

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ ПАРОВОГО КОТЛА ЕП-640-13,8-545 БТ

УДК 681.51:621.184.28:621.183.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Сиротин Александр Олегович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Озерова Ирина Петровна	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель специализации ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации,

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
	разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель специализации ООП
 _____ Атрошенко Ю.К.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Сиротину Александру Олеговичу

Тема работы:

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ ПАРОВОГО КОТЛА ЕП-640-13,8-545 БТ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 132-8/с от 12.05.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1 июня 2022 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом автоматизации является паровой пылеугольный котел типа ЕП-640-13,8-545 БТ с естественной циркуляцией и промежуточным перегревом пара.</p> <p>Основные характеристики:</p> <ul style="list-style-type: none"> – паропроизводительность – 640т/ч; – температура острого пара – 545 °С; – давление острого пара – 13,8 МПа; <p>прочие характеристики определить по справочным данным.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ объекта автоматизации; 2. Выбор структуры автоматической системы регулирования; 3. Разработка функциональной схемы АСР уровня воды в барабане котла; 4. Выбор технических средств автоматизации и контроля АСР уровня воды в барабане; 5. Разработка принципиальной электрической схемы; 6. Разработка монтажной схемы системы регулирования; 7. Разработка общего вида щита управления; 8. Расчет параметров настройки ПИ-регулятора; 9. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение; 10. Социальная ответственность; <p>Заключение.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная 2. Схема функциональная 3. Схема электрических соединений 4. Перечень элементов схемы электрических соединений 5. Схема монтажная внешних проводов 6. Общий вид щита управления
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Доцент ОСГН ШБИП, к.т.н., Кащук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Старший преподаватель ООД ШБИП Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>04.02.2022 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>Озерова И.П.</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>04.02.22</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5Б8В</p>	<p>Сиротин Александр Олегович</p>		<p>04.02.22</p>

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 127 с., 26 рисунков, 42 таблицы, 33 источника, 8 л. графического материала.

Ключевые слова: автоматизация, автоматическая система регулирования (АСР), паровой котел, уровень в барабане котла, технические средства автоматизации.

Цель работы – разработка АСР уровня воды в барабане котла с использованием современных технических средств автоматизации.

В данной работе выбрана структура АСР, разработана функциональная схема, принципиальная электрическая схема, монтажная схема и общий вид щита управления, произведен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация, рассчитан ПИ-регулятор и получены прямые оценки качества регулирования. В результате выполнения настоящей работы разработан комплект конструкторской документации на систему автоматического регулирования уровня воды в барабане котла.

Оглавление

Введение.....	9
1. Анализ объекта автоматизации	11
2. Автоматическое регулирование уровня воды в барабане котла.....	12
3. Выбор структуры автоматического регулирования.....	13
3.1. Обзор и выбор метода регулирования уровня воды в барабане котла	13
3.1.1. Одноимпульсное регулирование	14
3.1.2. Двухимпульсное регулирование.....	15
3.1.3. Трехимпульсное регулирование	16
4. Разработка функциональной схемы АСР уровня воды в барабане котла.	19
5. Выбор технических средств управления и контроля.....	20
5.1. Выбор преобразователей для измерения уровня воды, расходов пара и питательной воды.....	20
5.2. Выбор регулирующего устройства.....	24
5.3. Выбор исполнительного механизма	32
5.4. Выбор пускового устройства	33
6. Разработка принципиальной электрической схемы.....	34
7. Разработка монтажной схемы.....	37
8. Разработка общего щита управления.....	39
9. Расчет АСР уровня.....	40
9.1 Расчет статических характеристик элементов системы	40
9.2 Расчет динамических характеристик.....	60
10 Социальная ответственность	81
Введение.....	81
10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
10.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	82
10.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	84
10.2 Производственная безопасность.....	85
10.3 Экологическая безопасность	92
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
Вывод по разделу.....	97

11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	99
Введение.....	99
11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	99
11.1.1 Анализ конкурентных технических решений	99
11.2 SWOT-анализ.....	102
11.3 Планирование научно-исследовательских работ	105
11.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	105
11.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	106
11.4 Бюджет научно-технического исследования	111
11.4.5 Накладные расходы	116
11.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	118
Выводы по разделу.....	122
Заключение	123
Список использованных источников	124
ФЮРА.421000.005 С1 Схема структурная	
ФЮРА.421000.005 С2 Схема функциональная	
ФЮРА.421000.005 СО Спецификация приборов и средств автоматизации	
ФЮРА.421000.005 Э4 Схема электрических соединений	
ФЮРА.421000.005 ПЭ4 Перечень элементов схемы электрических соединений	
ФЮРА.421000.005 С5 Схема монтажная внешних проводок	
ФЮРА.421000.005 ВО Общий вид щита управления	

Введение

Современные тепловые электрические станции представляют собой сложную технологическую систему, состоящую из систем и подсистем, функционирование и взаимодействие которых друг с другом обеспечивает надежную и экономически выгодную работу всего комплекса.

Важнейшей особенностью энергетического производства является практическая невозможность работать на склад в промышленных масштабах и в каждый данный момент времени производство энергии должно строго соответствовать объему её потребления. С этим связаны многообразные, важные последствия для экономики, организации, планирования производства.

Одно из них заключается в том, что для поддержания постоянного соответствия между потреблением энергии и производством, обеспечения бесперебойности энергоснабжения потребителей в электроэнергетике необходимы резервные мощности (в отличие от других отраслей, где резервирование осуществляется за счет готовой продукции).

Отличительной чертой производственных процессов в энергетике является динамичность, заключающаяся не только в большой скорости их протекания (сотые доли секунды). Но главным образом в постоянном изменении во времени общей нагрузки электростанции и отдельных агрегатов. Объясняется это изменениям в режиме потребления энергии на промышленных предприятиях, под влиянием различных факторов: сменности, технологических особенностей, климатических условий, суточного биологического цикла жизнедеятельности человека и т. д.

В настоящее время большинство тепловых станций построены во времена СССР и требуют модернизации. Согласно ГОСТ 24. 104-85, АСУ ТП могут служить более 10 лет, после чего рекомендуется заменять отдельные элементы или производить и осваивать на производстве новые структуры.

Примером такого производства является Гусиноозерская ГРЭС, возраст оборудования на котором составляет несколько десятков лет. Если данное оборудование является работоспособным и сможет прослужить еще некоторое количество лет, то к нему реально применить современные технологии и способы автоматизации, которые к нынешнему времени вышли на высокий уровень технологического прогресса.

В данной выпускной квалификационной работе разрабатывается подсистема автоматизированного управления технологического процесса. В качестве технологического процесса рассматривается регулирование уровня воды в барабане котла. Основная задача, возникающая при эксплуатации котельных агрегатов, – обеспечение равенства между производимой и потребляемой энергией с учетом потерь. Задача регулирования технологического процесса сводится в основном к поддержанию материального и энергетического баланса.

1. Анализ объекта автоматизации

Паровой котел Еп-640-13,8-545БТ установленный на Гусиноозерской ГРЭС, предназначен для получения, перегретого пара с температурой 545 °С и давлением 13,8 МПа (140 кгс/см²) при сжигании бурого угля Окино-Ключевского месторождения и смеси углей месторождений Баин-Зурхе и Загустайского в качестве основного топлива. Растопочное топливо – топочный мазут марки М-100. Производительность данного котла составляет 640 т/ч. Режимы сжигания 100% Окино-Ключевского угля и смеси углей Баин-Зурхе и Загустайского в соотношении 50/50.

Котел вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией, однобарабанный, с уравновешенной тягой, с твердым шлакоудалением, П-образной компоновки, в газоплотном исполнении топки, предназначен для получения пара высокого давления при сжигании бурого угля.

На рисунке 1 представлен продольный разрез парогенератора Еп-540-13,8-545 БТ.

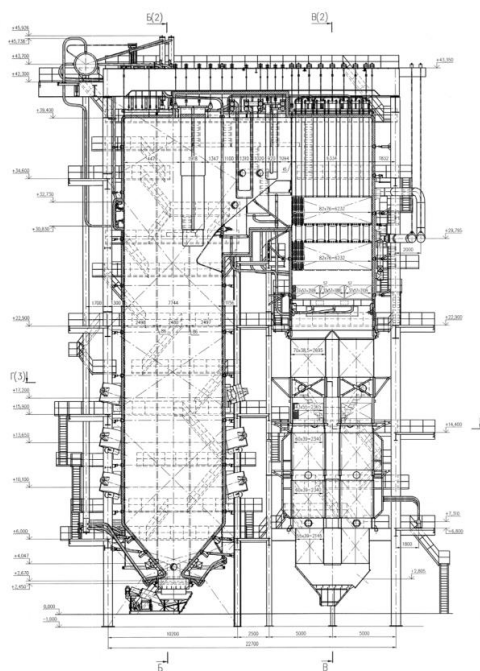


Рисунок 1 – Продольный разрез котла Еп-540-13,8-545 БТ

Габариты котла:

- ширина (по осям колонн), 23,20 м;
- глубина (по осям колонн), 22,70м;
- высота (самая верхняя отметка), 45,75м.

Технические характеристики котла приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики котла ЕП-640-13,8-545 БТ.

Паропроизводительность	т/ч	640
Температура острого пара	°С	545
Давление острого пара	кгс/см ² (МПа)	140 (13,8)
Расход промежуточного пара	т/ч	560
Давление промежуточного пара на выходе	кгс/см ² (МПа)	25,5 (2,5)
Температура промежуточного пара на входе	°С	330
Температура промежуточного пара на выходе	°С	545
Температура питательной воды	°С	230
Теплонапряжение сечения топки	МВт/м ²	3,9
Теоретическая температура горения	°С	1677
Температура на выходе из топки	°С	1140
Температура уходящих газов	°С	135
КПД на Окино-Ключевском угле, не менее	%	91,7
КПД на смеси углей месторождений Баин-Зурхе и Загустайского (50 и 50%)	%	91,5
Выбросы оксидов азота NO _x , не более	мг/м ³	370

2. Автоматическое регулирование уровня воды в барабане котла

В данной работе рассматривается АСР регулирования уровня воды в барабане котла.

Система предназначена для непрерывной подачи в котел питательной воды заданной температуры в количестве, обеспечивающем поддержание уровня воды в барабане котла в допустимых пределах (от 105 до 155 мм).

Поддержание заданного уровня воды в барабане котла является одной из главнейших задач, обеспечивающих надежную работу котла в целом. Превышение уровня воды (так же известное как перепитка) в барабане приводит:

- к нарушению работы внутрибарабанных сепараторов;
- заносу пароперегревателя солями;
- попаданию частичек воды в турбину.

При этом и понижение уровня (упуск уровня) также приводит к определенным проблемам, а именно к нарушению циркуляции воды в топочных экранах. Этот технологический дефект может вызвать ухудшение охлаждения труб, экранирующих топку, что, в свою очередь, в большинстве случаев приводит к ослаблению их прочности и последующему пережогу труб.

3. Выбор структуры автоматического регулирования

3.1. Обзор и выбор метода регулирования уровня воды в барабане котла

Для точной проверки выполнения требуемого задания используются такой показатель, как материальный баланс. В качестве проверки выполнения материального баланса был выбран средний уровень воды.

Даже при изменении нагрузки средний уровень воды обязан являться величиной постоянной. Обычно он не превышает ± 20 мм.

В большинстве случаев подпитка водой производится по одной нитке, однако возможно и использование двух, при этом одна из них является запасной.

В современное время для регулирования уровня в барабане парогенератора эксплуатируются схемы:

- одноимпульсные с неравномерностью, действующие по отклонению уровня в барабане котла;
- двухимпульсные, у которых открытие клапана зависит от отклонения либо уровня, либо расхода пара;
- трехимпульсные, зависящие от изменения уровня, расхода пара и поступления воды.

Одноимпульсное регулирование

Импульс положения уровня в барабане измеряется чувствительным органом регулятора, усиливается и передается регулирующему клапану, изменяющему подачу питательной воды в зависимости от величины и знака полученного импульса. Такие регуляторы работают с неравномерностью, т.е. держат уровень понижающимся с увеличением нагрузки.

Схема регулирования питания с помощью одноимпульсного регулятора представлена на рисунке 2 [19]

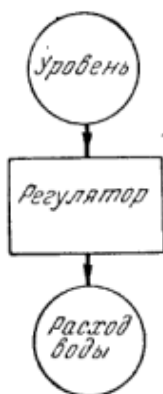


Рисунок 2 – Схема одноимпульсного регулирования питания котла

В таблице 2 приведены достоинства и недостатки данного метода [19].

Таблица 2 – Достоинства и недостатки одноимпульсной системы регулирования

Название	Достоинства	Недостатки
Одноимпульсное регулирование	Простота конструкции, эксплуатации и монтажа	<ol style="list-style-type: none"> 1. Система не учитывает возмущающее воздействие в виде изменения других параметров; 2. На некоторых котлах вследствие неравномерности возникают колебания, вызывающие погрешность.

Двухимпульсное регулирование

На рисунке 3 изображена схема двухимпульсного регулирования питания [19].

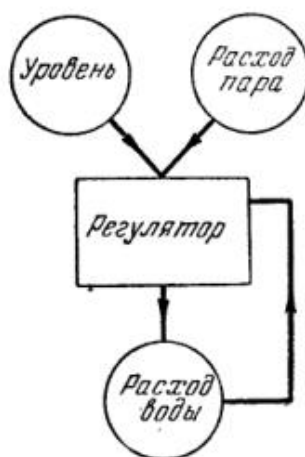


Рисунок 3 – Схема двухимпульсного регулирования питания

Регулятор снабжен двумя чувствительными органами, один из которых получает импульс по уровню, а второй - по расходу пара.

Измеренные импульсы складываются и усиливаются, после чего суммарный сигнал передается регулируемому клапану, изменяющему расход воды соответственно с полученной командой. Если отключить импульс по расходу пара, то регулятор будет работать по одноимпульсной схеме, изменяя подачу воды только в зависимости от уровня. При этом он будет работать с неравномерностью. Однако эта неравномерность является внутренней и не может быть обнаружена при наблюдении за работой двухимпульсного регулятора. В таблице 3 приведены достоинства и недостатки метода [19].

Таблица 3 – Достоинства и недостатки двухимпульсной системы регулирования

Название	Достоинства	Недостатки
Двухимпульсное регулирование	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность работы как одноимпульсной системы с минимизированием недостатков, вызванных неравномерностью; 2. поддерживает более постоянную подачу воды; 3. более высокое качество регулирования, чем у одноимпульсной. 	Система не учитывает перепад давления, ограничивается использование с резко переменным графиком нагрузки.

Трехимпульсное регулирование

На рисунке 4 изображена принципиальная схема трехимпульсного регулирования питания.

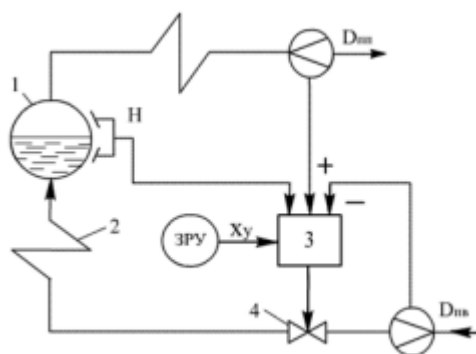


Рисунок 4 – Принципиальная схема трехимпульсного регулирования питания [20]

Как правило, при настройке таких регуляторов пытаются достигнуть закономерности одинакового изменения регулирующего воздействия при соответствующих изменениях входных импульсов. В таком случае импульс, приходящий от изменения уровня, будет служить фактором, влияющим на снижение колебаний и регулирования возникающей разницы между водой и паром. В таблице 4 приведены достоинства и недостатки трехимпульсной системы.

Таблица 4 – Достоинства и недостатки трехимпульсной системы

Название	Достоинства	Недостатки
Трехимпульсное регулирование	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наилучшая точность; 2. поддерживает постоянное заданное отношение расхода питательной воды и пара. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наблюдается незакономерное изменение подачи воды при неизменном расходе пара, приводящее к восстановлению равновесия без перехода в новое положение; 2. Необходимость точной настройки для полноценной работы; 3. Цена.

Из вариантов рассматриваемых схем выбираем трехимпульсную схему регулирования уровня, т.к. она широко применяется в настоящее время на большинстве барабанных парогенераторов.

Требования, предъявляемые к качеству работы АСР уровня воды в барабане котла [21]:

- в стационарном режиме работы максимально допустимое отклонение уровня от заданного значения для котлов большой и средней производительности не должно превышать ± 20 мм;
- при ступенчатом изменении нагрузки котла на 10 % от номинального значения максимальное отклонение уровня от заданного значения не должно превышать ± 50 мм;
- рабочий диапазон регулятора питания должен находиться между уставками срабатывания защит по превышению и снижению уровня в барабане;
- число срабатываний (включений) регулятора в стационарном режиме работы котла не должно превышать 6 раз в минуту.

Структурная схема автоматической системы регулирования уровня воды в барабане котла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.017 С1.

Данная схема работает следующим образом: на ПЛК – вычислительно управляющее устройство - поступает информация о расходе воды и пара, а также об уровне воды в барабане котла. После этого с контроллера сигнал поступает через ПУ (пускатель) на ИМ (исполнительный механизм) (преобразователь выходного сигнала регулятора в перемещение регулирующего органа), который будет контролировать положение РО (регулирующий орган), чья цель – управление клапаном, чтобы поддерживать материальный баланс в паровом котле.

4. Разработка функциональной схемы АСР уровня воды в барабане котла

Функциональная схема (ФС) один из главных технических документов для систем автоматизации технологических процессов, данный документ определяет функционально-блочную структуру узлов контроля, регулирования и управления технологическим процессом.

Положение РО, чья цель – управление клапаном, чтобы поддерживать материальный баланс в паровом котле, определяет функционально-блочную структуру узлов контроля, регулирования и управления технологическим процессом.

Данная схема также включает в себя оснащение приборами и средствами автоматизации объекта управления.

Расход питательной воды измеряется при помощи сужающего устройства 1а. После которого измеренная разность давлений на СУ (Сужающее устройство) попадает на вход дифманометра 1б, сигнал после которого поступает на измерительный прибор ПЛК.

Расход пара к турбине измеряется при помощи сужающего устройства 2а, уравнительного сосуда 2б и датчика разности давлений, сигнал с которого поступает на ПЛК в виде унифицированного сигнала.

