FALSE;

    IF Tvkl=TRUE THEN// Если нажимаем кнопку включить измерение  
термопары 1,

        T1:=T1+0.01; // то на экране отображается значение температуры до  
ПП2( происходит имитация нагрева)

        END\_IF

        IF Tvkl2=TRUE THEN// Если нажимаем кнопку включить измерение  
термопары 2,

            T2:=T2+0.005;// то на экране отображается значение температуры после  
ПП2( происходит имитация нагрева)

            END\_IF

        IF T1>548 THEN// Если температура после 1 пароперегревателя становится  
больше 548

            Peregrev:=TRUE;//то загорается индикатор перегрев

            ELSE Peregrev:=FALSE;//в противном случае перегрев выключен

            END\_IF

        IF T1<542 THEN//Если температура после 1 пароперегревателя становится  
меньше 542

            pereohl:=TRUE;//загорается индикатор переохладение

            ELSE pereohl:=FALSE;//в противном случае переохладение выключено

            END\_IF

```

IF T2>568 THEN // Если температура после 2 пароперегревателя
становится больше 568
    Peregre2:=TRUE;//то загорается индикатор перегрев
    ELSE Peregre2:=FALSE;//в противном случае перегрев выключен
    END_IF
IF T2<562 THEN //Если температура после 2 пароперегревателя становится
меньше 562
    pereohl2:=TRUE;//загорается индикатор переохлаждение
    ELSE pereohl2:=FALSE;//в противном случае переохлаждение выключено
    END_IF
IF IMon=TRUE THEN // Еслиоткрываетсяклапанвпрыска
    WHILE T1>=542 OR T2>=562 DO
        IM:=IM+3;
        T1:=T1-1;          // Происходит имитация впрыска, и имитация влияния
на температуры до второго пароперегревателя и после
        T2:=T2-1;
    END_WHILE
    IN_o:=TRUE; // горит индикатор, что задвижка открыта
    ELSE IN_o:=FALSE;
    END_IF
IF IMoff=TRUE THEN // Закрытиеклапанавпрыска
    IMon:=FALSE;
    IN_ok:=TRUE;// горит индикатор, что клапан закрыт
    ELSE IN_ok:=FALSE;
    END_IF
IF Imon=TRUE THEN// блокировка одновременного открытия и закрытия
клапана( можно либо открывать, либо закрывать)
    IMoff:=FALSE;
    END_IF
IF IM>50 THEN// сброс показателя значения во впрыскивающем
пароохладителе
    IM:=0;
    END_IF
END_IF
//Автоматический режим
IF auto=TRUE THEN//Если нажата кнопка включения автоматического
режима, то
    manual:=FALSE;

```

```

T1:=T1+0.01;// Происходит имитация работы термопар измерению
значений температур до и после второго пароперегревателя
T2:=T2+0.005;
IF T1>548 THEN// Если температура после 1 пароперегревателя становится
больше 548
Peregrev:=TRUE; //то загорается индикатор перегрев
ELSE Peregrev:=FALSE;//в противном случае перегрев выключен
END_IF
IF T1<542 THEN // Если температура после 1 пароперегревателя
становится меньше 542
pereohl:=TRUE;//то загорается индикатор переохлаждение
ELSE pereohl:=FALSE;//в противном случае переохлаждение выключен
END_IF
IF T2>568 THEN// Если температура после 2 пароперегревателя становится
больше 568
Peregrev2:=TRUE;//то загорается индикатор перегрев
ELSE Peregrev2:=FALSE;//в противном случае перегрев выключен
END_IF
IF T2<562 THEN// Если температура после 1 пароперегревателя становится
меньше 562
pereohl2:=TRUE;//то загорается индикатор переохлаждение
ELSE pereohl2:=FALSE;//в противном случае переохлаждение выключен
END_IF
IF T1>550 THEN //Если температура после 1 пароперегревателя
становится больше 550 то
IM:=IM+1.5;//
T1:=T1-5; // То происходит имитация впрыска воды
в пароохладитель и как следствие изменение температуры после 1
пароперегревателя
In_o:=TRUE; // горит индикатор что открыта задвижка впрыска
ELSE In_o:=FALSE;
END_IF
IF T2>570 THEN//Если температура после 2 пароперегревателя становится
больше 570 то
IM:=IM+1.8;//
T2:=T2-6;// То происходит имитация впрыска воды
в пароохладитель и как следствие изменение температуры после 2
пароперегревателя
In_o:=TRUE;

```

```
        ELSE In_o:=FALSE;
    END_IF
    IF IM>50 THEN // сброс показателя значения во впрыскивающем
пароохладителе
        IM:=0;
    END_IF
END_IF
    IF T1<=520 OR T2<=540 OR T1>=570 OR T2>=590 THEN // Если значения
какого-то из показателей( температура после 1 пароперегревателя, после 2
пароперегревателя) превышает или принижает данные
        AVARIA:=TRUE;// то загорается сигнал авария, что говорит об
остановке всех процессов
        ELSE AVARIA:=FALSE;
    END_IF
```