Уровень в барабане котла определяется с помощью уравнительного сосуда 3а и датчика разности давления 3б, информация от которого в виде унифицированного сигнала поступает на ПЛК.

По каналу 4 и 6 происходит управление регулирующим органом. На пусковые устройства 5а и 7а подается регулирующее воздействие с контроллера о необходимости изменения положение задвижки. Данное пусковое устройство, в свою очередь, производит пуск исполнительного механизма 7б и 5б.

Функциональная схема системы теплотехнического контроля представлена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.017 С2.

5. Выбор технических средств управления и контроля

5.1. Выбор преобразователей для измерения уровня воды, расходов пара и питательной воды

Измерение уровня воды в барабане парогенератора происходит с помощью гидростатического метода. Гидростатический способ измерения уровня основан на том, что в жидкости существует гидростатическое давление, пропорциональное глубине, т. е. расстоянию от поверхности жидкости. Поэтому для измерения уровня гидростатическим способом могут использоваться приборы для измерения давления или перепада давлений – дифференциальный манометр.

Существуют такие типы уравнильных сосудов, как: однокамерные уравнильные сосуды, применяются на парогенераторах с давлением пара до 16 МПа; двухкамерные уравнильные сосуды применяются на парогенераторах с давлением пара в барабане до 25 МПа

Для разработки автоматической системы регулирования питания парогенератора ЕП-640-545 БТ выбран стандартный двухкамерный уравнильный сосуд, предназначен для поддержания постоянного уровня жидкости в одной из двух соединительных линий при измерении уровня жидкости в резервуарах с использованием датчиков разности давлений. Уравнильный сосуд установлен выше положения номинального уровня воды в барабане. В плюсовой камере уравнильного сосуда, соединенной трубкой с паровым пространством барабана котла, уровень конденсата поддерживается постоянным. Минусовая камера сосуда соединяется трубкой с водяным пространством котла. Уровень воды в этой камере соответствует переменному уровню в барабане котла. Давление столба воды плюсовой и

минусовой камер уравнильного сосуда передается по соединительным трубкам к нижней и верхней полостям дифференциального манометра.

В практике проектирования, монтажа и эксплуатации, используются следующие методы измерения количества вещества: объёмный, скоростной, индукционный, а также методы измерения постоянного и переменного перепадов.

В практике проектирования, монтажа и эксплуатации, используются следующие методы измерения количества вещества: объёмный, скоростной, индукционный, а также методы измерения постоянного и переменного перепадов.

Измерение методом постоянного перепада принято называть методом обтекания. Он основан на измерении вертикального перемещения поплавка (поршня) в камере прибора при протекании по нему измеряемого вещества снизу-вверх. Измерение методом переменного перепада принято называть дроссельным. Метод назван по наименованию сужающего устройства – дросселя, устанавливаемого в технологический трубопровод с измеряемой средой. Этим методом измеряют перепад давления в трубопроводе до и после дросселя, создаваемый при движении вещества в трубопроводе.

Поэтому для измерения расхода пара и питательной воды выбран метод переменного перепада давления.

Для преобразования перепада давления в электрический сигнал используются измерительные преобразователи – дифференциальные манометры.

В качестве сужающего устройства в измерительном канале измерительного преобразователя расхода пара используем диафрагма камерная ДВС-32-250[22], где давление $P =$ от 10 до 32 МПа, а диаметр $D =$ 250 мм. Для измерительного преобразователя расхода питательной воды

выбираем в качестве сужающего устройства диафрагму камерную ДВС-32-250, где давление $P =$ от 10 до 32 МПа, а диаметр $D = 250$ [22].

В качестве дифференциальных манометров рассмотрим следующие варианты:

- измерительный преобразователь разности давлений «ЭКМ–1005–ДД» производства НПП «Элемер», г. Москва;
- измерительный преобразователь разности давлений «Сапфир 22–ДД» производства НПП «Элемер», г. Москва;
- измерительный преобразователь разности давлений «ЭЛЕМЕР 100–ДД» производства НПП «Элемер», г. Москва;
- измерительный преобразователь разности давлений «Метран 150 CD» производства ПГ «Метран», г. Челябинск;
- измерительный преобразователь разности давлений «ПДД 200–ДД» производства ООО «ОВЕН», г. Москва.

Технические характеристики дифманометров представлены в таблице 5

Таблица 5 – Технические характеристики дифманометров

Тип дифманометра	ЭКМ-1005-ДД	Сапфир 22-ДД	Элемер 100-ДД	Метран 150-CD	ПДД 200-ДД
Диапазон измерений	От 10 кПа до 2,5 МПа	От 0,15 кПа до 16 МПа	От 0,063 кПа до 16 МПа	От 0 до 68 МПа	От 0,006 кПа до 2 МПа
Выходной сигнал	4...20 мА	0...5 мА; 4...20 мА; HART	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; HART; Modbus RTU	0...5 мА; 4...20 мА; HART	4...20 мА
Предел допускаемой погрешности	$\pm 0,25 \%$ $\pm 0,4 \%$, $\pm 0,6 \%$	$\pm 0,15$; $\pm 0,25$; $\pm 0,50 \%$	$\pm 0,15 \%$	$\pm 0,2 \%$	$\pm 0,1 \%$

Продолжение таблицы 5

Тип дифманометра	ЭКМ-1005-ДД	Сапфир 22-ДД	Элемер 100-ДД	Метран 150-СД	ПДД 200-ДД
Питание	220 В	От 15 до 42 В	24В	От 12 до 42 В	От 18 до 42 В
Потребляемая мощность, не более	0,7 Вт	0,7 Вт	0,7 Вт	0,8 Вт	1 Вт

Изучив технические характеристики приведенных пяти измерительных преобразователей, выбор пал на измерительный преобразователь разности давления Сапфир–22–ДД, так как он хорошо зарекомендовал себя в сфере проектирования систем автоматизации в ТЭС, даже, несмотря на относительно большую погрешность.

Преобразователи давления «Сапфир–22–ДД» предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование значения разности давлений нейтральных и агрессивных сред в унифицированный токовый выходной сигнал дистанционной передачи

Преобразователи могут использоваться для преобразования значений уровня жидкости, расхода жидкости или газа в унифицированный токовый сигнал, цифровой сигнал на базе интерфейса RS–485 с протоколами обмена Modbus, а также индикации.

Преимущества:

- малогабаритность по сравнению с другими датчиками;
- имеют электрический сигнал, который может передаваться на большие расстояния без погрешности и потерь;
- относительно недорогая стоимость, по сравнению с более новыми и дорогими аналогами, при почти одинаковых возможностях;

- возможность подключения ЭВМ, как вторичного прибора, что актуально в наше время;
- возможность установки в агрессивных средах.

5.2. Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства предлагается использовать контроллер. Контроллер – это вычислительное устройство, разработанное для применения в промышленности с учетом требований надежности, безотказности и простоты обслуживания.

В выпускной квалификационной работе рассматриваются три контроллера от разных производителей: ЭлеСи[25]; ОВЕН[24]; Siemens[23].

1. ЭЛСИ–ТМ производства АО «ЭлеСи».

Программируемый логический контроллер ЭЛСИ–ТМ имеет открытую архитектуру, и поддерживают стандартные промышленные протоколы и интерфейсы, имеет совместимость контроллера на программном и аппаратном уровне с датчиками и исполнительными механизмами различных производителей.

ЭЛСИ–ТМ – единая полнофункциональная платформа для построения систем промышленной автоматизации. Контроллер прост при конфигурировании и в эксплуатации. Программирование контроллера осуществляется на пяти языках стандарта МЭК 61131-3 в открытой системе разработки OpenPCS. Эта комбинация языков предоставляет универсальную среду программирования, позволяющую разрабатывать программы в структурированной и документированной форме с возможностью хранения их в ПЛК или на персональном компьютере. В таблице 6 приведены технические характеристики ПЛК ЭЛСИ–ТМ.

Таблица 6 – Технические характеристики ПЛК ЭЛСИ-ТМ

Параметры	Характеристики
Напряжение питания от источника постоянного тока, В	24±4
Напряжение питания от сети переменного тока частотой (50±1) Гц, В	220±44
Потребляемая мощность, Вт, не более	110
Параметры	Характеристики
Диапазон рабочих температур, °С	От -40 до 60
Атмосферное давление, кПа	От 84 до 106,7
Средний срок службы, лет, не менее	10

Продолжение таблицы 6

Интерфейсы	RS-232, RS-485, RS-422, Ethernet
Протоколы	Ethernet TCP/IP, Modbus RTU, Modbus TCP/IP
Дискретные входы/выходы	До 64 каналов на модуль
Аналоговые входы/выходы	8 каналов

2. Программируемый контролер 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 7 приведены технические характеристики контроллера Siemens SIMATIC S7–300.

Таблица 7 – Технические характеристики контроллера Siemens SIMATIC S7–300

Параметры	Характеристики
Диапазон температур, °С	От -40 до 70
Атмосферное давление, ГПа	От 800 до 1080
Изоляция: <ul style="list-style-type: none"> • Цепи = 24 В • Цепи ~ 230 В 	Испытательное напряжение = 500 В Испытательное напряжение ~ 1500 В
Протоколы	PROFIBUS, PROFINET/Industrial Ethernet и AS-Interface, а также к Internet
Интерфейсы	RS 232; RS 485; MODBUS RTU PPI;MPI

Продолжение таблицы 7

Параметры	Характеристики
Количество сигнальных, функциональных и коммуникационных модулей	До 8 или до 32
Количество дискретных входов-выходов	До 6 входов и 4 выходов

3. ОВЕН ПЛК–73 производства ООО «ОВЕН»

Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК–73 – полностью программируемый контроллер предназначен для решения простых задач автоматизации. Сферы применения контроллера – ЖКХ, модернизация центральных тепловых пунктов (ЦТП) и индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), котельные, небольшие станки. В таблице 8 приведены технические характеристики контроллера ПЛК–73.

Таблица 8 – Технические характеристики контроллера ОВЕН ПЛК–73

Параметры	Характеристики
Центральный процессор	32–разрядный RISC процессор 50 МГц на базе ядра ARM7
Напряжение питания, В переменного тока (от 47 до 63 Гц)	От 90 до 245
Параметры встроенного вторичного источника питания, В	выходное напряжение 24 ± 3 , ток не более 180 мА
Потребляемая мощность для переменного тока не более, ВА	18
Количество аналоговых входов	8
Количество дискретных входов	8

Продолжение таблицы 8

Параметры	Характеристики
Количество выходов внутри контроллера	8, из них 4 с возможностью установки ЦАП
Интерфейсы	RS-485, RS-232
Протоколы	ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, GateWay(протокол CoDeSys)

Изучив технические характеристики трех регулирующих устройств, сравним их ценовую категорию:

- 1) программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМ – приблизительно 30 000 рублей;
- 2) программируемый контроллер Siemens SIMATIC S7-300 – 80 000 рублей;
- 3) программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК-73 – 12 921 рублей.

Несмотря на большую ценовую разницу между ПЛК Siemens и двумя остальными сделаем выбор в сторону его, так как данные контроллеры имеют широкую возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне встроенного программного обеспечения центральных процессоров.

Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-300 имеют модульную конструкцию и состоят из таких элементов [26]:

- модуль центрального процессора (CPU).
- блоки питания (PS);
- сигнальные модули (SM);
- коммуникационные процессоры (CP);
- функциональные модули (FM);

– интерфейсные модули (IM).

Произведем подбор модулей программируемого контроллера SIMATIC S7-300.

1. Модуль центрального процессора

Модуль центрального процессора CPU 317 - 2 DP необходим для обработки информации в системах управления, имеющих высокие технические требования. Сетевые соединения у данного процессора могут быть установлены посредством многоточечного интерфейса (MPI) или через коммуникационные процессоры. К тому же, процессор может выполнять свои функции и без связи с локальной сетью. В большинстве случаев он использует только систему ввода-вывода. [27]. Технические данные приведены модульного процессора в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики модуля центрального процессора CPU – 312

Номинальное значение напряжения	24 В
Потребляемый ток	650 мА
Потери мощности	4 Вт
Рабочая память	32 Кбайта
Время хранения данных в ММС	10 лет
Общее адресное пространство	1024 байт
Масса	270 г

2. Модуль питания PS 307

Модуль питания PS 307 предназначен для формирования напряжения 24 В для обеспечения питания программируемого контроллера SIMATIC S7-300. Модуль питания может использоваться не только для питания электроники модулей программируемого контроллера, но и для питания

цепей датчиков и исполнительных устройств [28]. Технические данные приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические данные модуля питания PS 307

Размеры ШxВxГ (мм)	50x125x120
Вес	420 г
Номинальное значение входного напряжения	120/230 В перем. тока
Частота сети для номинального значения	50 Гц или 60 Гц
Номинальное значение выходного напряжения	24 В пост. тока
Допустимый диапазон	24 В \pm 5%
Номинальное значение выходного тока	5 А

3. Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331

Siemens 6ES7331-7NF0x-0AB0 – сигнальный модуль, предназначенный для построения системы ввода-вывода аналоговых сигналов программируемых контроллеров SIMATIC S7-300.

Модули устанавливаются в монтажную стойку и фиксируются в рабочих положениях винтами. Монтаж модулей происходит путем присоединения их в монтажную стойку, используя винтовые соединения. Подключение к шине контроллера происходит благодаря сетевым шинам. [29]. Технические характеристики представлены в таблице 11.

Таблица 10 – Технические характеристики модуля ввода аналоговых сигналов SM 331

Номинальное значение (пост. ток)	24 В
Ток питания (на канал)	30 мА
Потребление тока из задней шины	Макс. 100 мА
Число аналоговых входов	8
Основное время преобразования на канал	52 мкс
Разрешающая способность	14 битов
Диапазоны входных параметров, ток	От 4 до 20 мА
Требуемый передний штекер	20-полюсный

4. Модуль вывода аналоговых сигналов SM 322

Siemens 6ES7332- 7ND02-0AB0 – модуль вывода аналоговых сигналов. Предназначен для преобразования получаемых от контроллера величин в выходной аналоговый сигнал. К его выходам могут подключаться ИМ, управляемые унифицированными входными сигналами [30]. Технические характеристики представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики модуля вывода аналоговых сигналов SM 322

Номинальное значение (пост. ток)	24 В
Потребление тока из задней шины	Макс. 120 мА
Число аналоговых выходов	8
Основное время преобразования на канал в стандартном режиме (в режиме тактовой синхронизации)	200 мкс (640 мкс)

Продолжение таблицы 11

Разрешающая способность	15 битов
Диапазоны входных параметров, ток	20 4 до 20 мА
Требуемый передний штекер	20 - полюсный

5. Модуль ввода-вывода дискретных сигналов SM 323

Siemens 6ES7323-1BL00-0AA0 – модуль ввода-вывода дискретных величин. Его использование позволяет подстроить контроллер к требованиям, предъявляемым к контроллеру, а также обеспечить гибкое соединение с объектом автоматизации.

Таблица 12 – Технические характеристики модуля ввода-вывода дискретных сигналов SM 323

Номинальное значение (пост. ток)	24 В
Ток питания (на канал)	30 мА
Потребление тока из задней шины	Макс. 80 мА
Потребление тока от источника питания	Макс. 80 мА
Число аналоговых входов/выходов	16/16
Требуемый передний штекер	40 - полюсный

5.3. Выбор исполнительного механизма

Исполнительные механизмы являются приводной частью регулирующего органа (клапан, задвижка, заслонка) и предназначены для его перемещения. В зависимости от используемой энергии исполнительные механизмы подразделяются на следующие виды: пневматические, гидравлические, электрические.

Исполнительный механизм выбираем в зависимости от вида регулирующего органа и крутящего момента.

Исходные данные: внутренний диаметр трубопровода 219 мм.

Максимальный крутящий момент МЭО вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 219 - 338 = 1171 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где D_y – условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось условие:

$$M_H > M_{\max},$$

где M_H – номинальный крутящий момент на выходном валу исполнительного механизма, Н·м.

Механизм исполнительный электрический однооборотный рычажный типа МЭО в общепромышленном исполнении. У МЭО–1600/63–0,25 [31] номинальный крутящий момент на выходном валу равен 1600 Н·м, номинальное время полного хода выходного вала 63 секунды, номинальное значение полного хода выходного вала 0,25 оборотов. Потребляемая мощность 490 ВА, масса 135 кг, напряжение питания 380 В, частота 50 Гц, степень защиты IP – 54, блок сигнализации положения токовый, при помощи пускателя бесконтактного реверсивного ПБР–23.

5.4. Выбор пускового устройства

Рассмотрим три типа известных пусковых устройств, предназначенных для исполнительных механизмов МЭО типа: усилитель тиристорный трехпозиционный (ФЦ); блок управления электродвигателями реверсивный (БУЭР); и пускатель бесконтактный реверсивный (ПБР).

Усилители тиристорные ФЦ предназначены для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами, в приводе которых используются трехфазные двигатели.

Усилители ФЦ обеспечивают пуск, реверс, торможение при снятии входного сигнала и защиту асинхронного двигателя от перегрузок, осуществляют сигнализацию об исчезновении напряжения питания или несоответствии входных и выходных сигналов, уставки защиты и длительности торможения регулируются. Усилители ФЦ обеспечивают пуск/реверс синхронного двигателя. Защита от перегрузок отсутствует.

В качестве пускового устройства выбран более дешевый пускатель по сравнению с другими – бесконтактный реверсивный ПБР–23.

Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР–23 обладает следующими техническими характеристиками:

- 1) электрическое питание пускателя: однофазная сеть переменного тока с номинальным напряжением 220 В с частотой 50 Гц;
- 2) входной сигнал: включение – 24 ± 1 В;
- 3) степень защиты – IP20;
- 4) потребляемая мощность – не более 5 Вт;
- 5) масса, не более 2 кг;
- 6) быстродействие не более 35 мс;

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации представлена на чертеже ФЮРА 421000.017 С01.

6. Разработка принципиальной электрической схемы

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств, а также связи между ними. Определяют действие, которых обеспечивает решение задач управления, регулирования,

защиты, измерения и сигнализации. На основе этих схем разрабатываются другие документы ВКР, такие как схемы внешних соединений и монтажные таблицы щитов и пультов и другие [32].

Для разработки принципиальной электрической схемы необходимо выполнить ряд действий:

1) на основании функциональной схемы автоматизации составляются сформулированные технические требования, предъявляемые к принципиальной электрической схеме;

2) применительно к этим требованиям составляются условия и последовательность действия схемы;

3) в соответствии с заказной спецификацией на принципиальной схеме располагаются необходимые технические средства автоматизации, чтобы было удобно её читать при дальнейшей разработке монтажных схем и схем соединений и подключений внешних проводок;

4) для каждого технического средства на схеме в соответствии его технической документации определяются и изображаются на схеме с помощью линий связи, обозначающих линии электрической проводки, и используются только задействованные клеммы;

5) все участки электрических цепей, разделённые устройствами, имеют разное обозначение. Расстановка обозначений проводилась сверху вниз, слева направо, но с учётом приоритета прохождения сигнала по цепям для удобства чтения схемы. В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 - 99, для цепей питания 100 – 200. Всем элементам и устройствам схемы присваиваются позиционные обозначения. С помощью букв латинского алфавита указывается вид элемента или устройства, так называемый буквенный код, затем указывается порядковый номер устройства в пределах устройств данного вида;

б) в соответствии с присвоенными позиционными обозначениями устройств составляется перечень элементов схемы, оформленный в виде таблицы на отдельном листе (записываются данные об элементах, входящих в состав принципиальной электрической схемы).

Принципиальная электрическая схема АСР уровня в барабане представлена на листе ФЮРА.421000.017 ЭЗ.

– На листе 2 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов.

– Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

– автоматический выключатель QF1, предназначенный для защиты разделительных и групповых цепей;

– щитовая розетка (XS1);

– блоки зажимов XT..., предназначены для соединения кабелей;

– устройство защиты от перенапряжений (G1), предназначенное для защиты устройств от перенапряжений при протекании через сеть импульсов тока;

Подсистема электрического питания обеспечивает питание всех элементов щита управления и имеет защиту от перенапряжений.

Подсистема микроклимата включает в себя:

– концевой выключатель (SQ1), предназначенный для замыкания и размыкания рабочей цепи;

– осветительный прибор (EL1), предназначенный для освещения;

– реле контроля температуры (KK1), предназначенное для контроля температуры в шкафу управления;

Подсистема микроклимата щита управления поддерживает оптимальную температуру шкафа, что является одной из основ обеспечения безаварийной работы.

На листе 2 с шифром ФЮРА.421000.017 Э3 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера;
- преобразователи аналоговых сигналов UY, пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- блоки зажимов (2ХТ1, ХТ3, ХТ5).

Подсистема аналогового ввода-вывода обеспечивает безопасное подключение аналоговых сигналов к сигнальному модулю контроллера.

Подсистема вывода дискретных сигналов включает в себя:

- Модуль вывода дискретных сигналов;
- Релейные модули К1;
- Блоки зажимов (ХТ2, ХТ4)

7. Разработка монтажной схемы

В проектировании монтажной схемы были рассмотрены принципы построения внешних проводок и проводок щита автоматизации. К монтажной документации щитов относят схемы электрических соединений щитов.

В выпускной квалификационной работе необходимо разработать монтажную схему автоматической системы контроля и регулирования уровня воды в барабане.

- Схема монтажная должна содержать:
- измерительные преобразователи, расположенные вне щита;
- внешние электрические и трубные проводки;

– щит автоматизации;

На схеме внешних проводок сверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах [32].

Преобразователи разности давлений и исполнительный механизм, и другие средства автоматизации с электрическими входами и выходами 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.

Конечной целью проектирования электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой для прокладки,

коммутации жил к техническим средствам автоматизации, а также для проверки и ввода в эксплуатацию проводок.

На монтажной схеме используются следующие виды кабелей:

1) КВВГ - контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова;

2) КВВГЭ – Контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластика с оболочкой из поливинилхлорида пластика, без защитного покрова, экранированный

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительные коробки (КС-8).

Монтажная схема представлена на чертеже ФЮРА42100.017 Э4.

8. Разработка общего щита управления

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, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Необходимость данного этапа состоит в составлении комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

Учитывая конструкционные особенности, а также степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой автоматической системы регулирования уровня, компактный распределительный шкаф АХ 1260.000 IP 66/NEMA 4.

В данном случае для расположения средств автоматизации используется щит, который состоит из силовой части, системы сигнализации, системы контроля изоляции, системы контроля качества напряжения, системы мониторинга и регистрации состояний, с высотой 1600 мм шириной 600 мм и глубиной 300 мм.

Общий вид щита представлен на чертеже ФЮРА.421000.017 ВО

9. Расчет АСР уровня

9.1 Расчет статических характеристик элементов системы

Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя

В качестве измерительных преобразователей уровня выбран дифференциальный гидростатический манометр Сапфир 22–ДГ.

Схема установки двухкамерного уравнительного сосуда при непосредственном соединении дифференциального манометра представлена на рисунке 5.

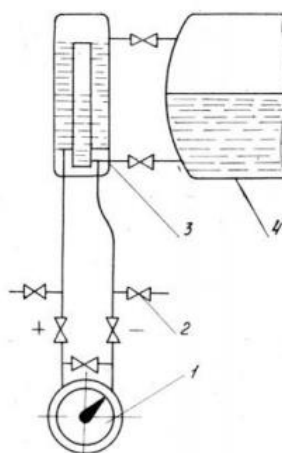


Рисунок 5 – Конструкция двухкамерного уравнительного сосуда: 1 – дифференциальный манометр; 2 – вентиль; 3 – уравнительный сосуд; 4 – барабан парового котла

Коэффициент передачи измерительного преобразователя уровня K_H рассчитывается по формуле:

$$K_H = K_{дм} \cdot K_{от} ,$$

где $K_{дм}$ – коэффициент передачи дифманометра для измерения уровня воды в парогенераторе;

$K_{от}$ – коэффициент передачи отборного устройства (уравнительный сосуд).

Для преобразования перепада уровня в электрический сигнал применяется дифманометр с верхним пределом измерений 1000 мм вод. ст.

В таблице 14 приведены данные для снятия выходной характеристики дифференциального манометра Сапфир 22–ДГ в зависимости от уровня воды.

Таблица 14 – Данные по снятию выходной характеристики дифференциального манометра Сапфир22ЕМ–ДД в зависимости от уровня воды

Уровень, мм вод. Ст.	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Ток, мА	4	5,6	7,3	9	10,4	11,8	13,1	14,6	16,4	18,2	20

Таким образом, измерительный преобразователь можно описать передаточной функцией пропорционального звена с коэффициентом передачи для измерения уровня воды в парогенераторе, которая равняется:

$$K_{дм} = \frac{\Delta I}{\Delta H} = \frac{20}{1000} = 0.02 \frac{\text{мА}}{\text{мм вод. ст.}}$$

По таблице 14 строится зависимость изменения величины тока от изменения уровня, представленная на рисунке 6:

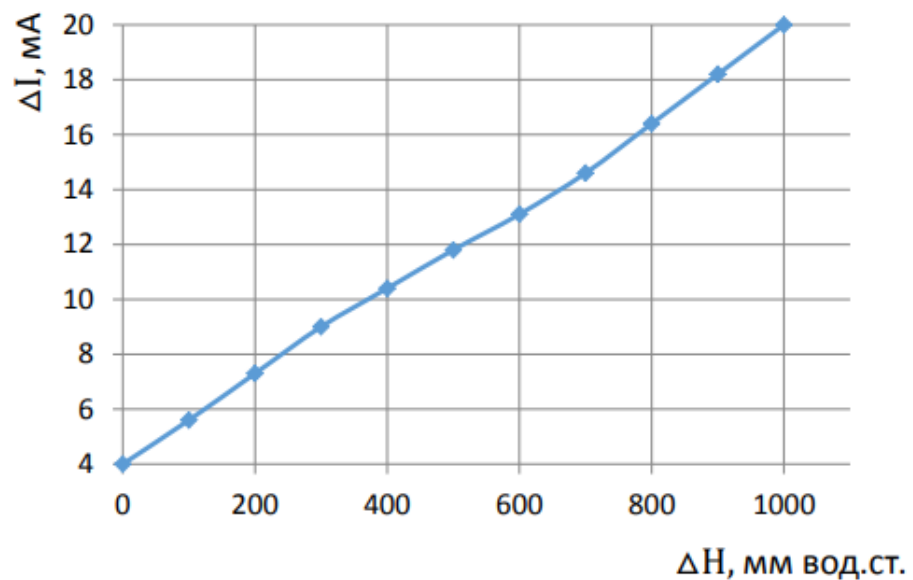


Рисунок 6 – Статическая характеристика измерительного преобразователя для измерения уровня

Коэффициент передачи отборного устройства (уравнительного сосуда) рассчитывается по формуле [33]:

$$K_{om} = 0.97 - 0.0009 \cdot \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2},$$

где Q_{\max} – максимальная паропроизводительность парогенератора;

Q_{\min} – минимальная паропроизводительность парогенератора.

Максимальная паропроизводительность парогенератора рассчитывается по формуле:

$$Q_{\max} = 1,2 \cdot Q_{\text{ном}},$$

Где $Q_{\text{ном}}$ – номинальная паропроизводительность парогенератора.

$$Q_{\max} = 1,2 \cdot 640 = 768 \text{ т/ч.}$$

Минимальная паропроизводительность зависит от вида сжигаемого топлива, шлакоудаления и конструктивных особенностей парогенератора. У газомазутных парогенераторов:

$$Q_{\min} = 0,6 \cdot 768 = 460,8 \text{ т/ч;}$$

$$K_{от} = 0,97 - 0,0009 \cdot \frac{768 + 460,8}{2} = 0,417;$$

$$K_H = 0,0083.$$

Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода питательной воды и пара

Конструкция дифференциального манометра представлена на рисунке 7.

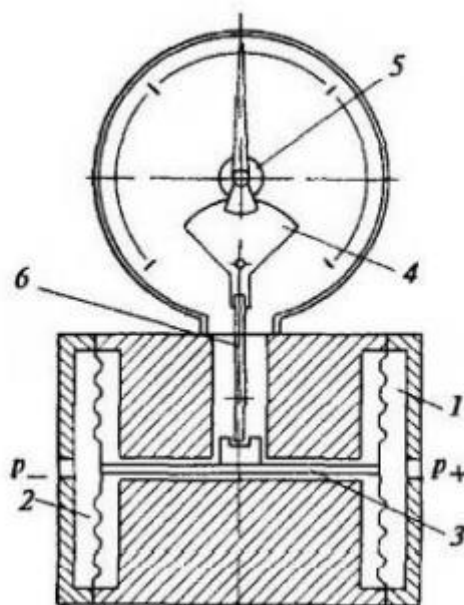


Рисунок 7 – Конструкция дифференциального манометра: 1 – «плюсовая» и «минусовая» камера; 2 – «импульсовая» камера; 3 – чувствительная гофрированная мембрана; 4 – передающий шток; 5 – передаточный механизм; 6 – предохранительный клапан.

В таблице 15 приведены данные для снятия выходной характеристики дифференциального манометра Сапфир22–ДД в зависимости от расхода пара и питательной воды.

Таблица 15 – Данные по снятию выходной характеристики дифференциального манометра Сапфир22–ДД в зависимости от расхода пара и питательной воды

Расход кг/с	0	100	200	300	400	500	555
Ток, мА	4	7	9,9	13	15,6	18,2	20

Таким образом, измерительный преобразователь можно описать передаточной функцией пропорционального звена с коэффициентом передачи для измерения расхода пара и питательной воды в парогенераторе, которая равняется:

$$K_{d,w} = \frac{\Delta I}{\Delta G} = \frac{9,9}{200} = 0,0495 \frac{\text{мА}}{\text{кг/с}}$$

По таблице 15 строится зависимость изменения величины тока от расхода пара и питательной воды, представленная на рисунке 8:

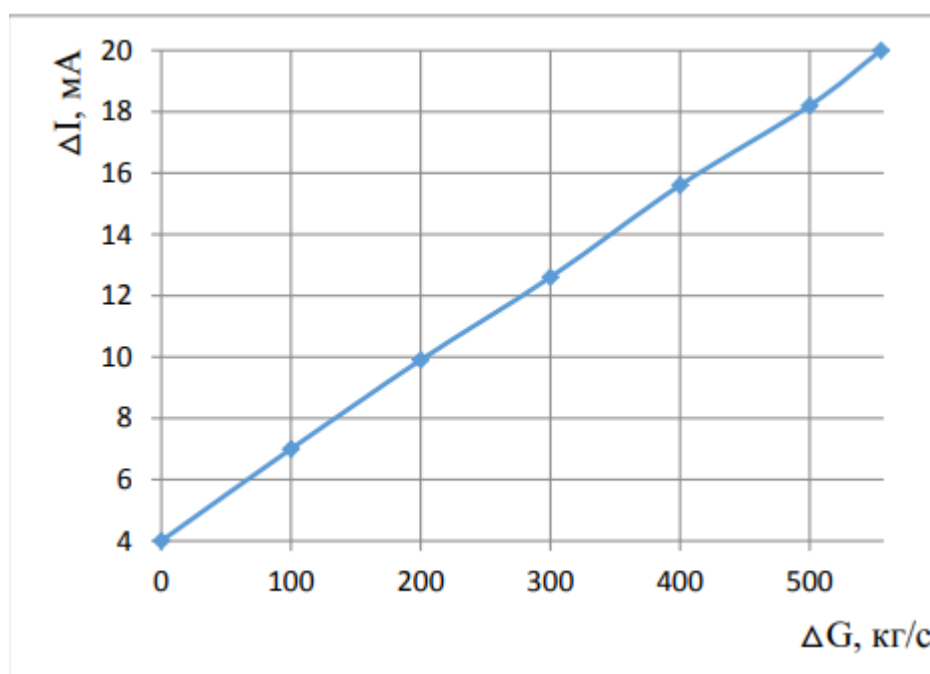


Рисунок 8 – Статическая характеристика измерительного преобразователя для измерения расхода питательной воды и пара

Расчет коэффициента передачи регулирующего органа

В качестве регулирующего органа подачи питательной воды в парогенератор используется регулирующий клапан дроссельного типа. Технологическая схема подачи питательной воды в парогенератор, необходимая для расчёта регулирующего питательного клапана, представлена на рисунке 9 [25].

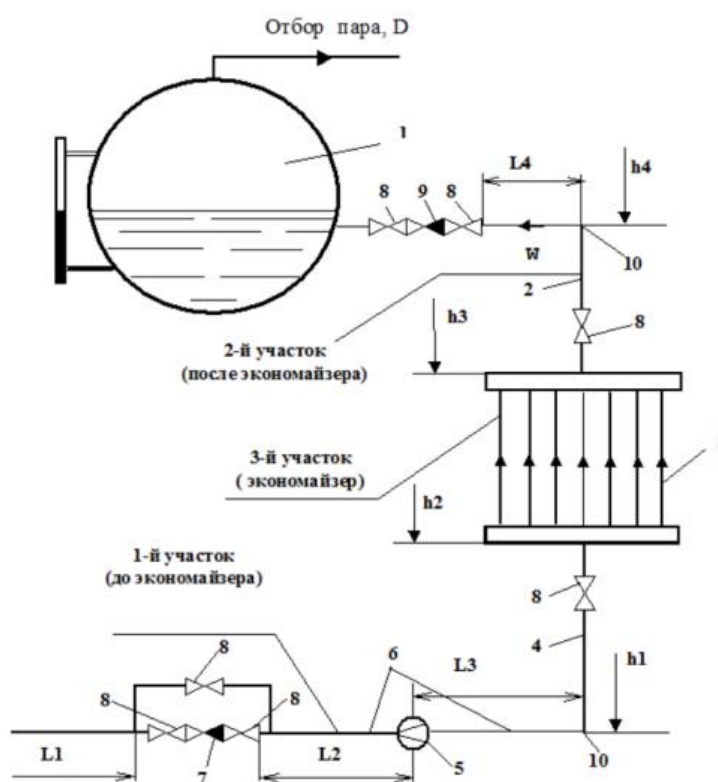


Рисунок 9 – Технологическая схема подачи питательной воды в парогенератор:

1 – барабан парогенератора; 2 – трубопровод подъема питательной воды от экономайзера к барабану; 3 – экономайзер; 4 – участок трубопровода; 5 – сужающее устройство; 6 – участок трубопровода; 7 – регулирующий клапан (РПК); 8 – запорная арматура; 9 – обратный клапан; 10 – поворотное колено на 90 град.; 11 – трубопровод от питательного насоса до РПК; L1, L2, L3, L4 – длины участков трубопровода; h1, h2, h3, h4 – диаметры участков трубопровода

Исходные данные к расчёту рабочей расходной характеристики регулирующего питательного клапана представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Исходные данные

Наименование показателя	Буквенные обозначения	Значения показателя
Номинальная паропроизводительность котельного агрегата, т/ч	$Q_{\text{ном}}$	640
Максимальная паропроизводительность котла, т/ч	Q_{max}	$1,2 \cdot Q_{\text{ном}}$
Давление пара в барабане котла, МПа	P_6	13,8
Температура насыщенного пара в барабане котла, °С	T_H	335
Температура питательной воды перед водяным экономайзером, °С	$T_{\text{пв}}$	230
Температура питательной воды после водяного экономайзера, °С	$T_{\text{пвэ}}$	330
Давление питательной воды на выходе питательного насоса, МПа	P_H	16,5
Потери давления на экономайзере (приняты равными 10 % от P_6), МПа	$\sum \Delta P_э$	1,38
Диаметр условного прохода РПК, мм	D_y	227
Длина участков трубопровода, м	L_1	150
	L_2	10
	L_3	10
	L_4	15
Высоты участков трубопровода, м	h_1	22
	h_2	24
	h_3	30
	h_4	50

Продолжение таблицы 16

Общая длина трубопровода, м	$\sum L_{\text{тр}}$	225
Абсолютная шероховатость трубопровода	Δ	0,2
Ускорение свободного падения, м/с ²	g	9,8
Участок 1 трубопровода (до экономайзера)		
Диаметр трубопровода, м	$d_{\text{тр}1}$	0,219
Запорная арматура, шт	$n_{з1}$	3
Сужающее устройство, шт	$n_{д1}$	1
Поворотное колено на 90 градусов, шт	$n_{к1}$	10
Тройник, шт	$n_{т1}$	2
Участок 2 трубопровода (после экономайзера)		
Диаметр трубопровода, м	$d_{\text{тр}2}$	0,219
Запорная арматура, шт	$n_{з2}$	3
Поворотное колено на 90 градусов, шт	$n_{к2}$	8
Обратный клапан, шт	$n_{ок2}$	1

Расчёт недостающих исходных данных:

1. Расчёт рабочей расходной характеристики РПК на участке 1

Длину участка 1 трубопровода определим по формуле:

$$L_{\text{тр.1}} = L_1 + L_2 + L_3 + (H_2 - H_1);$$

$$L_{\text{тр.1}} = 172 \text{ м.}$$

Среднее давление питательной воды на участке 1 определим по формуле:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{тр.1}} &= (P_{\text{н}} - (P_{\text{н}} - P_{\text{б}} - \Delta P_{\text{э}})) \cdot \frac{L_{\text{тр.1}}}{2 \cdot \sum L_{\text{тр.}i}} \\
 &= (16,5 - (16,5 - 13,8 - 1,38)) \cdot \frac{150}{2 \cdot 225} = 5,6 \text{ МПа;}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{тр.1}} = 5,6 \text{ МПа.}$$

Плотность питательной воды на участке 1 определяется по [26] и равняется $\rho_{\text{в.1}} = 839 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Определим максимальную скорость питательной воды по формуле

$$W_{\text{мах.1}} = \frac{Q_{\text{мах}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр.1}}^2}{4} \cdot \rho_{\text{в.1}}};$$

$$W_{\text{мах.1}} = 2,22 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коэффициент кинематической вязкости определяется по [26] и равняется $\nu_1 = 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$.

Найдем максимальное значение числа Рейнольдса по формуле:

$$Re_{\text{мах.1}} = \frac{W_{\text{мах.1}} \cdot d_{\text{тр.1}}}{\nu_1} = \frac{2,22 \cdot 0,219}{1,26 \cdot 10^{-7}};$$

$$Re_{\text{мах.1}} = 3,86 \cdot 10^6.$$

Рассчитаем коэффициент трения по формуле:

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр.1}}} + \frac{68}{Re_{\text{мах.1}}} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,219} + \frac{68}{3,86 \cdot 10^6} \right);$$

$$\lambda_1 = 0,11.$$

Вычислим потери давления на трение в трубопроводе при максимальном расходе питательной воды по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр.1}} = \lambda_1 \cdot \frac{L_{\text{тр.1}}}{d_{\text{тр.1}}} \cdot \frac{W_{\text{мах.1}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{в.1}} \cdot 10^{-6} = 0,11 \cdot \frac{172}{0,219} \cdot \frac{2,22^2}{2} \cdot 839.$$

$$\Delta P_{\text{тр.1}} = 0,179 \text{ МПа.}$$

2. Расчет рабочей расходной характеристики РПК на участке 2 (после экономайзера)

Длину участка 2 трубопровода определим по формуле:

$$L_{\text{тр.2}} = L_4 + (H_4 - H_3);$$

$$L_{\text{тр.2}} = 35 \text{ м.}$$

Давление питательной воды на входе в участок 2 определим по формуле:

$$P_{\text{трн.2}} = (P_{\text{н}} - (P_{\text{н}} - P_{\text{б}} - \Delta P_{\text{э}})) \cdot \frac{L_{\text{тр.2}}}{2 \cdot \sum L_{\text{тр}}}$$
$$= (16,5 - (16,5 - 13,8 - 1,38)) \cdot \frac{35}{2 \cdot 225};$$

$$P_{\text{трн.2}} = 16,4 \text{ МПа.}$$

Среднее давление питательной воды на участке 2 определим по формуле:

$$P_{\text{тр.2}} = (P_{\text{трн.2}} - \Delta P_{\text{э}} - (P_{\text{н}} - P_{\text{б}} - \Delta P_{\text{э}})) \cdot \frac{L_{\text{тр.2}}}{2 \cdot \sum L_{\text{тр}}}$$
$$= (16,4 - 1,38 - (16,5 - 13,8 - 1,38)) \cdot \frac{150}{2 \cdot 225};$$

$$P_{\text{тр.2}} = 14,92 \text{ МПа.}$$

Плотность питательной воды на участке 2 определяется по [26] и равняется $p_{\text{в.2}} = 644,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Определим максимальную скорость питательной воды по формуле:

$$W_{\text{мах.2}} = \frac{Q_{\text{мах}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр.2}}^2}{4} \cdot p_{\text{в.1}}};$$

$$W_{\text{мах.2}} = 2,98 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Коэффициент кинематической вязкости определяется по [26] и равняется

$$\nu_2 = 1,044 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Найдем максимальное значение числа Рейнольдса по формуле:

$$Re_{\text{макс.2}} = \frac{W_{\text{макс.2}} \cdot d_{\text{тр.2}}}{\nu_2};$$

$$Re_{\text{макс.2}} = 6,06 \cdot 10^6.$$

Рассчитаем коэффициент трения по формуле:

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta \cdot 10^{-3}}{d_{\text{тр.1}}} + \frac{68}{Re_{\text{макс.1}}} \right)^{0.25};$$

$$\lambda_2 = 0,019.$$

Вычислим потери давления на трение в трубопроводе при максимальном расходе питательной воды по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр.1}} = \lambda_2 \cdot \frac{L_{\text{тр.2}}}{d_{\text{тр.2}}} \cdot \frac{w_{\text{макс.2}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{в.2}} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{\text{тр.1}} = 0,008 \text{ МПа.}$$

3. Расчет коэффициента местного сопротивления и потерь давления на участке 1 при максимальном расходе

3.1 Задвижка

Определяем коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{\text{мз1}} = \frac{75}{Re_{\text{макс1}}} + 0,15;$$

$$\xi_{\text{мз1}} = 0,15.$$

Потери давления на одной задвижке определим по формуле:

$$\Delta P_{3.1} = \xi_{M31} \cdot \frac{W_{\max.1}^2}{2} \cdot \rho_{B1} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{3.1} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{МПа.}$$

Суммарные потери давления на задвижках определим по формуле:

$$\sum \Delta P_{3.1} = n_{31} \cdot \Delta P_{3.1};$$

$$\sum \Delta P_{3.1} = 9,3 \cdot 10^{-4}.$$

3.2 Колено

Определяем коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{MK1} = \frac{130}{Re_{\max 1}} + 0,2;$$

$$\xi_{MK1} = 0,2.$$

Потери давления на одном колене определим по формуле:

$$\Delta P_{K.1} = \xi_{MK1} \cdot \frac{W_{\max.1}^2}{2} \cdot \rho_{B1} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{K.1} = 4,13 \cdot 10^{-3} \text{МПа.}$$

Суммарные потери давления на коленах определим по формуле:

$$\sum \Delta P_{K.1} = n_{K1} \cdot \Delta P_{K.1};$$

$$\sum \Delta P_{K.1} = 4,13 \cdot 10^{-3} \text{МПа.}$$

3.3 Сужающее устройство

Определяем коэффициент местного сопротивления:

$$M_{D1} = \frac{70}{Re_{\max 1}};$$

$$m\kappa_1 = 1.$$

Потери давления на одной диафрагме определим по формуле:

$$\Delta P_{д.1} = \xi_{мд1} \cdot \frac{W_{\max.1}^2}{2} \cdot \rho_{в1} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{д.1} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ МПа.}$$

Суммарные потери давления на диафрагмах определим по формуле:

$$\sum \Delta P_{д.1} = n_{д1} \cdot \Delta P_{д.1};$$

$$\sum \Delta P_{д.1} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ МПа.}$$

3.4 Тройник

Определяем коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{мт1} = \frac{150}{Re_{\max1}} + 0,3;$$

$$\xi_{мт1} = 0,3.$$

Потери давления на одном тройнике определим по формуле:

$$\Delta P_{т.1} = \xi_{мт1} \cdot \frac{W_{\max.1}^2}{2} \cdot \rho_{в1} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{т.1} = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ МПа.}$$

Суммарные потери давления на тройниках определим по формуле:

$$\sum \Delta P_{д.1} = n_{т1} \cdot \Delta P_{т.1};$$

$$\sum \Delta P_{д.1} = 1,24 \cdot 10^{-3} \text{ МПа.}$$

4. Расчет коэффициента местного сопротивления и потерь давления на участке 2

4.1 Задвижка

Определяем коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{МЗ_2} = \frac{75}{Re_{\max 2}} + 0,15;$$

$$\xi_{МЗ_2} = 0,15.$$

Потери давления на одной задвижке определим по формуле:

$$\Delta P_{з.2} = \xi_{МЗ_2} \cdot \frac{W_{\max.2}^2}{2} \cdot \rho_{в2} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{з.2} = 4,04 \cdot 10^{-3} \text{ МПа.}$$

Суммарные потери давления на задвижках определим по формуле:

$$\sum \Delta P_{з.2} = n_{з2} \cdot \Delta P_{з.2};$$

$$\sum \Delta P_{з.2} = 1,212 \cdot 10^{-3} \text{ МПа.}$$

4.2 Колено

Определяем коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{МК_2} = \frac{130}{Re_{\max 2}} + 0,2;$$

$$\xi_{МК_2} = 0,2.$$

Потери давления на одном колене определим по формуле:

$$\Delta P_{к.2} = \xi_{МК_2} \cdot \frac{W_{\max.2}^2}{2} \cdot \rho_{в2} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{к.2} = 5,38 \cdot 10^{-4} \text{МПа.}$$

Суммарные потери давления на коленах определим по формуле:

$$\sum \Delta P_{к.2} = n_{к2} \cdot \Delta P_{к.2};$$

$$\sum \Delta P_{к.2} = 4,304 \cdot 10^{-4} \text{МПа.}$$

4.3 Обратный клапан

Определяем коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{\text{мок}_2} = \frac{350}{Re_{\text{мах}_2}} + 0,2;$$

$$\xi_{\text{мок}_2} = 0,2.$$

Потери давления на одном клапане определим по формуле:

$$\Delta P_{\text{ок.2}} = \xi_{\text{мок}_2} \cdot \frac{W_{\text{мах.2}}^2}{2} \cdot \rho_{в2} \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta P_{\text{ок.2}} = 5,38 \cdot 10^{-4} \text{МПа.}$$

5. Расчет иных показателей на двух участках трубопровода

Высоту столба воды на участке 1 трубопровода определим по формуле:

$$\Delta h_1 = h_2 - h_1;$$

$$\Delta h_1 = 2 \text{ м.}$$

Среднюю плотность воды в экономайзере определим по формуле:

$$\rho_{вэ} = \frac{\rho_{в1} + \rho_{в2}}{2};$$

$$\rho_{вэ} = 471,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Высоту столба воды на экономайзере определим по формуле:

$$\Delta h_3 = h_3 - h_2;$$

$$\Delta h_3 = 6 \text{ м.}$$

Высоту столба воды на участке 2 трубопровода определим по формуле:

$$\Delta h_2 = h_4 - h_3;$$

$$\Delta h_2 = 20 \text{ м.}$$

Суммарный напор столба воды в трубопроводе определим по формуле:

$$\sum \Delta P_h = g \cdot \rho_{в1} \cdot \Delta h_1 \cdot 10^{-6} + g \cdot \rho_{вЭ} \cdot \Delta h_3 \cdot 10^{-6} + g \cdot \rho_{в2} \cdot \Delta h_2 \cdot 10^{-6};$$

$$\sum \Delta P_h = 0,186 \text{ МПа.}$$

Суммарные потери давления на трение в трубопроводе определим по формуле:

$$\sum \Delta P_{тр} = \Delta P_{тр1} + \Delta P_{тр2};$$

$$\sum \Delta P_{тр} = 0,157 \text{ МПа.}$$

Суммарные потери давления на местных сопротивлениях определим по формуле:

$$\sum \Delta P_\mu = \sum \Delta P_{к1} + \sum \Delta P_{к2} + \sum \Delta P_{к2} + \sum \Delta P_{ок2} + \sum \Delta P_{з1} + \sum \Delta P_{з2} + \sum \Delta P_{т1} + \sum \Delta P_{д1};$$

$$\sum \Delta P_\mu = 0,011 \text{ МПа.}$$

Суммарные потери давления в трубопроводе при максимальном расходе питательной воды определим по формуле:

$$\Delta P_{сmax} = \sum \Delta P_{тр} + \sum \Delta P_\mu + \sum \Delta P_\mu;$$

$$\Delta P_{cmax} = 1,578 \text{ МПа.}$$

Перепад давления на РПК при максимальном расходе питательной воды определим по формуле:

$$\Delta P_{рпкmax} = P_H - (P_6 + \Delta P_{cmax});$$

$$\Delta P_{рпкmax} = 1,112 \text{ МПа.}$$

Определим максимальную скорость воды в присоединительном патрубке РПК по формуле:

$$W_{рпкmax2} = \frac{Q_{max} \cdot 1000 \cdot 10^6}{3600 \cdot \rho_{в,1} \cdot \frac{3,14 \cdot (D_y)^2}{4}};$$

$$W_{рпкmax2} = 2,06 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Коэффициент сопротивления расчетного технологического участка без РПК при максимальном расходе определим по формуле:

$$\xi_{cmax} = \frac{2 \cdot \Delta P_{cmax} \cdot 10^6}{W_{рпкmax}^2 \cdot \rho_{в,1}};$$

$$\xi_{cmax} = 886,42.$$

Коэффициент сопротивления РПК при максимальном расходе определим по формуле:

$$\xi_{рmax} = \frac{2 \cdot \Delta P_{рпкmax} \cdot 10^6}{W_{рпкmax}^2 \cdot \rho_{в,1}};$$

$$\xi_{рmax} = 630,27.$$

Задаём шаг построения расходной характеристики РПК:

$$\Delta Q = \frac{Q_{max} - 0,2 \cdot Q_{max}}{10};$$

$$\Delta Q = 20,16 \frac{\text{т}}{\text{ч}}.$$

Начальное значение, шаг и конечное значение счетчика расхода $j=0,1\dots10$.

Начальное значение, шаг и конечное значение счетчика расхода:

$$Q_j = \Delta Q_j + 0,2 \cdot Q_{\max}.$$

Перепад давления в сети в расчетной точке, МПа:

$$\Delta P_{cj} = \Delta P_{cmax} \cdot \left(\frac{Q_j}{Q_{\max}} \right)^2.$$

Перепад давления на РПК в расчетной точке, МПа:

$$\Delta P_{рпкj} = P_n - P_6 - \Delta P_{cj} + \sum \Delta P_h.$$

Коэффициент сопротивления РПК в расчетной точке определяем по формуле:

$$\xi_{Pj} = \frac{2 \cdot \Delta P_{рпк} \cdot 10^6}{W_{рпкmax}^2 \cdot p_{в,1}} \cdot \left(\frac{Q_j}{Q_{\max}} \right)^2.$$

Расчет зависимости относительного перемещения РПК от ξ_P ($l_j = f^{-1}(\xi_{Pj})$) определяется по гидравлической характеристике РПК данной заводом изготовителем. В качестве регулирующего клапана берем шиберный клапан Чеховского завода энергетического машиностроения. График $\xi_P = f(1)$ приведен на рисунке 10 [7]. По этому графику определяют $l_j = f^{-1}(\xi_{Pj})$. Аппроксимируя график, в данном случае методом наименьших квадратов, находим: $l = 5,186 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 2,74 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 - 0,252 \cdot x + 1,32$, где $x_j = \log(\xi_{Pj})$.

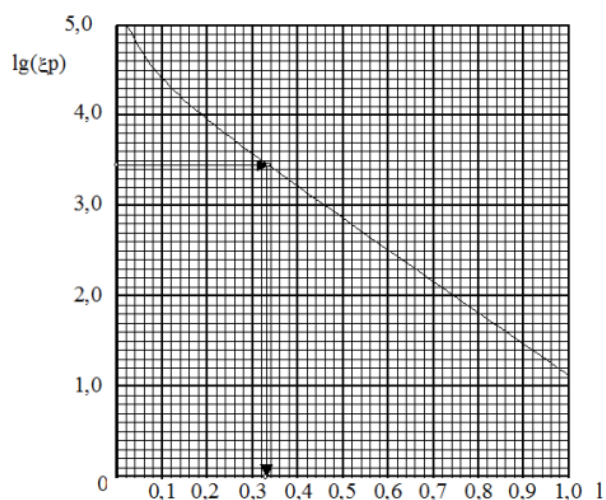


Рисунок 10– График зависимости $\xi_p = f(1)$ для шиберного регулирующего питательного клапана

Относительное перемещение РПК в расчетной точке:

$$I_j = 5,186 \cdot 10^{-3} \cdot (x_j)^3 - 2,74 \cdot 10^{-2} \cdot (x_j)^2 - 0,252 \cdot x_j + 1,32.$$

Рабочая расходная характеристика РПК представлена на рисунке 10.

Коэффициент передачи РПК определяется из полученного графика следующим образом:

1) задается приращение расхода питательной воды в окрестности выбранного режима работы котла $dQ = Q_2 - Q_1$;

2) по графику определяются соответствующее Q_2 значение I_2 , а по Q_1 значение I_1 ;

3) по формуле $K_{po} = \frac{dQ}{(I_2 - I_1)} \cdot 100$ находим искомый коэффициент передачи РПК, где коэффициент 100 – полный диапазон перемещения регулирующего органа в процентах указателя положения (%УП).

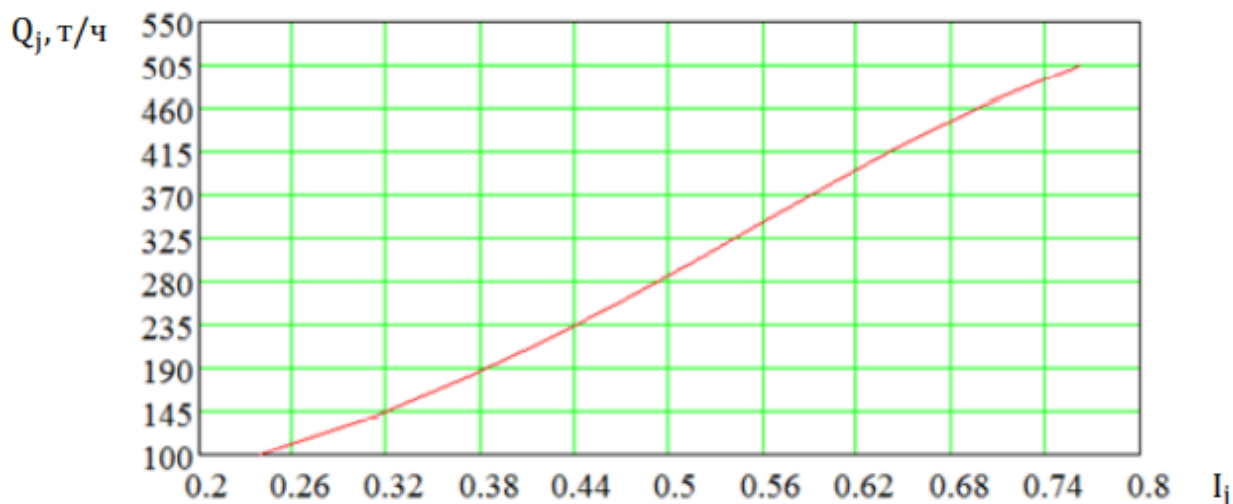


Рисунок 11 – Рабочая расходная характеристика РПК

Таким образом, задаёмся следующими значениями:

- 1) расход питательной воды в точке 1 равен $Q_1=200$ т/ч;
- 2) расход питательной воды в точке 2 равен $Q_2=400$ т /ч;
- 3) относительное перемещение РПК при расходе питательной воды Q_1 равен $l_1 = 0,4$;
- 4) относительное перемещение РПК при расходе питательной воды Q_2 равен $l_2 = 0,68$.

Считаем приращение расхода питательной воды, т /ч:

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1.$$

Относительное перемещение РПК при изменении расхода от Q_1 до Q_2 :

$$\Delta l = l_2 - l_1.$$

Коэффициент передачи РПК определим по формуле

$$K_{po} = \frac{\Delta Q}{\Delta l \cdot 100}.$$

$$K_{po} = 7,143 \text{ (т/ч/\%УП)}.$$

9.2 Расчет динамических характеристик

Первый контур регулирования представлен участком трубопровода от места установки регулирующего питательного клапана (РПК) до сужающего устройства, которым измеряется расход воды. Кроме этого, датчик расхода воды также входит в состав объекта регулирования этого контура. Расход питательной воды является регулируемым параметром этого контура, а регулирующим воздействием является перемещение РПК, которое изменяет расход питательной воды. В состав регулятора этого контура входит пусковое устройство и исполнительный механизм.

Объект регулирования этого контура не позволяет использовать ПИ–закон регулирования, так как он имеет малые запаздывания и постоянную времени, из-за чего нарушается условие скользящего режима. Задача контура заключается в стабилизации расхода питательной воды.

В состав второго контура входит питательный трубопровод, экономайзер, барабан котла, опускные трубы, подъемные экраны. Расход питательной воды от места установки РПК является входным параметром контура, уровень в барабане является выходным параметром. Расход питательной воды является регулирующим воздействием, уровень в барабане является регулируемым параметром.

Если происходит изменение расхода пара, то первый контур приводит расход воды в соответствие с расходом пара и обеспечивает постоянство уровня в барабане котла. Возмущения, влияющие на уровень в барабане котла, отрабатывается П–регулятором, когда появляется сигнал по отклонению уровня от заданного значения. Этими возмущениями являются возмущение по топливу, по тепловосприятию, расходы пара и воды, которые не учитываются датчиками.

Возмущения расходом пара отрабатывает первый контур. Его выходом является расход питательной воды. Таким образом, возмущение по

расходу пара может изменить расход питательной воды без изменений уровня в барабане, потому что динамическая характеристика по уровню имеет запаздывание.

Для расчета АСР питания котельного агрегата ЕП-640-13,8-545 БТ была получена временная характеристика котла по расходу воды при возмущении регулирующим клапаном, представленная на рисунке 12.

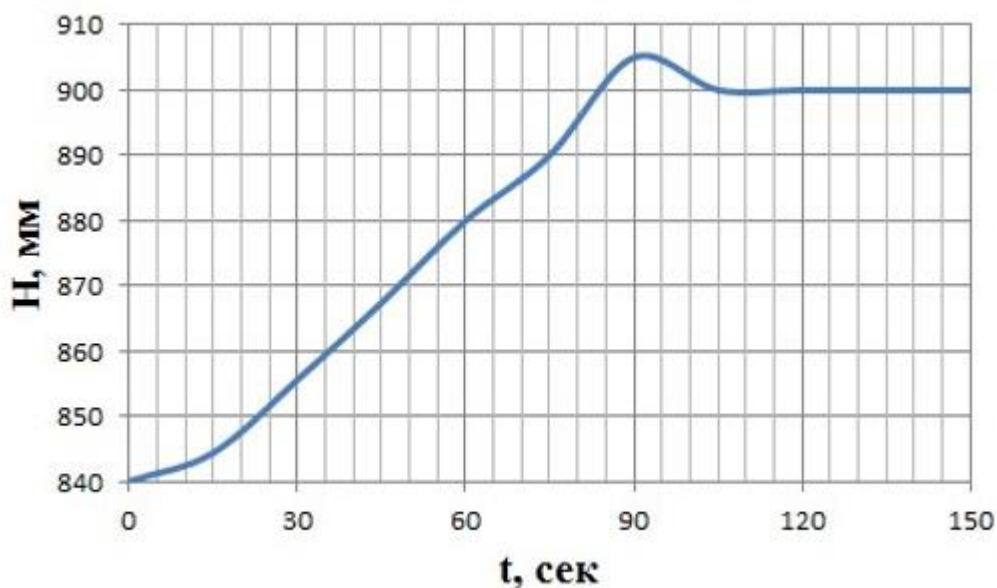


Рисунок 12 – Временная характеристика котла по значению уровня в следствии возмущения расходом питательной воды

1) Получение передаточной функции по кривой разгона объекта регулирования

Для получения передаточной функции объекта регулирования воспользуемся методом аппроксимации прямой. Кривая разгона передаточной функции представляет собой аperiodическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{K}{(TP + 1)} \cdot e^{-P\tau},$$

Где K – это коэффициент передачи объекта;

T – постоянная времени;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания.

Определяем расположение точек А и Б на кривой, после чего находим неизвестные величины.

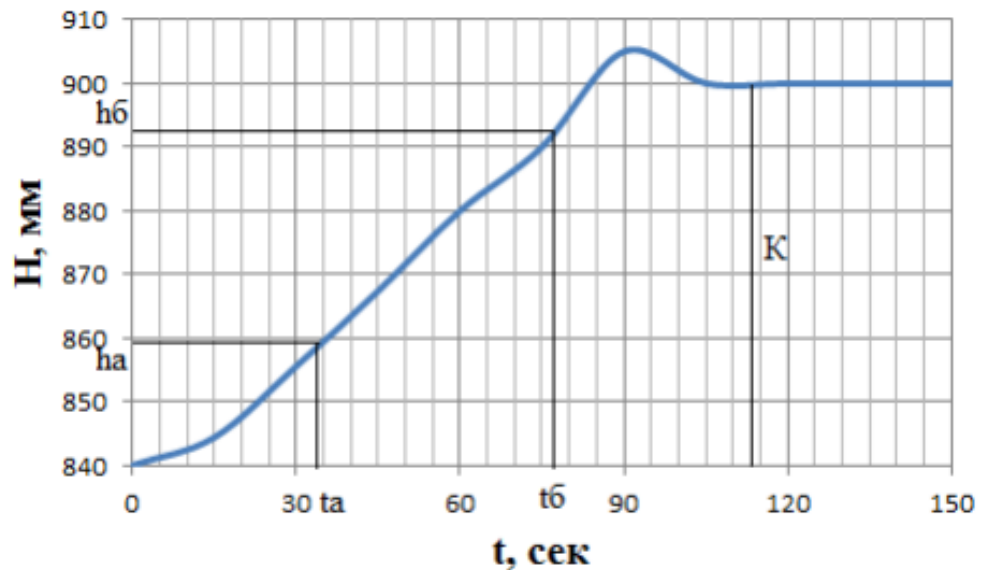


Рисунок 13 – Определение точек А и Б

Для точности производится расчет по интерполяционному методу Орманна. Постоянная времени T и время запаздывания τ вычисляются по формулам:

$$T = 0,5 \cdot (t_B - t_A) = 0,5 \cdot (72 - 33) = 19,5 \text{ с};$$

$$\tau = 1,25 \cdot (3 \cdot t_A - t_B) = 1,25 \cdot (3 \cdot 33 - 72) = 33,75 \text{ с}.$$

По кривой разгона определяют коэффициент передачи объекта:

$$K = \frac{\Delta H}{W_0} = \frac{60}{5} = 12,$$

Где W_0 – величина входного воздействия, равна 5 т/ч.

Передаточная функция имеет вид:

$$W(p) = \frac{12}{19,5P + 1} \cdot e^{-33,75}$$

2) Расчет передаточной функции объекта регулирования по каналу «расход питательной воды – уровень в барабане котла»

Передаточная функция объекта по каналу «расход питательной воды – уровень»:

$$W_{HW}(p) = \frac{\varepsilon}{P} \cdot e^{-p\tau},$$

Где ε – коэффициент передачи объекта;

τ – величина запаздывания.

Коэффициент передачи объекта находится по формуле:

$$\varepsilon = \frac{278}{F \cdot (\rho_v - \rho_n)} = \frac{278}{60 \cdot (625,76 - 89,267)} = 0,0086 \frac{\text{мм в. ст.}}{\left(\frac{\text{Т}}{\text{Ч}}\right) \cdot \text{с}},$$

Где ρ_v – Плотность воды на линии насыщения, кг/м³;

ρ_n – плотность пара на линии насыщения, кг/м³;

F – площадь зеркала испарения в барабане котла м².

Время запаздывания τ выбирается в зависимости от давления в барабане котла (таблица 17).

Таблица 17 – Зависимость транспортного запаздывания от давления в барабане котла

Давление в барабане Р _б , МПа	7 - 8	11,5	15,5
Транспортное запаздывание τ , с	30 – 40	20 – 25	10 – 12

Зная давление в барабане котла, выбираем величину запаздывания $\tau = 11$ с.

3) Расчет передаточной функции участка трубопровода от регулирующего органа до сужающего устройства

Поскольку вода является несжимаемой жидкостью, передаточная функция участка имеет вид:

$$W_{\text{тр}}(P) = e^{P\tau_{\text{тр}}},$$

$$\text{Где } \tau_{\text{тр}} = \frac{L_2}{\omega};$$

L_2 – длина трубопровода между регулирующим органом и сужающим устройством;

ω – скорость питательной воды в трубопроводе.

Определяется скорость питательной воды на участке трубопровода при среднем расходе:

$$\omega = W_{\text{макс.1}} = \frac{W_{\text{макс}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр.1}}^2}{4} \cdot \rho_{\text{в,1}}} = \frac{768 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,219^2}{4} \cdot 839} = 2,262 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

Время запаздывания на участке трубопровода:

$$\tau_{\text{тр}} = \frac{L_2}{\omega} = \frac{15}{2,262} = 6,63 \text{ с.}$$

4) Расчет коэффициента передачи потенциометра «чувствительность» датчика уровня

Допустимая нечувствительность по уровню в барабане котла рассчитывается по формуле:

$$\Delta H = 0,015 \cdot (H_2 + H_1) = 0,015 \cdot (150 + 150) = 4,5 \text{ мм,}$$

Где $H_2 = 150$ мм в. ст. – уставка защиты от повышения уровня до первого предела;

$H_1 = 150$ мм в. ст. – уставка защиты от понижения уровня до первого предела

Коэффициент передачи потенциометра «чувствительность» датчика уровня вычисляем, как:

$$K_{ч1} = \frac{\Delta\Phi}{K_H \cdot \Delta H} = \frac{0,1}{0,013 \cdot 4,5} = 1,709, \text{ Ма.}$$

Где $\Delta\Phi = 0,1$ мА – фактическая зона нечувствительности регулятора;

5) Передаточная функция демпфирующего устройства

Из-за наличия нестационарных режимов на границе раздела двух сред в условиях непрерывного перемещения больших масс воды и пара возникают пульсации уровня, имеющие некоторую амплитуду «А» и частоту « ω ». Для уменьшения возникающих вследствие этих колебаний погрешностей устанавливают демпфер – инерционное звено первого порядка с передаточной функцией вида:

$$W_{DM}(P) = \frac{K_{DM}}{T_D \cdot P + 1},$$

Где $K_{DM} = 1$ – коэффициент передачи;

T_D – постоянная времени.

Рассчитываем допустимую величину амплитуды пульсаций измеряемого параметра на входе регулятора:

$$A_{доп} = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05,$$

Где $\Delta\Phi$ – фактическая зона нечувствительности регулятора, мА;

Рассчитываем необходимое уменьшение амплитуды пульсаций:

$$N = \frac{A_{max} \cdot K_H \cdot K_{ч1}}{A_{доп}} = \frac{18 \cdot 0,013 \cdot 1,709}{0,05} = 9,775, \text{ раз.}$$

Где $A_{\max} = 18$ мм в. ст. – максимальная амплитуда колебаний уровня в барабане котла.

Постоянная времени демпфирования рассчитывается так:

$$T_D = \sqrt{N^2 - 1} \cdot \frac{T_{\max}}{2\pi} = \sqrt{9,775^2 - 1} \cdot \frac{6}{2 \cdot 3,14} = 9,29 \text{ с,}$$

Где $T_{\max} = 6$ с – максимальный период колебаний уровня в барабане котла.

б) Определение параметров настроек АСР питания барабанного парового котла

Структурная схема для расчета трехимпульсной АСР питания представлена на рисунке 14.

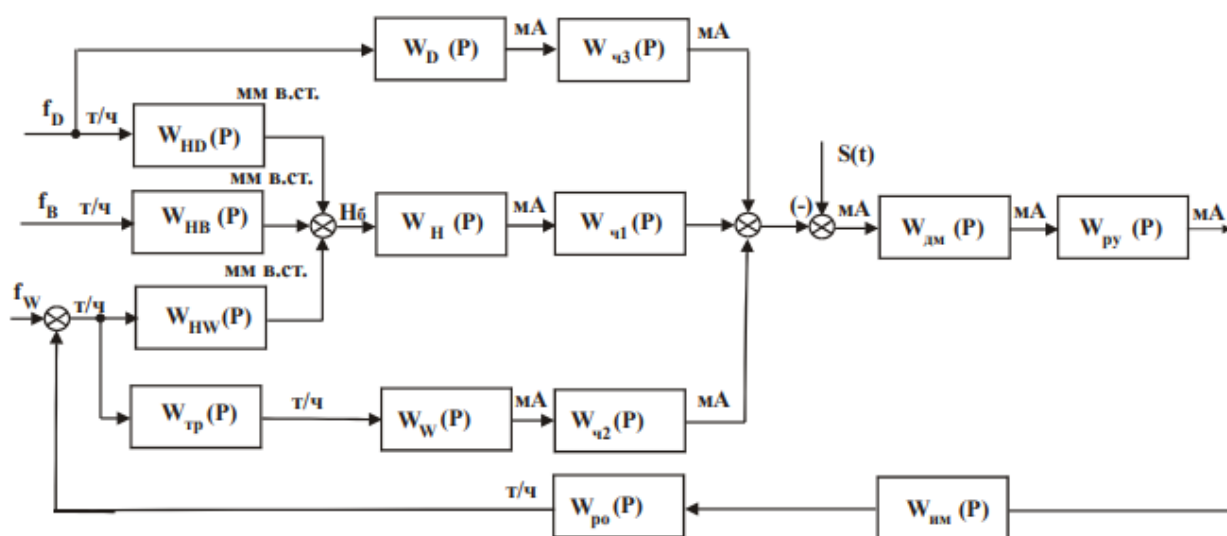


Рисунок 14– Структурная схема для расчета трехимпульсной АСР питания

7) Расчет коэффициента передачи потенциометра «чувствительность» датчика расхода питательной воды (расчет параметров настройки П-регулятора)

Структурную схему (Рисунок 14) можно преобразовать к виду, изображения на рисунке 15.

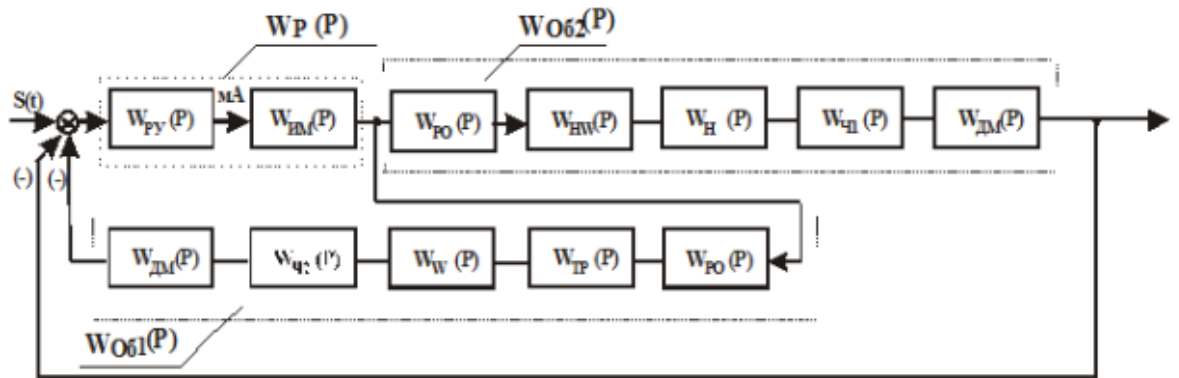


Рисунок 15 – К расчету эквивалентного П-регулятора

Согласно рисунку 15 регулятор охвачен обратной связью.

Данное соединение необходимо рассматривать как условный регулятор, описываемый передаточной функцией вида:

$$\begin{aligned}
 W_p^*(P) &= \frac{W_p(P)}{1 + W_p(P) \cdot W_{об1}(P) \cdot K_{ч2}} \\
 &= \frac{W_p(P)}{1 + W_p(P) \cdot W_{DM}(P) \cdot W_{PO}(P) \cdot W_{TP}(P) \cdot W_W(P) \cdot K_{ч2}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{W_p(P)} + W_{DM}(P) \cdot W_{PO}(P) \cdot W_{TP}(P) \cdot W_W(P) \cdot K_{ч2}}.
 \end{aligned}$$

Из передаточной функции видно, что первое слагаемое намного меньше второго, следовательно, им можно пренебречь. Тогда функция примет вид:

$$W_p^*(P) = \frac{1}{W_{DM}(P) \cdot W_{PO}(P) \cdot W_{TP}(P) \cdot W_W(P) \cdot K_{ч2}}.$$

Вводя допущение, что объекты представляют собой безынерционные звенья, а также, что коэффициенты для демпфирующего устройства и участка трубопровода равными единице, то тогда функция примет вид:

$$W_p^*(P) = K_p^* \frac{1}{K_{po}(P) \cdot K_W(P) \cdot K_{ч2}}.$$

Следовательно, при охвате ПИ-регулятора глубокой обратной связью получившееся соединение можно рассматривать как приведенный П-регулятор. Передаточная функция эквивалентного объекта имеет вид:

$$W_{об2}(P) = W_{po}(P) \cdot W_{HW}(P) \cdot W_H(P) \cdot W_{ч1}(P).$$

По передаточной функции объекта $W_{об2}(P)$ корневым методом находят параметры настройки K_p^* П – регулятора.

Определяем значение степени затухания, равное $\psi = 0,95$.

Степень колебательности в системе определяется по формуле:

$$m = \frac{-\ln(1 - \psi)}{2\pi} = 0,477.$$

Используя программу Mathcad, зададим нулевое значение частоты $\omega = 0,0001 \text{ с}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,001 \text{ с}^{-1}$. Рассчитываются расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 0,2 \text{ с}^{-1}$.

Действительная составляющая РАФЧХ:

$$Re_{об}(m, \omega) = Re(W_{об}(m, i\omega)).$$

Мнимая составляющая РАФЧХ:

$$Im_{об}(m, \omega) = Im(W_{об}(m, i\omega)).$$

Квадрат РАФЧХ объекта:

$$A_{об}(m, \omega) = Re_{об}(m, \omega)^2 + Im_{об}(m, \omega)^2$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РАФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctg\left(\frac{Im_{об}(m, \omega)^2}{Re_{об}(m, \omega)^2}\right).$$

Определение оптимального коэффициента передачи П-регулятора представлено на рисунке 16.

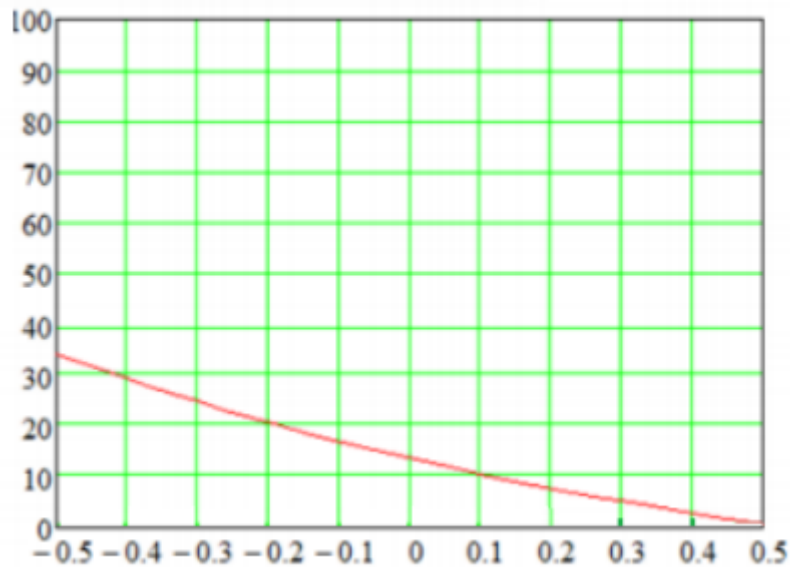


Рисунок 16 – К определению коэффициента передачи П-регулятора

$$K_p^* = 23 \left(\% \frac{\text{УП}}{\text{МА}} \right).$$

Коэффициент передачи потенциометра «чувствительность» датчика расхода питательной воды:

$$K_{ч2} = \frac{1}{K_{po} \cdot K_W \cdot K_p^*};$$

$$K_{ч2} = 0,164.$$

Коэффициент передачи потенциометра «чувствительность» датчика расхода пара:

$$K_{ч3} = \frac{K_W \cdot K_{ч2}}{K_D};$$

$$K_{ч3} = 0,164.$$

8) Расчет параметров настройки ПИ-регулятора

Структурную схему (рисунок 14) преобразуем к виду, изображенному на рисунке 17.

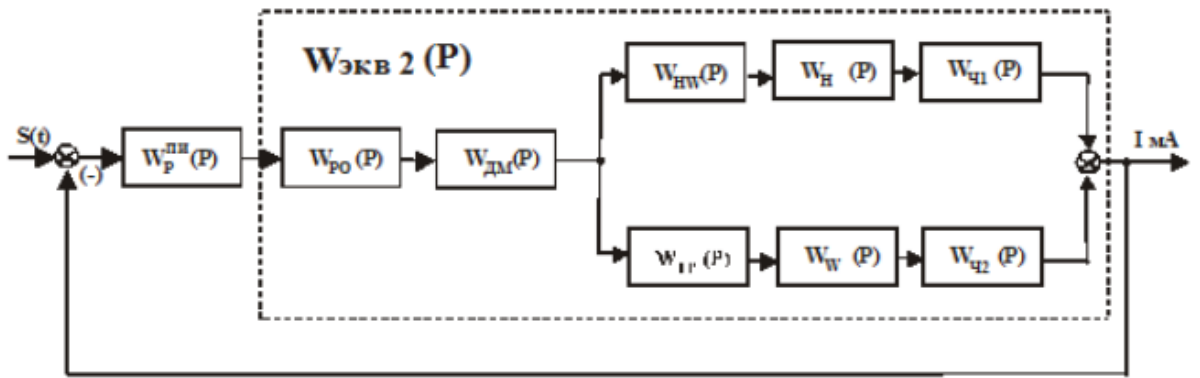


Рисунок 17 – Преобразованная структурная схема АСР питания как видно из рисунка, передаточная функция эквивалентного объекта

$W_{ЭКВ1}(P)$ запишется:

$$W_{ЭКВ1}(P) = W_{po} \cdot W_{DM} \cdot (W_{HW} \cdot W_H \cdot W_{Ч1} + W_{Тр} \cdot W_W \cdot W_{Ч2}).$$

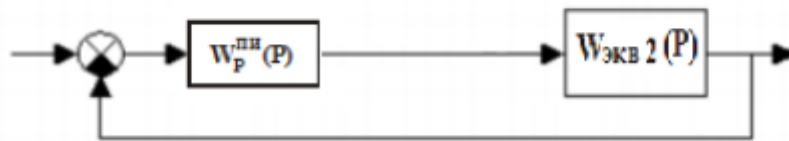


Рисунок 18 – К расчету ПИ-регулятора

РАФЧХ объекта:

$$W_{ЭКВЦ}(P) = W_{po} \cdot W_{DM}(\omega) \cdot (W_{HW}(\omega) \cdot W_H \cdot W_{Ч1} + W_{Тр}(\omega) \cdot W_W \cdot W_{Ч2}).$$

Действительная составляющая РАФЧХ:

$$Re_{об}(m, \omega) = Re(W_{об}(\omega)).$$

Мнимая составляющая РАФЧХ:

$$Im_{об}(m, \omega) = Im(W_{об}(\omega)).$$

Квадрат РАФЧХ объекта:

$$A_{об}(m, \omega) = Re_{об}(\omega)^2 + Im_{об}(\omega)^2$$

Параметры настройки ПИ-регулятора:

$$C(\omega) = \frac{-\omega(m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o6}(\omega)}{A_{o6}(\omega)};$$

$$K_p(\omega) = \frac{-m \cdot \text{Im}_{o6}(\omega) - \text{Re}_{o6}(\omega)}{A_{o6}(\omega)}.$$

Граница заданного запаса устойчивости определяется с помощью рисунка 19:

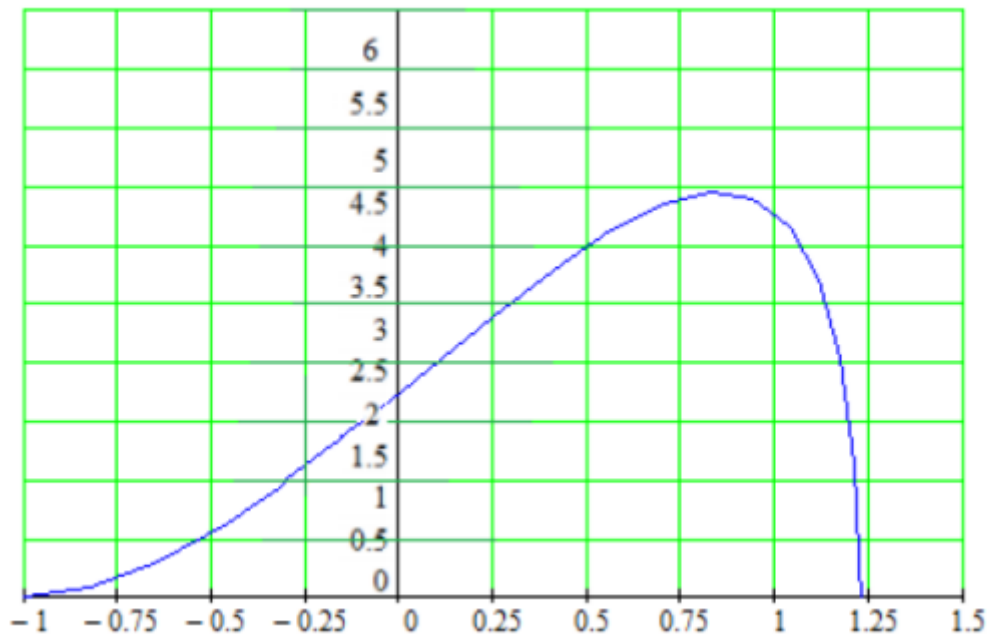


Рисунок 19 – К определению оптимального коэффициента передачи
ПИ-регулятора

$K_{\text{опт}}$ соответствует максимальному значению $C = \frac{K_p}{T_i \cdot C}$;

$K_{\text{опт}} = 95 \text{ \% УП/мА}$.

$C = 4,5 \text{ \% УП/мА}$

Время Пи – регулятора находится по формуле:

$$T_i = \frac{K_{\text{опт}}}{C};$$

$$T_i = 21,1 \text{ с.}$$

9) Расчет переходного процесса по каналу возмущающего воздействия расходом питательной воды

Структурную схему (Рисунок 14) преобразуем к виду, изображенному на рисунке 20.

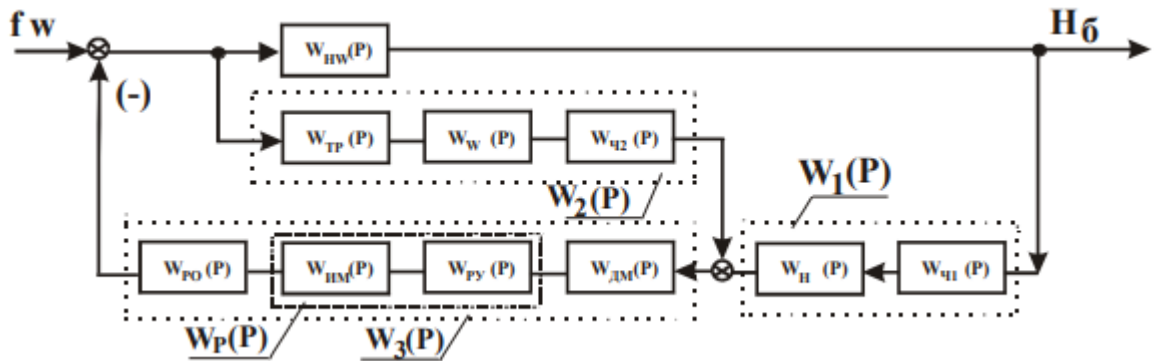


Рисунок 20 – К расчету переходной характеристики системы при возмущении расходом воды

Введем следующие обозначения:

$$W_1(P) = W_H(P) \cdot W_{ч1}(P) = K_{от} \cdot K_{дм} \cdot K_{ч1}.$$

$$W_2(P) = W_{тп}(P) \cdot W_w(P) \cdot W_{ч2}(P) = K_{тп} \cdot K_w \cdot K_{ч2}.$$

$$W_3(P) = W_{ро}(P) \cdot W_{дм}(P) \cdot W_p(P) = K_{ро} \cdot K_{дм} \cdot \left(K_p^* \cdot \frac{T_i \cdot P + 1}{T_i \cdot P} \right).$$

Структурную схему (Рисунок 20) преобразуем к виду рисунок 21.

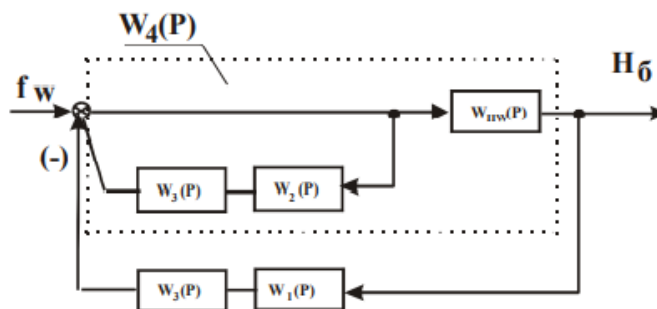


Рисунок 21 – Преобразованная структурная схема замкнутой АСР при возмущении расходом воды

Введем следующее обозначение:

$$W_4(P) = \frac{W_{HM}(P)}{1 + W_2(P) \cdot W_3(P)}$$

Формула передаточной функции замкнутой системы при возмущении расходом питательной воды, мм в. ст. /(т/ч) запишется:

$$W_{зс}^{HW}(P) = \frac{W_4(P)}{1 + W_1(P) \cdot W_3(P) \cdot W_4(P)}$$

Задаем диапазон изменения частоты, 1/с:

$$\omega = 0,001 \dots 2; P(\omega) = i \cdot \omega.$$

АФЧХ ПИ-регулятора:

$$W_p(P) = K_p^* \cdot \frac{T_i \cdot P(\omega) + 1}{T_i \cdot P(\omega)}$$

Действительная составляющая АФЧХ:

$$Re_{об}(\omega) = Re(W_{зс}(\omega)).$$

Для расчета переходного процесса необходимо сначала по АФЧХ замкнутой системы построить вещественную частотную характеристику ВЧХ, которая представлена на рисунке 22.

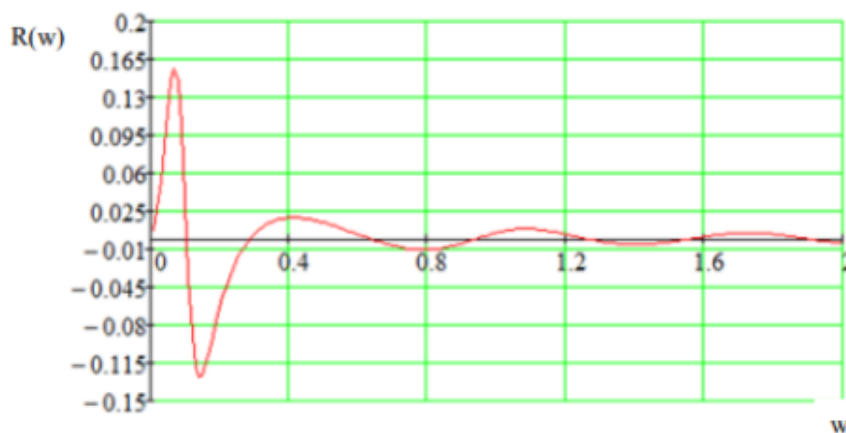


Рисунок 22– ВЧХ замкнутой системы при возмущении расходом питательной воды

Значения ординат переходного процесса, мм/(т/ч) представлены на рисунке 22.

$$h(t) = 0.673 \cdot \int_0^{1.5} Re_{o6}(\omega) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} \cdot d\omega,$$

Где $j = 0 \dots 140$. $t_j = 1 \cdot j$, $h_j = h(t_j)$.

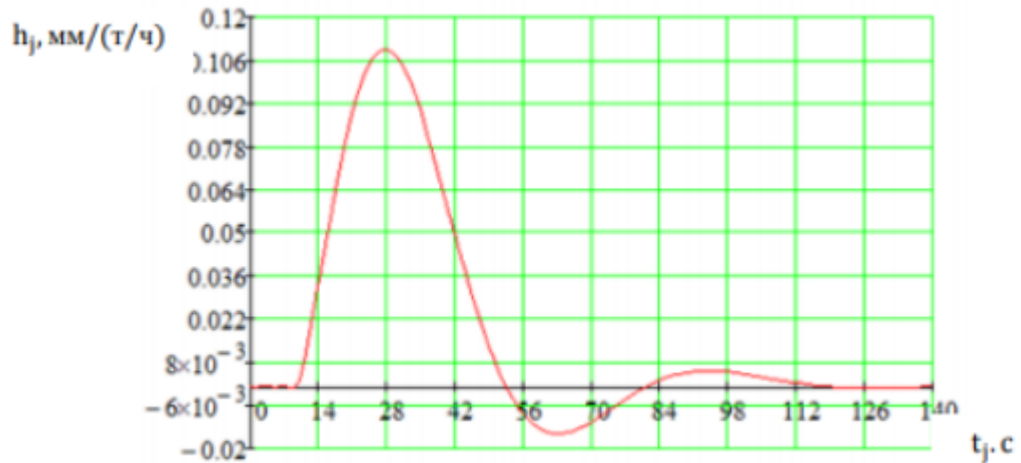


Рисунок 23 – Переходный процесс по каналу возмущающего воздействия расходом питательной воды

10) Расчет переходного процесса по каналу задающего воздействия

Структурную схему (рисунок 14) преобразуем к виду, изображенному на рисунке 24.

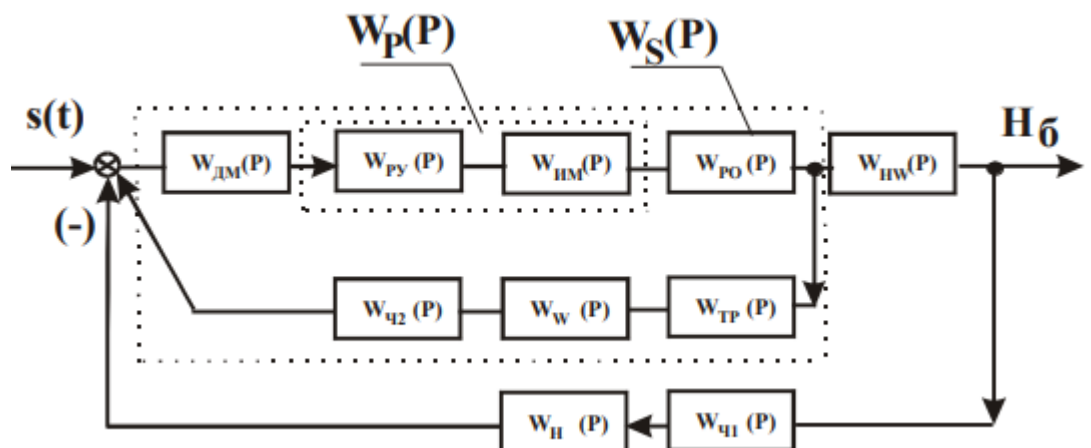


Рисунок 24 – К расчету переходного процесса по каналу задания

Задаем диапазон измерения частоты, с⁻¹:

$$\omega = 0,01 \dots 0,5; P(\omega) = i \cdot \omega.$$

Согласно рисунку, Б.13 передаточная функция внутреннего контура регулирования запишется:

$$W_S(P) = \frac{W_{po}(P) \cdot W_{DM}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{po}(P) \cdot W_{DM}(P) \cdot W_p(P) \cdot W_{Tp}(P) \cdot W_W(P) \cdot W_{ч2}(P)}$$

АФЧХ замкнутой системы по каналу «Задания-уровень», (мм в. ст./мА) выразится:

$$W_{зс}^{S-H}(P) = \frac{W_S(P) \cdot W_{HW}(P)}{1 + W_S(P) \cdot W_{HW}(P) \cdot W_H(P) \cdot W_{ч1}(P)}$$

Действительная составляющая РАФЧХ:

$$Re_{об}(\omega) = Re(W_{зс}^{S-H}(\omega)).$$

Вещественная частотная характеристика ВЧХ представлена на рисунке 15.

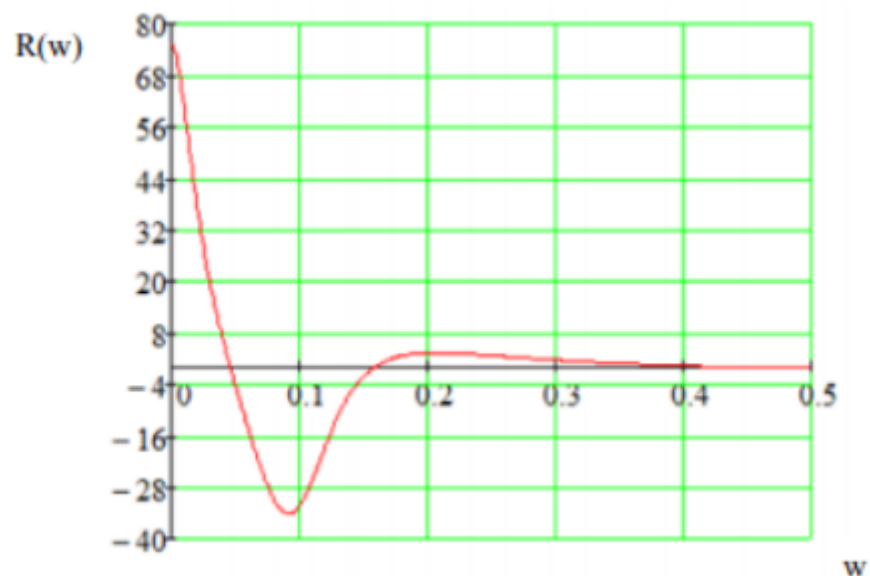


Рисунок 25 – ВЧХ замкнутой системы по каналу задающего воздействия

Значения ординат переходного процесса, мм/(мА):

$$h(t) = 0.673 \cdot \int_0^{0,4} Re_{об}(\omega) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} \cdot d\omega,$$

Где $j = 0 \dots 50$. $t_j = 4 \cdot j$, $h_j = h(t_j)$.

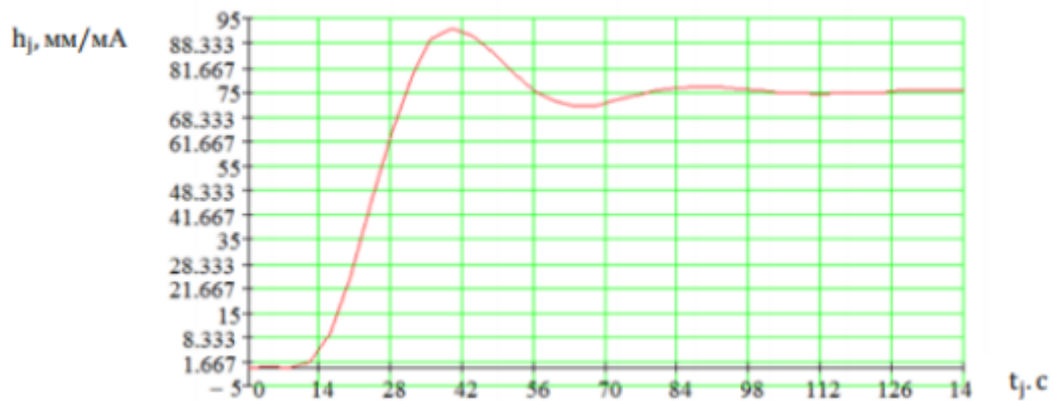


Рисунок 26 – Переходный процесс по каналу задающего воздействия

Используя график переходного процесса, определяем следующие прямые оценки качества:

1. Максимальная динамическая ошибка:

А. По каналу задающего воздействия $A_1=0,111$;

В. По каналу задания $A_1=15,8$

2. Перерегулирование по возмущению:

$$\sigma_1 = \frac{0,015 \cdot 100}{0,111} = 13,5\%$$

По заданию:

$$\sigma_1 = \frac{3,33 \cdot 100}{15,8} = 21,1\%$$

3. Степень затухания по возмущению:

$$\psi_1 = \frac{0,106 - 0,008}{0,106} = 0,92,$$

По заданию:

$$\psi_1 = \frac{17 - 01}{17} = 0,94.$$

4. Статическая ошибка по обоим каналам:

$$\varepsilon_{ст} = 1 - 1 = 0.$$

5. Время регулирования по возмущению:

$$t_{p1} = 110 \text{ с.}$$

По заданию:

$$t_{p1} = 75 \text{ с.}$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5Б8В		ФИО Сиротин Александр Олегович	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бугакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника / Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Тема ВКР:

Система линейной противоаварийной автоматики парового котла ЕП-640-545 БТ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования и области его применения. – Описание рабочей зоны при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> Противоаварийная автоматика по уровню в барабане котла Еп-640-545 БТ, энергоблок №1, Гусиноозерска ГРЭС.</p> <p><i>Область применения:</i> Энергетика</p> <p><i>Рабочая зона:</i> Производственное помещение</p> <p><i>Размеры помещения:</i> глубина 81 м. ширина 36м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Мельничные вентиляторы ВМ-18А, по два с каждой стороны. – Вдоль фронта котла расположены четыре молотковые мельницы типа ММТ 2000/2590/735 и две воздуходувки типа ТВ-80-1,6. – Для проведения ремонтных работ котельное отделение оборудовано двумя мостовым краном грузоподъемностью 50/10 т/с. Ремонтная площадка расположена со стороны постоянного и временного торцов главного корпуса I-ой очереди. <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Регулирование расхода питательной воды, регулирование расхода перегретого пара, регулирование уровня воды в барабане котла Еп-640-545 БТ. Защиты срабатывающие при понижении и повышении уровня воды выше установленных норм.</p>
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации :</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя – Федеральный закон от 24.07.1998N125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных

<p>исследования) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>заболеваний»;</p> <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения; – ТК РФ от 30.12.2001 N197-ФЗ; – ИЭ – Инструкция эксплуатации котлоагрегата ЕП-640-545 БТ – Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ» СО 153-34.20.501-2003; – «Правил техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей», РД 153-34.0-03.301-0; – «Правило о промышленной безопасности опасных производственных объектов» (Федеральный закон от 21.07.1997 No 116-ФЗ, с изменениями на 29.07.2018 г.); – «Правил пожарной безопасности для энергетических предприятий», РД 153-34.0-03.301-00; с учетом местных условий.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 3. Превышение уровня шума; 4. Повышенный уровень общей вибрации 5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего. <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: Защитные костюмы, виброизолирующие рукавицы, перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, вентиляция, защитная каска.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Атмосфера:</p> <ul style="list-style-type: none"> – антропогенные выбросы при хранении топлива. <p>Гидросфера:</p> <ul style="list-style-type: none"> – загрязнение сточных вод жидкими компонентами. – унос отходов.

	Литосфера: <ul style="list-style-type: none"> – тепловые выбросы при работе установки. – загрязнение земель бытовыми стоками.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: <ul style="list-style-type: none"> – Взрыв топлива – Понижение или повышение уровня воды – Механические повреждения труб – Нарушение водоподготовки – Прорыв топливной магистрали – Выход из строя электрических цепей и элементов автоматики – Прекращение поступления питательной воды в котел – Перепитка котла водой – Прекращение подачи топлива в топку и обрыв факела – Отключение дымососов или закрытие направляющих аппаратов – Отключение дутьевых вентиляторов или закрытие их направляющих аппаратов – Разрыв трубы в напор водянном тракте – Загорание отложений в конвективной шахте – Подрыв и неподача предохранительных клапанов – Разрыв труб пароперегревателя Наиболее типичная ЧС: <ul style="list-style-type: none"> – Понижение или повышение уровня воды – Перепитка котла водой
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Сиротин Александр Олегович		

10. Социальная ответственность

Введение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана автоматическая система регулирования (АСР) уровня воды в барабане парового котла ЕП-640-545 БТ на базе Гусиноозерской ГРЭС. Являясь одной из наиважнейших подсистем в котле, влияющей на экономичность и производительность котельной установки в целом, для повышения этих параметров, существует необходимость в точной и быстрой АСР.

Актуальность раздела обусловлена необходимостью обеспечения мер безопасности производственного персонала, в виду того, что отрасли промышленности всегда связаны с риском для жизни сотрудников.

Рабочим процессом является автоматическая система регулирования уровня воды в барабане котла.

Рабочая зона представляет собой помещение 81х36 метров, которое включает в себя следующие оборудование: мельничные вентиляторы ВМ-18А, по два с каждой стороны. Вдоль фронта котла расположены четыре молотковые мельницы типа ММТ 2000/2590/735 и две воздуходувки типа ТВ-80-1,6.

Для проведения ремонтных работ котельное отделение оборудовано двумя мостовым краном грузоподъемностью 50/10 т/с. Ремонтная площадка расположена со стороны постоянного и временного торцов главного корпуса I-ой очереди.

10.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

10.1.1. Правовые нормы трудового законодательства

К категории опасных производственных объектов относится площадка главного корпуса ГРЭС, где и находится разработанная система.

III класса опасности - для опасных производственных объектов, осуществляющих теплоснабжение населения и социально значимых категорий потребителей, определяемых в соответствии с законодательством Российской Федерации в сфере теплоснабжения, а также иных опасных производственных объектов, на которых применяется оборудование, работающее под избыточным давлением 1,6 мегапаскаля и более (за исключением оборудования автозаправочных станций, предназначенных для заправки транспортных средств природным газом) или при температуре рабочей среды 250 градусов Цельсия и более

По результатам специальной оценки условий труда рабочее место оператора может относиться к вредным условиям труда. Согласно источнику [1] каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;
- отказаться от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев,

предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- получить средства индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- обучаться безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

- на профессиональную переподготовку за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения требований охраны труда;

- лично или через своих представителей участвовать в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

- на внеочередной медицинский осмотр (обследование) за счет работодателя в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра (обследования);

- доплата за работу во вредных/опасных условиях – минимум 4% от тарифной ставки (оклада), действующей для работ с нормальными условиями труда;

- сокращенная продолжительность работы (рабочая неделя – не более 36 часов, рабочий день (смена) – максимум 8 часов при 36-часовой рабочей неделе, максимум 6 часов при 30-часовой рабочей неделе) для работников, занятых на работах с подклассом вредности 3.3 и 3.4 и на опасных работах;

- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск сроком не меньше 7 календарных дней для работников, занятых на работах с подклассом вредности 3.2, 3.3 и 3.4 или на опасных работах;

- выдача молока и других равноценных пищевых продуктов либо лечебно-профилактического питания по установленным нормам;

Для допуска на работу инженера по автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП) требуются лица, имеющие высшее профессиональное (техническое) образование без предъявления требований к стажу работы либо среднее профессиональное (техническое) образование и стаж работы в должности техника I категории не менее 3 лет или на других должностях, замещаемых специалистами со средним профессиональным (техническим) образованием, не менее 5 лет [2].

Для оператора также требуется опыт работы не менее одного года работы в должности оператора линии загрузки-выгрузки. В качестве особых 67 условий для допуска к работе оператора необходимо прохождение инструктажа по охране труда, а также обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров в порядке, установленном законодательством Российской Федерации [2].

10.1.2. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны оператора:

- возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования;
- обеспечивать необходимые зрительные и звуковые связи между оператором и оборудованием;
- предусмотрены необходимые средства защиты человека-оператора от воздействия опасных и вредных факторов, а также условия для экстренного ухода человека-оператора с рабочего места;

– взаимное расположение пульта управления, кресла, органов управления и средств отображения информации должно производиться в соответствии с антропометрическими показателями, структурой деятельности, психофизиологическими и биомеханическими характеристиками человека-оператора.

10.2. Производственная безопасность

Для выявления потенциально вредных и опасных факторов, обращаемся к ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [9].

В таблице 18 приведены опасные и вредные факторы при эксплуатации автоматической системы управления питания парового котла водой.

Таблица 18 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АСУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Нормативные документы
1. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристиками шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. ШУМ. Общие требования безопасности.
2. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
11. Повышенный уровень электромагнитных излучений.	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

Продолжение таблицы 18

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Нормативные документы
4. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
5. Повышенный уровень общей вибрации	ГОСТ 31191.1-2004 Измерение общей вибрации и оценка её воздействия на человека. ГОСТ 12.1.012 2004 Вибрационная безопасность
6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

1) Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристиками шума

В производственных условиях источниками шума является работающие станки и механизмы, ручные механические инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во многом обусловленная индивидуальными особенностями человека.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблице 19

Таблица 19 – Предельно допустимые уровни шума на рабочих местах для трудовой деятельности [10].

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса
	легкая физическая нагрузка
Напряженность легкой степени	80

В общем случае по защите от шума на рабочих местах промышленных предприятий: рациональное с акустической точки зрения решение генерального плана промышленного объекта и рациональное объемно-планировочное решение производственных зданий, ограждающих конструкций зданий с требуемой звукоизоляцией, звукопоглощающих конструкций (звукопоглощающих облицовок, кулис, штучных поглотителей), звукоизолирующих кожухов на шумных агрегатах.

2) Отклонение параметров микроклимата

Микроклимат помещения оказывает прямое влияние на состояние здоровья работника: низкие температуры в рабочей зоне могут привести к простудным заболеваниям и переохлаждениям, а высокие – к неудовлетворительному состоянию работников. Работа оператора в данном объекте относится к классу легких работ.

Для снижения воздействий от недостаточных показателей микроклимата предлагается постоянное контролирование температуры на рабочем месте совместно с дополнительными устройствами регулирования микроклимата (увлажнение воздуха, система вентиляции и т.п.) [11].

Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте должны соответствовать величинам, приведённым в таблице 20. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведены, а таблице 21.

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С
Холодный	Iб (140 - 174)	20-22
Теплый	Iб (140 - 174)	23-25
Период года	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	45-30	0,2
Теплый	60-30	0,15

Таблица 21 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ поуровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин	
Холодный	Iб(140-174)	19-20,9	23,1-24	
Теплый	Iб(140-174)	20-21,9	24,1-28	
Период года	Скорость движения воздуха, м/с		Относительная влажность воздуха, %	Температура поверхностей, °С
	Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин		
Холодный	0,1	0,2	15-75	18-25
Теплый	01	03	15-75	19-29

3) Повышенный уровень электромагнитного излучения

Длительное воздействие электромагнитного поля промышленной частоты может вызвать нарушения нервной и сердечно-сосудистой систем, выражающиеся в повышенной утомляемости, сильных болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса. Источниками могут служить расположенные на станции электроустановки (линии электропередач, трансформаторы, электромагниты, электродвигатели), установленные в кабине оператора устройства (щиты автоматизации, персональные компьютеры) и прочее.

Для снижения воздействий от электромагнитных излучений предлагается установка специальных приборов, нейтрализующих электромагнитное излучение совместно на рациональном удалении АРМ от источников.

Таблица 22 – Предельно допустимые значения напряженностей электрического и магнитного полей [14].

Параметр	Предельные значения в диапазонах частот, МГц		
	От 0,06 до 3	св. 3 до 30	св. 30 до 300
Напряженность электрического поля	500	300	80
Напряженность магнитного поля	50	-	-

4) Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения

Освещенность рабочего места напрямую зависит на качество работы и на здоровье операторы. Основное предназначение освещения в рабочей зоне приводит к снижению утомляемости органов зрения, предотвращению профессиональных заболеваний, а также повышению эффективности труда и качества работы.

Для предотвращения недостаточной освещенности рабочего места предлагается установка современных ламп освещения, а также постоянное контролирование показаний освещенности. Если лампы не соответствуют необходимым показателям, то производится светотехнический перерасчет.

Таблица 23 - Требования к освещению помещений промышленных предприятий [13].

Характеристика зрительной работы	Разряд зрительной работы	Под-разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение	
					Освещенность, лк	
					При системе комбинированного освещения	При системе общего освещения
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное; Периодическое при постоянном пребывании людей в помещении, в то же, при периодическом; Общее наблюдение за инженерными коммуникациями	VIII	а	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	-	-	200
		б	То же	-	-	75
		в	“	-	-	50
		г	“	-	-	20

5) Повышенный уровень общей вибрации

Источников общей вибрации являются вращающиеся механизмы – дымосос, вентиляторы и насосы, а также работающий котел. Вибрация возникает как при плохом центрировании и разбалансировке вращающихся механизмов, так и в случае правильной балансировки.

В основном воздействию подвергаются поясничный отдел позвоночника и связанные с ним нервные окончания. Дополнительно эффект может быть усилен нарушением обмена веществ и другими заболеваниями, природой которых являются упомянутые воздействия. Иногда считают, что условия, в которых происходит воздействие вибрации, такие как неудобная поза, низкая температура и сквозняки, способны усиливать чувство мышечной боли.

В качестве основных мер против повышения вибрации рекомендуется соблюдать следующие правила:

- проектирование рабочих мест с учетом максимального снижения вибрации;
- использование машин с меньшей виброактивностью;
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению вибрации и воздействию ее на человека;
- оптимальное размещение виброактивных машин, минимизирующее вибрацию на рабочем месте:
 - создание условий труда, при которых вредное воздействие вибрации не усугубляется наличием других неблагоприятных факторов (ГОСТ 31192.1);
 - использование в качестве рабочих виброопасных профессий лиц, не имеющих медицинских противопоказаний, и обеспечение прохождения ими регулярных медицинских обследований

б) Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током

Действие электрического тока на организм человека может быть тепловым (ожоги), механическим (разрыв тканей), химическим и биологическим (нарушение функций нервной системы).

Для снижения потенциальных токовых воздействий предлагается использование низковольтных и низкотоковых устройств, а также средств индивидуальной защиты от воздействия тока [12].

Таблица 24– Значения напряжений прикосновений и токов

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

10.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды – это привнесение в окружающую среду или возникновение новых физических, химических или биологических агентов (загрязнителей).

1) Защита атмосферы

Паровой котел, как сложная динамическая система, в значительной степени может загрязнять атмосферу газообразными выбросами. Для их снижения планируются следующие мероприятия:

- использование систем фильтрации и очистки выходящих дымовых газов;
- замена основного вида топлива.

2) Защита гидросферы

Весь технологический процесс на ГРЭС может оказать негативное влияние на водооборот из-за сливания плохо очищенной воды в природу. Поэтому предлагаются следующие мероприятия:

– установка дополнительных очистительных приспособлений.

3) Защита литосферы

Паровой котел, как сложная динамическая система, в значительной степени может загрязнять литосферу твердыми частицами прогоревшего топлива, сажи и золы. Для их снижения планируются следующие мероприятия:

- установка золо- и сажееулавливающих установок;
- установка фильтрующих установок;
- установка газоанализаторов.

Мероприятия по предотвращению загрязнения земель бытовыми стоками:

- Предоставление отдельных водоемов, водотоков или их участков в обособленное водопользование для конкретных производственных целей, для охлаждения подогретых вод (пруды - охладители)

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее характерной чрезвычайной ситуацией для данной системы является: понижение или повышение уровня воды, перепитка котла водой.

Понижение (Упуск) уровня воды ниже допустимых пределов, может привести к нарушению циркуляции в экранных трубах и как следствие пережогу труб. При значительном повышении уровня(Перепитка) в барабане возможен захват частиц воды паром, вынос её в пароперегреватель и

турбину, что вызывает занос пароперегревателя и турбины солями и ведет к их разрушению.

Рекомендуемые мероприятия для предотвращения данной ЧС при понижении(Упуск):

- Прекратить подачу топлива
- Прекратить вентиляцию топки путём остановки дымососа и вентилятора
- Если производилась продувка, - прекратить её
- Прекратить питание котла, закрыв вентиль на питательной линии
- Закрывать парозапорную арматуру котла.

При повышении уровня воды (Перепитка):

- проверить правильность работы сниженных указателей уровня путем сверки их показаний с водомерными колонками,
- отключить авторегулятор питания и дистанционно уменьшить поступление воды в котел, руководствуясь показаниями водомера,
- если дистанционно уменьшить поступление воды в котел не удастся, необходимо произвести это вручную маховиком КДУ.
- после восстановления нормального уровня воды питание котла следует перевести на резервную питательную линию, для чего по мере открытия регулирующего питательного клапана резервной линии регулирующая задвижка линии закрывается, при этом уровень в котле должен поддерживаться нормальным,
- после перехода на резервную питательную линию включить автомат питания,
- если к моменту повышения уровня воды в котле резервная линия не находилась под давлением, регулирование питания котла водой должно производиться регулирующей задвижкой до ввода в работу резервной питательной линии. В противном случае регулирование питания котла водой

производить вручную за маховик до ввода в работу резервной питательной линии, ориентируясь на показания сниженных указателей уровня, паромера водомера,

– при ручном регулировании питания котла водой за маховик колонки или регулирующей задвижкой нагрузка на котле должна поддерживаться постоянной.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

Рассмотрим категорию помещения – Г, а именно котельную. Необходимое количество огнетушителей определяется согласно суммарной площади помещения.

Классы возможных пожаров:

В – горение жидкостей и плавящихся материалов;

С – горение газов.

Таблица 25 – Нормы оснащения помещения огнетушителями

Класс пожара	Огнетушители			
	Пенные и водные огнетушители	Порошковые огнетушители	Хладоновые огнетушители	Углекислотные
В	2	-	-	-
С	-	4	-	-

Порядок действия в результате возникновения пожара:

а) при возникновении пожара на объекте первый заметивший очаг пожара должен немедленно сообщить начальнику смены энергообъекта или руководству энергопредприятия, а при наличии связи - в пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;

б) начальник смены энергообъекта обязан немедленно сообщить о пожаре в пожарную охрану, руководству энергопредприятия и диспетчеру энергосистемы;

в) до прибытия подразделений ГПС МВД России руководителем тушения пожара является начальник смены энергообъекта;

г) отключение оборудования в зоне пожара производится дежурным персоналом энергопредприятия по распоряжению начальника смены энергообъекта;

д) после прибытия на место пожара первого подразделения ГПС МВД России руководителем тушения пожара является старший начальник этого подразделения;

е) решение о подаче огнетушащих средств принимается руководителем тушения пожара после проведения инструктажа и выполнения необходимых мер безопасности;

ж) руководитель тушения пожара имеет право приступить к тушению энергооборудования под напряжением только после получения письменного допуска на тушение от начальника смены энергообъекта.

Вывод по разделу

В разделе Социальная ответственность были рассмотрены и проанализированы вопросы, обуславливающие социальную ответственность для разработанной автоматической системы регулирования. 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.

Стоит упомянуть, что все вышеперечисленные меры безопасности имеют практическую значимость и на данный момент успешно реализуются, поэтому полностью выполняется условие соответствия фактических значений потенциально возможных факторов нормативным значениям.

Оператор АСУ должен иметь III группу по электробезопасности. Допуск персонала с III группой подразделяется на работу с сетями до и выше 1000 В, а также дает право единоличного обслуживания, осмотра, подключения и отключения электроустановок от сети.

Тяжесть труда, согласно СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» относится к категории 1б.

Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение относится к Г категории.

По воздействию на окружающую среды объект исследования относится ко 2 категории.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Сиротин Александр Олегович

Школа	ИШЭ	Отделение Школа	НОЦ И.Н Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Сиротин Александр Олегович		28.02.22

11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Целью раздела является анализ финансово-экономических аспектов разработанной автоматической системы регулирования уровня воды в барабане котла ЕП-640-13.8-545БТ на базе Гусиноозерской ГРЭС. Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- определение потенциальных потребителей исследования;
- анализ конкурентов;
- определение структуры работ, сколько времени и финансовых средств необходимо для достижения поставленной цели;
- определение ресурсоэффективности исследования.

11.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

11.1.1. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [37].

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, обеспечивающие процесс регулирования уровня в барабане котла.

- одноимпульсная система регулирования. Система реагирует только на показания уровня.

– двухимпульсная. Система реагирует на показания уровня и расхода пара.

– трехимпульсная. Система реагирует на все входящие сигналы: уровень воды, расхода пара и воды.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 26. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 26, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная

Таблица 26 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б1	Б2	Б3	К1	К2	К3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Динамическая точность	0,1	2	4	5	0,2	0,4	0,5
2. Простота эксплуатации	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Надежность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
4. Качество регулирования	0,2	2	3	5	0,4	0,4	1
5. Простота наладки	0,05	5	4	3	0,25	0,25	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4

Продолжение таблицы 26

3. Стоимость обслуживания	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Итого	1	32	31	30	3,8	3,8	3,9

Анализ конкретных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$\begin{aligned} K_1 &= \sum B_i * B_i \\ &= 0,1 * 2 + 0,1 * 5 + 0,2 * 4 + 0,2 * 2 + 0,05 * 5 + 0,2 * 5 \\ &\quad + 0,1 * 4 + 0,05 * 5 = 3,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2 &= \sum B_i * B_i \\ &= 0,1 * 4 + 0,1 * 4 + 0,2 * 4 + 0,2 * 3 + 0,05 * 4 + 0,2 * 4 \\ &\quad + 0,1 * 4 + 0,05 * 4 = 3,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_3 &= \sum B_i * B_i \\ &= 0,1 * 5 + 0,1 * 3 + 0,2 * 3 + 0,2 * 5 + 0,05 * 3 + 0,2 * 3 \\ &\quad + 0,1 * 4 + 0,05 * 3 = 3,9 \end{aligned}$$

Анализируя полученные результаты, делается выбор в пользу технического решения под номером 3, являющейся наиболее конкурентоспособным. Несмотря на большую стоимость, данная разработка является самой качественной и точной, имея возможность поддерживать постоянное заданное значение с минимальными погрешностями и отклонениями.

В данной работе используется разработка под номером 3. Далее будет рассматриваться только она.

11.2. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках выпускной квалифицированной работы

Таблица 27 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Ориентированность системы на объекты энергетики, использующие барабанные котлы средней мощности.</p> <p>С2. Использование современных компонентов системы.</p> <p>С3. Высокая надежность системы.</p> <p>С4. Большой срок эксплуатации.</p> <p>С5. Высокая точность регулирования.</p>	<p>Сл1. Необходимость контроллеров, предназначенных для систем средней степени сложности.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость.</p> <p>Сл3. Потребность в высококвалифицированном персонале.</p> <p>Сл4. Привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации.</p>

Продолжение таблицы 27

<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность внедрения на другие станции и, как следствие, появление большего спроса на продукцию.</p> <p>В2. Высокий интерес инвесторов к новым разработкам.</p>	<p>1. Вариативность использования, а также повышенные технические и эксплуатационные характеристики позволяют увеличить масштаб установки данной разработки.</p> <p>2. При должной финансовой поддержке появляется возможность разработать альтернативные и менее дорогие системы, имеющие аналогичные характеристики.</p>	<p>1. Распространение данных систем может привести к повышению требований при приеме работников на работу при неизменном качестве работы АСР.</p> <p>2. Благодаря высокому интересу инвесторов можно снизить затраты на покупку необходимого оборудования.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Повышение стоимости на компоненты системы.</p> <p>У2. Появление новых проектных решений.</p>	<p>1. Использование отечественного оборудования и наработок с сохранением технических и надежностных характеристик.</p> <p>2. Необходимость повышать производительность и снижать затраты на систему для сохранения позиций.</p>	<p>1. Из-за повышенного ценообразования на современные компоненты, а также нестабильного курса рубля, система может стать нецелесообразной.</p> <p>2. Из-за повышенных требований система может стать нецелесообразной</p>

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 28–29.

Таблица 28 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	-	-	+	+	+

Таблица 29 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	+	+
	B2	-	+	-	-

Таблица 30 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	+	+	+
	У2	+	+	-	-	-

Таблица 31 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	0
	У2	-	-	-	-

По результатам анализа сделаны выводы по разработке данной системы, к сильным сторонам относятся: высокая точность регулирования, большой срок эксплуатации и надёжность системы. Данный проект содержит современные и отлично зарекомендовавшие себя проектные решения, которые будут актуальны на протяжении долгого времени. Что касается слабых сторон, связаны они в первую очередь со сложностью монтажа, а также система каждый год все больше исследуется, разрабатываются новые экспериментальные подходы и методики, которые могут стать дешевле и более надёжны и как следствие быть конкурентом для данной системы.

11.3. Планирование научно-исследовательских работ

11.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 32.

Таблица 32 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Руководитель НР
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Исполнитель, руководитель НР
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Исполнитель
	4	Выбор методов исследования	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Исполнитель, Руководитель НР
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Исполнитель
	7	Проведение эксперимента	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Исполнитель
	9	Оценка правильности полученных результатов	Исполнитель, руководитель НР
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Исполнитель

11.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

В данном разделе определена трудоемкость работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 33.

Таблица 33 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожид}$, чел-дни			
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения НИР	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4

Продолжение таблицы 33

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9

Продолжение таблицы 33

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	10,2	69	68,5	102

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 34).

Таблица 34 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	■													
2	Календарное планирование выполнения НИР	Исп1 Исп2	4	■													
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		■												
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			■											
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			■											
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				■										
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					■									
8	Обработка полученных данных	Исп2	18							■							
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5									■					
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13										■				

■ – Исп. 1 (научный руководитель), ■ – Исп. 2 (инженер)

11.4. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);

- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

11.4.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты – это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Таблица 35 – Материальные затраты

Наименование статей	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	4	340	1200
Картридж для лазерного принтера	1	3490	3490
Итого			4690

11.4.2. Расчет амортизации специального оборудования

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался персональный компьютер.

Таблица 36 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
---------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	------------------------------------

Продолжение таблицы 36

Персональный компьютер	1	3	50000	50000
Итого				50000

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для персонального компьютера, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 50000}{12} \cdot 3 = 4125 \text{ руб.}$$

11.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_0 – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_0) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_0) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 37 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 38 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}, руб$	k_{np}	k_{∂}	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{\partial}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	68,5	119402,4
Итого:								148391

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\partial} = k_{\partial} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{\partial} = k_{\partial} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 119402,4 = 17910,4 \text{ руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

11.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (28988,6 + 4348,3) = 10001,1 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (119402,4 + 17910,4) = 41193,8 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

11.4.5. Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 39 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов

Продолжение таблицы 39

Статьи					
1	2	3	4	5	6
4125	4690	148391	22258,7	51194,9	276534

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости по форме, приведенной в таблице 40. Также, в таблице представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 40 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	4690	3517,5	12194	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	4125	55000	103500	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148391	148391	148391	Пункт 4.2.3.3

Продолжение таблицы 40

Наименование статьи		Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22258,7	22258,7	22258,7	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	51194,9	51194,9	51194,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	49776,6	49776,6	49776,6	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		326310,6	330138,7	387315,2	Сумма ст. 1-6

11.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{мах}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{мах}}$ – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 326310,6$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 330138,7$ руб, $\Phi_{\text{исп.3}} = 387315,2$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{326310,6}{387315,2} = 0,84;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{330138,7}{387315,2} = 0,84;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{387315,2}{387315,2} = 1;$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 41).

Таблица 41 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,2	5	3	4
4. Механические свойства	0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} ;$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,84} = 5,54, I_{исп.2} = \frac{3,8}{0,85} = 4,47, I_{исп.3} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 42).

Таблица 42 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	0,85	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	5,54	4,47	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей.

Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней.

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 326310,6 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,84, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,54, по сравнению с 4,47 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Заключение

В ходе выполнения работы был произведен анализ объекта автоматизации, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации, а также произведен выбор оптимальных вариантов.

Была спроектирована автоматическая система контроля и регулирования уровня воды в барабане парового котла на базе современных технических средств.

Было произведено экспериментальное определение динамических и статических характеристик объекта управления и рассмотрен корневой метод параметрического синтеза с использованием РАФЧХ. Для заданной степени затухания ($\psi = 0,85$) переходного процесса в системе были выбраны оптимальные настройки для регулятора, согласно второму интегральному критерию.

- Полученные оценки качества:
- максимальная динамическая ошибка: $A_2 = 15,8$.
- перерегулирование: $\sigma = 21,1 \%$;
- степень затухания переходного процесса: $\psi = 0,94$;
- статическая ошибка: $\varepsilon_{СТ} = 0$;
- время регулирования: $t_p = 75 \text{ с}$.

Оценка качества регулирования показала, что выбранные настройки регулятора позволяют достичь требуемого показателя качества.

Список использованных источников

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021).
2. Приказ Минздравсоцразвития России от 10.12.2009 N 977 (ред. от 12.02.2014) "Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел "Квалификационные характеристики должностей работников организаций атомной энергетики".
3. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.
4. ГОСТ 21480-76 «Система "человек-машина". Мнемосхемы. Общие эргономические требования».
5. ГОСТ 22269-76 «Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования».
6. ГОСТ 23000-78 «Система "человек-машина". Пульты управления. Общие эргономические требования»
7. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора»
8. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.
9. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> свободный. – Загл. с экрана.

10. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки

11. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

12. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

13. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

14. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

15. ГОСТ Р 54906-2012. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093401>.

16. ФЗ от 24.06.1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591>

17. СП 486.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/566348486>

18. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы

пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/566249686>.

19. Мануйлов П.И. Автоматизация тепловых процессов на электростанциях. 2-е, переработ. и доп., М.-Л., Госэнергоиздат, 1961
20. 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.
21. Автоматизация технологических процессов и производств промышленной теплоэнергетики: Письменные лекции для студентов специальности 220301 – «Автоматизация технологических процессов и производств». Томск, ТПУ 2012. – 180 с.
22. Диафрагмы для расходомеров- Каталог - Электронная редакция б- Челябинск, 2016, 265с.
23. Программируемые контроллеры S7-300- Руководство к эксплуатации - Электронная редакция - М., 2015, 176 с.
24. Программируемый логический контроллер Овен ПЛК210- Руководство к эксплуатации - Электронная редакция- М., 2018, 56 с.
25. Программируемый логический контроллер ЭлеСи ТМК - Руководство к эксплуатации - Электронная редакция- М., 2020, 37 с.
26. Программируемые контроллеры S7-300. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
27. Модули центральных процессоров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
28. Модули питания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
29. Аналоговый модуль ввода SM 331. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ste.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

30. Модули ввода-вывода аналоговых сигналов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/>, свободный. – Загл. с экрана.

31. Электроприводы “АБС Электро”- Каталог - Электронная редакция- Чебоксары, 2018, 112 с.

32. Межгосударственный стандарт. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200108005>, свободный. – Загл. с экрана.

33. Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Синтез автоматизированных систем управления технологическими процессами» для студентов направления 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника.