TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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 Н.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматическая система контроля и управления питания водой парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС - 2

УДК 681.518.2:621.621.311.22:183.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Даниленко Захар Максимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кац Марк Давыдович	к.ф.-м. н.		

Консультанты по разделам

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

ДОПУСТИТЬ ДО ЗАЩИТЫ:

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

Томск – 2021 г.

Запланированные результаты обучения

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Р1	Способен применять принципы системного мышления и подхода к решению профессиональных задач в теплоэнергетике, осуществлять поиск необходимой информации и применять при ее синтезе методику критического и логически правильного мышления	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р2	Формулировать задачи в области теплоэнергетики и теплотехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р4	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р5	Умеет толерантно воспринимать специфику межкультурного разнообразия с соблюдением этических норм и учетом социально-исторического и философского контекста	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством»,

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р6	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р7	Поддерживать уровень физической подготовки, обеспечивающий полноценную социальную и профессиональную деятельность	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р8	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р9	Применять знания о методах защиты в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций, навыки оказания первой помощи	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р10	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р11	Способен применять математические, естественнонаучные, инженерные знания, компьютерные технологии, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач расчета тепловых процессов, оборудования и систем автоматизации в промышленных и энергетических установках	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р12	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р13	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач, владеть навыками выполнения специальных расчетов, разработки проектной и конструкторской документации при проектировании теплоэнергетического оборудования и построении АСУ ТП	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-2), CDIO Syllabus (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.015 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р14	Способен выполнять предпроектное обследование объектов проектирования, разработку эскизных проектов и предварительной технико-экономическое обоснование для теплового оборудования, объектов теплоэнергетики и автоматизированных систем	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-3), *CDIO Syllabus* (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р15	Способен применять знания методов и средств автоматизации и контроля параметров, навыков выполнения измерений, а также теоретических основ метрологии и стандартизации при осуществлении контроля параметров технологических процессов и показателей качества рабочего тела и при организации метрологического обеспечения технологических процессов в теплоэнергетике	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р16	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия для объектов теплоэнергетики	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
Р17	Способен применять знания физико-химических, технологических процессов и технических условий производства на тепловых и атомных электрических станциях, демонстрировать знания назначения и принципов работы микропроцессорных устройств, технологических защит и блокировок в процессе ввода и эксплуатации АСУ технологическими процессами	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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
_____ _____ Ю.К. Атрошенко
(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
5Б7В	Даниленко Захар Максимович

Тема работы:

Автоматическая система контроля и управления питания водой парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС - 2	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Публикации с достижениями в области создания и использования АСР питания водой барабанного парогенератора. 2. Требования к системе контроля и управления питания водой парогенератора: - двухуровневая система; - на основе микропроцессорной техники; - обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 0,85.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Аналитический обзор по литературным источникам (технология объекта, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации). Выбор оптимальных вариантов. 2. Проектирование автоматической системы контроля и регулирования питания водой парогенератора на базе современных технических средств.

	3. Экспериментальное определение динамических и статических характеристик объекта управления; параметрический синтез системы управления (расчет ОПН регулятора, построение переходных процессов по каналу возмущения о стороны РО и задания оценка качества переходных процессов). 4. Исследование влияющих факторов на качество переходных процессов на модели объекта. 5. Разработка мнемосхемы для АСУ питания водой парогенератора. 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1. Схема функциональная. 2. Схема принципиальная электрическая щита управления. 3. Схема монтажная. 4. Общий вид щита управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	
Социальная ответственность	

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.12.20

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кац М.Д.	к.ф.-м. н.		01.12.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Даниленко Захар Максимович		01.12.20

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 119 с., 43 рисунка, 43 таблицы, 52 источника, 15 л. графического материала.

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

Цель работы – разработка АСР питания водой парового 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 регулятор и получены прямые оценки качества, разработано программное обеспечение среднего и верхнего уровня, проведена оценка коммерческой ценности проекта, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Оглавление

Введение 11
1 Анализ объекта автоматизации 12
1.1 Сведения о ГРЭС 2. Назначение и технические характеристики 12
1.2 Технологическая схема объекта автоматизации и назначение его отдельных элементов 13
1.3 Автоматическое регулирование барабанного парогенератора. Котельный агрегат как объект регулирования 15
2 Выбор структуры автоматической системы регулирования 17
2.1 Обзор и выбор методов регулирования уровня воды в барабане котла. 17
2.1.1 Одноимпульсное регулирование 18
2.1.2 Двухимпульсное регулирование 19
2.1.3 Трехимпульсное регулирование 20
3 Составление функциональной схемы системы теплотехнического контроля 23
3.1 Объем технологических измерений 23
3.2 Составление функциональной схемы системы теплотехнического контроля 24
4 Выбор технических средств измерений технологических параметров 25
4.1 Выбор преобразователя для измерения расхода 25
4.2 Выбор преобразователя для измерения уровня 27
4.3 Выбор программируемого логического контроллера 28
4.4 Выбор исполнительного механизма 33
4.5 Выбор пускового устройства механизма 34
5 Разработка принципиальной электрической схемы АСР питания парового котла 34
6 Разработка монтажной схемы АСР 37
7 Разработка общего щита управления 39
8 Расчет АСР питания 39
8.1 Расчет статических характеристик элементов системы 39
8.2Расчет динамических характеристик элементов системы 40
9 Разработка мнемосхемы рабочего места оператора 42
9.1 Разработка прикладного ПО среднего и верхнего уровней АСУ ТП 42
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 45
Введение 45

10.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 45
10.1.1Потенциальные потребители результатов исследования 45
10.1.2 Анализ конкурентных технических решений 45
10.1.3 SWOT-анализ 47
10.2 Планирование научно-исследовательских работ 49
10.2.1 Структура работ в рамках научного исследования 49
10.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ 50
10.2.3 Разработка графика проведения научного исследования 52
10.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 54
10.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ 54
10.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы 55
10.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы 57
10.3.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 57
10.3.5 Услуги сторонних организаций 58
10.3.6 Накладные расходы 58
10.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта 59
10.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 60
10.4.1 Определение интегрального показателя ресурсоэффективности 60
Вывод по разделу 62
11 Социальная ответственность 65
Введение 65
11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 65
11.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства 65
11.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 67
11.2 Производственная безопасность 68
11.2.1 Анализ вредных и опасных факторов 68
11.2.2 Обоснование мероприятий по снижению неблагоприятных воздействий 71
11.3 Экологическая безопасность 72
11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 72

Вывод по разделу 74
Заключение 75
Список литературы: 76
Приложение А 81
Приложение Б 96
Приложение В 113
Приложение Г 117

Графический материал (на отдельных листах):

Схема структурная – ФЮРА.421000.005 С1;

Схема функциональная – ФЮРА. 421000.005 С2;

Заказная спецификация – ФЮРА. 421000.005 С01;

Схема электрическая – ФЮРА. 421000.005 Э3;

Перечень элементов – ФЮРА. 421000.005 ПЭ;

Схема монтажная – ФЮРА. 421000.005 С4;

Общий вид щита управления – ФЮРА. 421000.005 ВО;

Перечень элементов щита управления – ФЮРА. 421000.005 ПВО.

Введение

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

В настоящее время большинство тепловых станций, доставшихся современной России как наследство от СССР, требуют модернизации. Это касается как самого оборудования, так и систем автоматического управления. Связано это, что согласно ГОСТ 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 Томская ГРЭС-2, 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.

1 Анализ объекта автоматизации

1.1 Сведения о ГРЭС 2. Назначение и технические характеристики

ГРЭС-2 — тепловая электростанция в г. Томске, подразделение ОАО “ТГК-11”. Обеспечивает отопление и горячее водоснабжение потребителей южного административного округа г. Томска. Расположена в Советском районе, окружена улицами Шевченко, Елизаровых, Кулагина и проспектом Фрунзе.

Установленная электрическая мощность составляет 331 МВт., а тепловая — 815 Гкал/ч.

Тепловая схема ГРЭС-2 с поперечными связями по основным магистралям пара и воды. На станции установлены 10 паровых котлов, из которых 7 используют давление 9,8 МПа и 3- давление в 13,8 МПа. Также установлены 6 турбоустановок, из которых 5 действуют при давлении свежего пара в 8,8 МПа и 1 турбина - при 12,8 МПа [1].

Таблица 1.1 — Энергетические паровые котлы на Томской ГРЭС-2

Тип, наименование	Станционный номер агрегата	Расчетные параметры за котлом		
		Паропроизво-дительность, т/ч	Давление, кгс/см^2	Температура, °С
БКЗ-220-100-4	3	220	100	510
ТП-230-2	4	230	100	510
ТП-230-2	5	230	100	510
ТП-230-2	6	230	100	510
ТП-230-2	7	230	100	510
ТП-230-2	8	230	100	510
БКЗ-220- 100-4	9	220	100	540
БКЗ-210-140	10	210	140	560
БКЗ-210-140	11	210	140	560
БКЗ-210-140	12	210	140	560

Таблица 1.2- Турбоустановки, установленные на ГРЭС-2

Тип, модификация	Станционный номер агрегата	Параметры свежего пара	
		Давление, кгс/см^2	Температура, °С
Т-50/60-8,8	2	90	500
Т-43(50)- 90-2М	3	90	500
Т-43(50)- 90-2М	5	90	500
ПТ-25- 90/10	6	90	500
ПТ-60- 90/11	7	90	500
Т-118/125-130-8	8	130	550

1.2 Технологическая схема объекта автоматизации и назначение его отдельных элементов

В работе объектом регулирования является барабан котла типа БКЗ-210-140, изготовленный Барнаульским котельным заводом (БКЗ). Котел имеет номинальную паропроизводительность 210 т/ч. Имеет следующие параметры пара: давление – 140 атм, температура – 560 °С. Размеры котла по осям колонн: ширина- 24 м, глубина- 30 м. Высота до верха хребтовой балки- 33,5 м.

На рисунке 1.1 представлен поперечный разрез парогенератора БКЗ-210-140 [2].

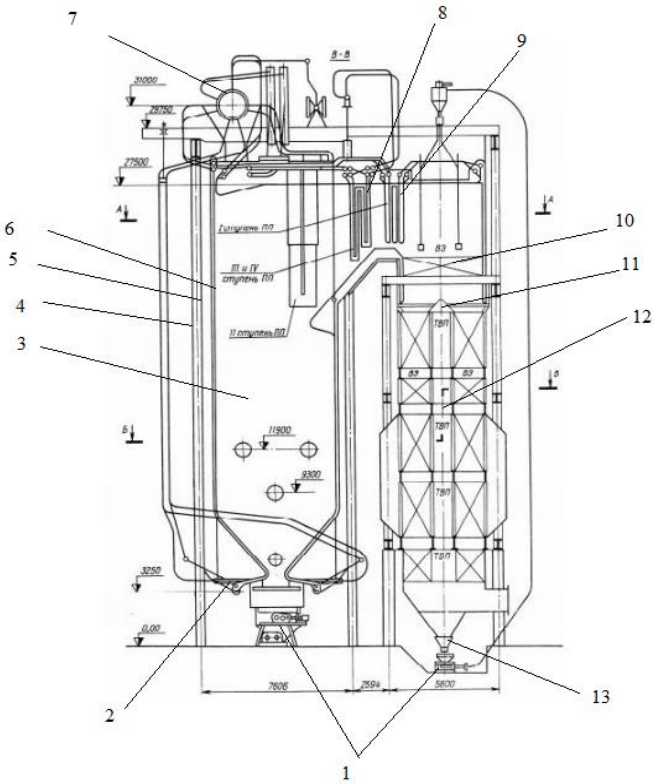

Рисунок 1.1 - Продольный разрез котла БКЗ-210-140:

1 – каналы гидро-золо(шлако)удаления;

2 – нижние коллекторы экранов; 3 – топка котла; 4 – опускные трубы; 5 – обмуровки;

6 – трубы топочных экранов; 7 – барабан; 8,9 – потолочные конвективные пароперегреватели; 10 – промежуточный пароперегреватель; 11 – экономайзер; 12 – воздухоподогреватель; 13 – зола.

Линейные размеры котла - ширина составляет 24 м, а глубина- 30 м.

Экраны состоят из труб типа Ф 60х5,5 при шаге в 64 мм. В качестве материала труб использовалась сталь 20. Все экраны разбиты на секции. Они состоят из 14 независимых контуров.

Котельный агрегат однобарабанный, с внутренним диаметром 1600 мм, толщина стенки - 92 мм. В качестве основного материала использовалась сталь 16ГНМ. Была применена двухступенчатая схема испарения.

Воздухоподогреватель трубчатый рекуперативный был выбран в качестве используемого.

Котельная установка оснащена 6 газомазутными горелками. Были использоованы трехканальные вихревые газомазутные горелки вида ГМЭ-25 по конструкции БелЭНИН производительностью 2500 м^3/ч. для газа и 2500 кг/час для мазута.

В котловом агрегате применена облегченная многослойная обмуровка, состоящая из 2-х отличающихся по конструкции частей. Под первой подразумевается обмуровка топочной камеры и потолочного перекрытия, а под второй - обмуровка газоходов пароперегревателя и экономайзера [2].

1.3 Автоматическое регулирование барабанного парогенератора. Котельный агрегат как объект регулирования

Паровой котел, как и любой другой комплекс, связывающих множество входных и выходных величин, является достаточно трудной системой, зависящей от множества факторов. При всем при этом допускается осуществление регулирования отдельно взятых, независимых, одноконтурных систем. Достоинством является то, что основное воздействие является главным, то есть базисным, в то время как другие воздействующие влияния будут восприниматься как возмущения. На рисунке 1.2 представлены взаимосвязи между выходными и входными величинами в барабане котла [3].

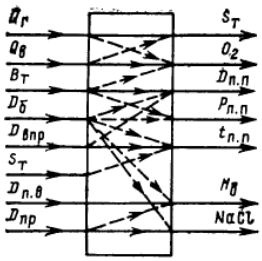

Рисунок 1.2 - Схема взаимосвязей между выходными и входными величинами в барабанном котле

В котловом агрегате можно выделить следующее:

1. система контроля температуры перегрева пара;
2. система управления питания котловой водой;
3. система качества котловой водой;
4. система давления перегретого пара;
5. система избытка воздуха в топке котла;
6. система разрежения в верхней части топки котла[3];

На рисунке 1.3 представлена принципиальная схема парового котла [3].

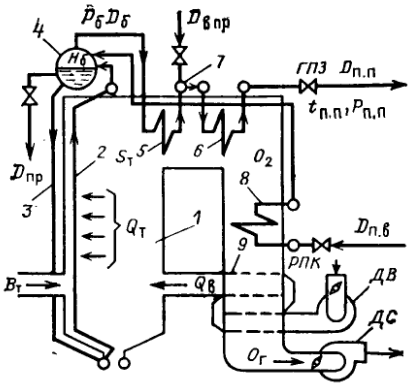

Рисунок 1.3 - Принципиальная технологическая схема парового котла БКЗ-210-140

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

Основная тенденция развития автоматизированных систем – объединение локальных АСР. Их цель – создание комплексных систем, сочетающих автоматизацию решения экономических задач и задач

административного управления с автоматизацией управления технологическими процессами, проектирования изделий и технологии.

В данной работе рассматривается АСР питания водой парогенератора.

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) котла приводит:

1. к нарушению работы внутрибарабанных сепараторов;
2. заносу пароперегревателя солями;
3. 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.

2 Выбор структуры автоматической системы регулирования

2.1 Обзор и выбор методов 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 он 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:

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

2.1.1 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. держать уровень понижающимся с увеличением нагрузки.

Схема регулирования питания с помощью одноимпульсного регулятора представлена на рисунке 2.1 [4].

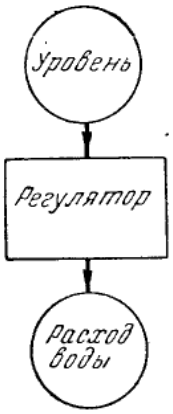

Рисунок 2.1 - Схема одноимпульсного регулирования питания котла

В таблице 2.1 приведены достоинства и недостатки данного метода [4].

Таблица 2.1 - Достоинства и недостатки одноимпульсной системы регулирования

Название	Достоинства	Недостатки
Одноимпульсное регулирование	1. Простота конструкции, эксплуатации и монтажа.	1. Система не учитывает возмущающее воздействие в виде изменения других параметров; 2. на некоторых котлах вследствие неравномерности возникают колебания, вызывающие погрешность.

2.1.2 Двухимпульсное регулирование

На рисунке 2.2 изображена схема двухимпульсного регулирования питания [4].

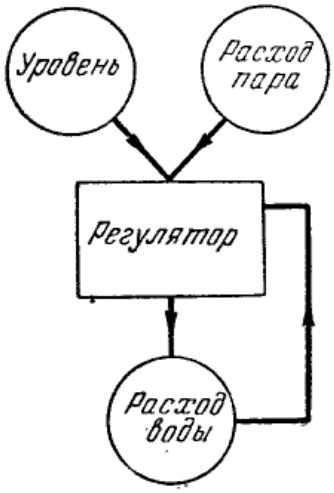

Рисунок 2.2 - Схема двухимпульсного регулирования питания котла

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 регулирующему 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 2.2 приведены достоинства и недостатки метода [4].

Таблица 2.2 - Достоинства и недостатки двухимпульсной системы регулирования [4]

Название	Достоинства	Недостатки
1	2	3
Двухимпульсное регулирование	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.	1. Система не учитывает перепад давления, ограничивается использование с резко переменным графиком нагрузки.

2.1.3 Трехимпульсное регулирование

На рисунке 2.3 изображена принципиальная схема трехимпульсного регулирования питания.

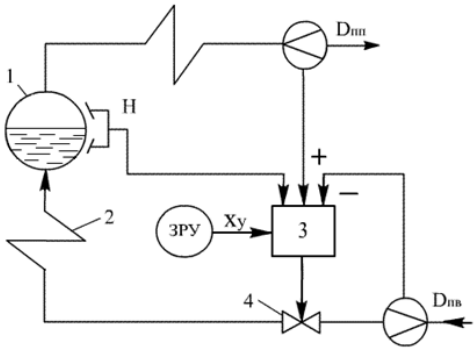

Рисунок 2.3- Принципиальная схема трехимпульсного регулирования питания котла [3]

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

Таблица 2.3 - Достоинства и недостатки трехимпульсной системы

Название	Достоинства	Недостатки
1	2	
Трехимпульсное регулирование	1. Наилучшая точность; 2. поддерживает постоянное заданное отношение.	1. Наблюдается незакономерное изменение подачи воды при неизменном расходе пара, приводящее к восстановлению равновесия без перехода в новое положение;

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3
		2. необходимость точной настройки для полноценной работы; 3. цена.

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

Требования, предъявляемые к качеству работы АСР питания [5]:

– 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 питания парогенератора представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.005 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 на ИМ (преобразователь выходного сигнала регулятора в перемещение регулирующего органа), который будет контролировать

положение РО, чья цель – управление клапаном, чтобы поддерживать материальный баланс в паровом котле.

3 Составление функциональной схемы системы теплотехнического контроля

3.1 Объем технологических измерений

В качестве контролируемых выбираются такие параметры, чье наличие так или иначе влияет на технологический процесс. При этом невозможно оказать прямое воздействие на них. А в качестве регулируемых принимаются такие параметры, чье изменение приводит и к соответствующему изменению происходящих в котле параметров.

Ниже приведены контролируемые параметры и предельные значения:

1. расход пара- 250 т/ч;
2. расход воды- 1000 т/ч;
3. уровень воды в барабане котла- 1000 мм.

В таблице 3.1 приведены регулируемые технологические параметры котла БКЗ-210-140 [6].

Наличие знака “+” в столбцах таблицы означает соответствующее выполнение функции, название которой отмечено в столбце выше. Так например знак ”+” в колонке ТЭП характеризует выполнение измерение технико-экономических показателей. Графа “Постоянно” характеризует измерение технологического параметра при помощи соответствующего средства измерения. Графа “По требованию” обозначает измерение параметра посредством подключения к измерительному прибору первичного преобразователя. В графе “Регистрация” показывается включение автоматической записи текущего значения технологического параметра, а также его диапазонов. Также в колонках могут присутствовать знаки ”↑” и/или ”↓” в строке сигнализация. Это означает, что выполняется

сигнализирующая функция при достижении или превышении тех или иных показателей [7] .

Таблица 3.1 – Перечень контролируемых технологических параметров ПК

Местоположение, параметр	Форма представления информации						Значение параметра
	БЩУ					МЩУ	
	Постоянно	По требованию	Сигнализация	Регистрация	ТЭП	По требованию	
Температура питательной воды				+	+		230°С
Температура свежего пара	+		↑↓	+	+		570°С
Давление питательной воды	+				+		16 МПа
Давление свежего пара	+		↑↓	+	+		14 МПа
Давление в барабане котла		+	↑			+	13,8 МПа
Расход свежего пара по каждому трубопроводу	+			+	+		210 т/ч
Уровень воды в барабане котла	+		↑↓	+			± 20 мм

3.2 Составление функциональной схемы системы теплотехнического контроля

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.

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

Расход питательной воды измеряется при помощи суживающего устройства 1а. Пройдя через него, вода попадает на дифманометр 1б, сигнал после которого поступает на измерительный прибор ПЛК. Аналогичная схема считывания информации по расходу пара происходит по каналу 2.

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

По каналу 4 происходит контролирование и регулирование управляющим органом. На пусковое устройство 4в подается регулирующее воздействие с контроллера о необходимости изменения положение задвижки. Данное пусковое устройство, в свою очередь, производит пуск исполнительного механизма 4г. В случае неисправности автоматического регулирования в системе предусмотрен блок ручного управления, позволяющий вручную производить регулирование.

Функциональная схема системы теплотехнического контроля представлена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.005 С2.

4 Выбор технических средств измерений технологических параметров

4.1 Выбор преобразователя для измерения расхода

В настоящее время существует огромное множество способов измерения, таких как скоростной, электрический, тепловой, а также ультразвуковой.

Однако на производственных комплексах для измерения расхода используют расходомеры обтекания, или расходомеры переменного перепада давления, принцип действия которых основан на реагировании

чувствительного элемента, помещенного в поток, на динамический напор протекающего по трубопроводу вещества.

Данный метод основан на измерении перемещения чувствительного элемента вдоль вертикальной оси. Оно зависит от расхода среды установленного местного сопротивления (проходного отверстия). Они устанавливаются таким образом, чтобы возникающий перепад давления оставался постоянным [7].

В рамках данной работы будет использоваться данный метод измерения расхода пара и питательной воды. Для преобразования перепада давления в соответствующий электрический сигнал будет использоваться дифференциальный манометр.

Для выбора подходящего устройства рассматривается несколько вариантов, а именно:

1. преобразователь давления интеллектуальный Метран-150CD [8];
2. преобразователь дифференциального давления АИР-20/М2Н [9];
3. преобразователь давления интеллектуальный АМ-2000 НР [10];
4. преобразователь давления Сапфир-22ЕМ [11].

В таблице 4.1 приведена сравнительная характеристика вышеприведенных приборов.

Таблица 4.1 - Сравнительная характеристика преобразователей давления

Название	Метран-150CD	АИР-20/М2Н	АМ-2000 НР	Сапфир-22ЕМ
1	2	3	4	5
Диапазон измерений	от 14 кПа до 25 МПа	от 0,16 кПа до 60МПа	от 0,16 кПа до 25 Мпа	от 0,16 кПа до 60МПа
Диапазон температур	от -40 до 85°С	от -40 до 70°С	от -40 до 75°С	от -25 до 80°С
Выходные сигналы	4…20 мА с HART протоколом; 0…5 мА	4…20 мА с HART протоколом; 0…5 мА; 4…20 мА	4…20 мА с HART протоколом	4…20 мА с HART протоколом; 0…5 мА; 4…20 мА

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Класс точности	0,01	0,01	0,01	0,01
Степень защиты	IP66	IP65, IP54	IP66	IP65
Цена	от 25000 ₽	38675₽	от 18000 ₽	от 35100 ₽

На основании таблицы 4.1 делаем выбор прибора Метран-150 CD, так как он имеет самый широкий диапазон температуры среды, 2 вида выходных сигналов, взрывозащитное исполнение в дополнение к полной пылезащищенности при приемлемой цене.

В качестве суживающего устройства в трубопроводе питательной воды берется камерная диафрагма типа ДВС, поскольку для повышенного давления в трубопроводе именно данная модель идеально справляется. Благодаря большому разнообразию параметров можно выбрать необходимую производству диафрагму. Поэтому для системы регулирования выбирается диафрагма ДВС-32-225 [12]. А в качестве суживающего устройства в трубопроводе свежего пара выбирается камерное сопло СКС-32-225 [12] фирмы “Метран”.

4.2 Выбор преобразователя для измерения уровня

Измерения уровня воды в барабане парогенератора происходит с помощью гидростатического метода. Данный способ основан на измерении существующего в жидкости гидростатического давления, пропорционального глубине. Система измерения состоит из уравнительного сосуда, служащий для создания постоянного давления в камере дифманометра [13].

Исходя из вышеперечисленных требований, а также на основании принципов стандартизации и унификации ТСА, было принято решение об установке преобразователя разности давления Метран-150CD.

В дополнение к дифманометру устанавливается уравнительный сосуд СУ-6,3-2-Б, рассчитанный на давление в 6,3Мпа [14].

4.3 Выбор программируемого логического контроллера

Контроллер (ПЛК) — это программно-управляемое устройство, предназначенное для работы в режиме реального времени в промышленности с целью управления технологическим процессом.

В зависимости расположения модулей ввода-вывода промышленных контроллеров различают: моноблочные ПЛК, модульные ПЛК, распределенные ПЛК.

Согласно ГОСТ Р 58604-2019 к контроллерам, используемых на тепловых электрических станциях, предъявляются следующие требования [15]:

– при реализации АСУТП должны использоваться контроллеры, позволяющие реализовать в реальном времени предусмотренные алгоритмы контроля и управления технологическим процессом;

– контроллеры должны оперативно и без потерь обрабатывать внутренние и внешние события и обмениваться информацией и командами с другими элементами системы;

– в состав контроллера должно входить энергозависимое запоминающее устройство, позволяющее использовать его при загрузке и запуске операционной системы и пользовательских программ;

– контроллеры должны быть оснащены высокопроизводительными операционными системами.

Для сравнения приведены контроллеры Siemens Simatic S7-300 [16], Овен ПЛК-210 [17] и ЭЛСИ-ТМК [18]. Для удобства анализа все данные сведены таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Сравнительная таблица ПЛК

Тип ПЛК	Siemens Simatic S7-300	Овен ПЛК-210	ЭЛСИ-ТМК
Степень защиты корпуса	IP20	IP20	IP20
Диапазон температур	от -40 до 70°С	от 0 до 70°С	от 0 до 70°С
Номинальные напряжения	24 В пост. тока; 230 В перем.тока	10…48 В	127…370 пост. тока, 90…264 В перем.тока
Протоколы	PROFIBUS, PROFINET/Industrial Ethernet, AS-Interface, Internet	Modbus TCP (Master / Slave), OPC UA (Server), MQTT	PROFIBUS, PROFINET/Industrial Ethernet, AS-Interface, Internet
Интерфейсы	RS 232; RS 485; MODBUS RTU PPI;MPI	RS232; RS485; MODBUS RTU PPI;MPI	RS 232; RS 485; MODBUS RTU PPI;MPI
Цена	240000₽	38000₽	32000₽

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 [19]:

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

Все модули работают с естественным охлаждением.

Произведем подбор модулей программируемого контроллера SIMATIC S7-300.

1. Модуль центрального процессора

Модуль центрального процессора CPU 312 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. [20]. Технические данные приведены модульного процессора в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Технические характеристики модуля центрального процессора CPU – 312

Номинальное значение напряжения	24 В
Потребляемый ток	650 мА
Потери мощности	4 Вт
Рабочая память	32 Кбайт
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 [21]. Технические данные приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические данные модуля питания PS 307

Размеры ШхВхГ (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 ± 5%
Номинально значение выходного тока	5 А

3. Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331

Siemens 6ES7331-7HF0x-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 винтовое соединения. Подключение к шине контроллера происходит благодаря сетевым шинам. [22]. Технические характеристики представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – 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

Продолжение таблицы 4.5

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 332

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 [23]. Технические характеристики представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Технические характеристики модуля вывода аналоговых сигналов SM 332

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)
Разрешающая способность	15 битов
Диапазоны входных параметров, ток	от 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, предъявляемых контроллеру, а также обеспечить гибкое соединение с объектом автоматизации.

Таблица 4.7 – 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

4.4 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм — это устройство, преобразующее выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа.

Обычно исполнительные механизмы состоят из трех основных частей: привод, прибор для управления приводом и регулирующий орган — задвижки. Привод обеспечивает изменение положения задвижки, а задвижка корректирует величину переменной процесса.

За счет подвода энергии извне исполнительный механизм развивает усилие и мощность, достаточные для перемещения регулирующего органа в положение, соответствующее командному сигналу. Исполнительный механизм выбирается не только из вида регулирующего органа, но и от вращающего момента.

Используя типовые проектные решения по выбору исполнительного механизма при диаметре 219 мм. выбирается соответствующий механизм электроисполнительный однооборотный фланцевый типа МЭОФ-1600/63-0,63 М-К, номинальный вращающий момент которого 1600 Н·м, время полного хода 25 секунд, при потребляемой мощности питания 380В [25].

4.5 Выбор пускового устройства механизма

Пускатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты электродвигателей без выведения и введения в их цепи сопротивлений резисторов. Пускатели осуществляют защиту электродвигателей от токов перегрузки. Распространенным элементом такой защиты является тепловое реле, встраиваемое в пускатель. Токи перегрузки для контакторов и пускателей не превышают кратных перегрузок по отношению к номинальному току. Его выбор пускового устройства определяется выбранным ранее исполнительным органом.

В качестве используемого принимается пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3И [26], обеспечивающий пуск и реверс, а также защиту трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором от перегрузки.

В дополнение к исполнительному механизму и пускателю ставится блок ручного управления БРУ-42И-01 [27][28] для возможности управления технологическим процессом в случае отказа ПЛК.

Заказная спецификация приборов и средств представлена на отдельном листе шифром ФЮРА.421000.005 С01.

5 Разработка принципиальной электрической схемы АСР питания парового котла

Схема электрическая — документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи.

Схема выполняется без соблюдения масштаба, и действительного пространственного расположение составных частей изделия (установки).

На схемах следует указывать обозначения электрических контактов или выводов от элементов (устройств), фактически нанесенные на изделие или указанные в его документации. Если ни в конструкции элемента (устройства), ни в его документации обозначения контактов или выводов не указаны, то разрешается присваивать им обозначения на данной схеме, повторяя их в дальнейшем в соответствующих конструкторских документах. В этом случае помешают необходимое пояснение на поле схемы. На схеме изображают разъемы, клеммы и другие элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи, и указывают характеристики входных и выходных цепей изделия (величину напряжения, силу тока, частоту и т. д.). На поле схемы допускается помещать указания о марках, сечениях и расцветках соединительных проводов и кабелей, а также специальные указания к электрическому монтажу изделия[29].

Принципиальная электрическая съема АСР питания парогенератора представлена на листе ФЮРА.421000.005 Э3.

На листах 1 - 2 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых сигналов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

– модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens;

– 20-полюсный фронтальный соединитель для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей;

– преобразователь аналоговых сигналов, пассивный разъединитель, предназначенный для разделения аналоговых сигналов;

– п-образный соединитель, предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;

– блоки зажимов.

Подсистема вывода аналоговых сигналов включает в себя:

– модуль вывода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens;

– 40-полюсный фронтальный соединитель для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей;

– преобразователь аналоговых сигналов, пассивный разъединитель, предназначенный для разделения аналоговых сигналов;

– п-образный соединитель, предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;

– блоки зажимов.

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

На листах 3 - 4 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода дискретных сигналов.

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов включает в себя:

– модуль ввода-вывода дискретных сигналов программируемого логического контроллера Siemens;

– 40-полюсный фронтальный соединитель для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей;

– релейный модуль, предназначенный для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;

– п-образный шинный соединитель, предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;

– блоки зажимов.

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов обеспечивает безопасное подключение дискретных сигналов к модулю контроллера.

6 Разработка монтажной схемы АСР

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показывают электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам. На схеме должны быть изображены изделие, его входные и выходные элементы (разъемы, зажимы и т.п.) и подводимые к ним концы проводов и кабелей внешнего монтажа, указаны данные о подключении изделия [30].

Выбор проводов и кабелей, а также выбор способа выполнения электропроводки производят в соответствии с указаниями руководящего материала РМ4-6-84 «Проектирование электрических и трубных проводок систем автоматизации. Часть 1. Электрические проводки».

Данные о проводах и кабелях (марку, сечение и др.) указывают около линий, которые изображают провода и кабели, в этом случае допускается не присваивать обозначения проводам и кабелям, а при изображении их в виде условных обозначений, дают расшифровку на поле схемы.

Для соединения и разветвления электрических кабелей на схемах соединений показывают электрические соединительные коробки, а при прокладке проводов в защитных трубах – протяжные коробки.

Порядок действий при разработке монтажной схемы [30]:

1) поиск руководств по эксплуатации технических средств нижнего уровня АСР;

2) изучение схем подключения технических средств;

3) определение территориально-пространственного размещения элементов;

4) нанесение контуров элементов;

5) нанесение условных обозначений и позиций элементов;

6) согласование параметров измерительных каналов, определение мест подключения электрических проводок в щите автоматизации;

7) выбор проводов, кабелей и соединительных коробок, нанесение данных о проводах и кабелях.

Монтажная схема представлена на отдельном листе шифром ФЮРА.421000.005 С4.

В левой верхней части схемы представлена таблица, которая содержит данные о наименовании параметра и места отбора его импульса, а также позиции с функциональной схемы. Каждый датчик содержит индивидуальный блок питания, подключаемый к силовому щиту. В правой части схемы представлена схема соединений исполнительного механизма (МЭО (Ф)), блоков БРУ и ПБР с силовым щитом. Сигналы с них, как и сигналы с первичных датчиков, уходят в щит управления, где показаны входные и выходные клеммы. Для соединения приборов между собой, а также для питания самих приборов, в работе используются медные провода разных исполнений. В надписях проводов указаны данные о количестве жил и площадь поперечного сечения. К тому же, в квадратах показывается информация об использованных жилах, в случае, когда не все жилы используются. На монтажной схеме используются следующие типы 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 пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова, экранированный;

3) КРВГ – контрольный кабель с изоляцией из резины с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова.

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительные коробки (КС-6, КС-10).

7 Разработка общего щита управления

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.005 ВО.

Внутри шкафа управления размещена система контроля и регулирования, а также вспомогательная аппаратура. В верхней части шкафа расположен осветительный прибор (EL1) и концевой выключатель (SQ1). В верхнем ряду расположен контроллер Siemens SIMATIC S7-300 (AC1), во втором ряду расположены средства защиты системы питания и управления, а именно автоматические выключатели (QF1…QF3), устройство защиты от перенапряжений (Z1), блок питания (G1) и щитовая розетка (XS1). В третьем ряду расположена вспомогательная аппаратура – реле (K1…K11, KK1) разделительные преобразователи (UY1…UY5). В нижней части шкафа вертикально в несколько рядов расположены групповые оборки зажимов (XT0… XT3). На лицевой стороне двери расположены переключатель режимов (SA1), кнопочный пост управленя (SA2), сигнальные ламны (HL1…HL5), а также показано расположение фильтрующего вентилятора (M1).

В данной выпускной квалификационной работе был выбран шкаф распределительный типа TS 8 IP 66/NEMA 4 производства фирмы Rittal (Германия) [31]. Размеры шкафа 2000x800x600 мм. Оборудование размещено на монтажных шинах с перфорацией NS 35/7,5 производителя Phoenix Contact. Для прокладки силовых проводов используются перфорированные короба 40x40 производителя Efapel.

8 Расчет АСР питания

8.1 Расчет статических характеристик элементов системы

Статические характеристики определяют функциональную связь между выходными и входными переменными элементов АСР Статические

характеристики неизменны во времени. По виду статической характеристики элементы бывают статические и астатическими. Статическим называется такой элемент, у которого существует статическая характеристика в виде непрерывной, монотонно возрастающей функции [32]. Расчет коэффициентов передачи измерительного преобразователей уровня, расходов воды и пара, а также расчет коэффициента передачи регулирующего органа представлены в приложении А.

В результате расчетов были получены следующие значения:

$$K_W = 0{,}032 \frac{\text{мА}}{\text{мм вод. ст.}};$$

$$K_D = K_H = 0{,}013 \frac{\text{мА}}{\text{т/ч}};$$

$$K_{\text{ро}} = 8{,}2625 \frac{\text{т/ч}}{\%\text{УП}};$$

8.2Расчет динамических характеристик элементов системы

Для исследования динамики объекта регулирования передачи в настоящее время используются аналитический и экспериментальные методы. В данной выпускной квалификационной работе рассмотрен аналитический метод определения динамических характеристик парогенератора. В данной АСР необходимо определить следующие динамические характеристики:

1) расчет передаточной функции объекта регулирования по каналу «расход питательной воды – уровень в барабане котла»;

2) расчет передаточной функции участка трубопровода от регулирующего органа до сужающего устройства;

3) расчет коэффициента передачи потенциометра «чувствительность» датчика уровня;

4) расчет передаточной функции демфирующего устройства.

При последующих расчетах приняты следующие допущения:

1) в динамическом отношении регулирующий орган представляет собой пропорциональное звено:

$$W_{\text{ро}}(P) = K_{\text{ро}};$$

2) передаточные функции измерительных преобразователей уровня, расходов воды и пара представляют собой пропорциональные звенья:

$$\begin{cases} W_H(P) = K_H; \\ W_W(P) = K_W; \\ W_D(P) = K_D, \end{cases}$$

где K_H, K_W, K_D - коэффициенты передачи измерительных преобразователей уровня, расхода воды и расхода пара.

Расчет динамических характеристик, передаточных функций элементов системы, определение оптимальных настроек регулятора, а также определение прямых оценок качества переходных процессов по каналу задания и возмущения предоставлены в приложении Б.

В результате расчетов получены оптимальные параметры настройки регулирующего устройства (ОПН) $K_p = 23$ (%УП/мА), $\text{Т}_{\text{И}} = 21{,}1$ с. Рассчитаны переходные процессы в замкнутой АСР про каналам задающего и регулирующего воздействия.

Результаты анализа качества переходных процессов приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты оценки качества переходных процессов

	По каналу задания	По каналу возмущения
Максимальная динамическая ошибка A_1	15,8	0,111
Перерегулирование σ_1, %	21,1	13,5
Степень затухания ψ_1	0,94	0,92
Статическая ошибка $\varepsilon_{\text{ст}}$	0	0
Время регулирования $t_{\text{р}1}$, с.	75	110

Анализ качества переходных процессов показал. что полученные ОПН можно рекомендовать для выставления на реальную аппаратуру.

9 Разработка мнемосхемы рабочего места оператора

Для автоматизированного рабочего места оператора была разработана мнемосхема регулирования питания барабанного котла на базе CoDeSys - инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации.

Для визуального представления в работе использовалась программа MasterSCADA 4D версии 1.1.

Для взаимодействия между ПЛК и SCADA-системой используется технология OPC. Суть OPC проста – предоставить разработчикам промышленных программ универсальный фиксированный интерфейс (то есть набор функций) обмена данными с любыми устройствами.

В работе используется стандарт OPC DA (Data Access), который описывает функции обмена данными с ПЛК [36].

9.1 Разработка прикладного ПО среднего и верхнего уровней АСУ ТП

Листинг кода для разработки прикладного программного обеспечения среднего уровня, а также разработка верхнего уровня АСУ ТП и его наладка представлены в приложении В.

На мнемосхеме серый цвет ламп обозначает отключенное состояние, зеленый включенное, желтый сигнализирует о чрезмерном, либо о недостаточного количества воды, красный цвет сигнализирует о критическом состоянии уровня воды. На главном окне мнемосхемы предоставляются все необходимые значения, сигнализации, кнопки управления, также пользователь может использовать дополнительный кнопки, отправляющие на экран с графиками и журналом, в котором появляются время ошибки, а также комментарии и справочные сведения для помощи в исправлении неисправного состояния технологического процесса.

Автоматический режим:

Зеленый индикатор в правом верхнем углу говорит нам о том, что включен режим автоматического управления. В центральной части мнемосхема содержит условное изображение технологического процесса с указанием ключевых параметров. Внизу расположен блок сигнализаций, а также панель управления регулирующим органом. В барабане котла для наглядности и упрощения процесса проверки точности процесса расположено окно уставки.

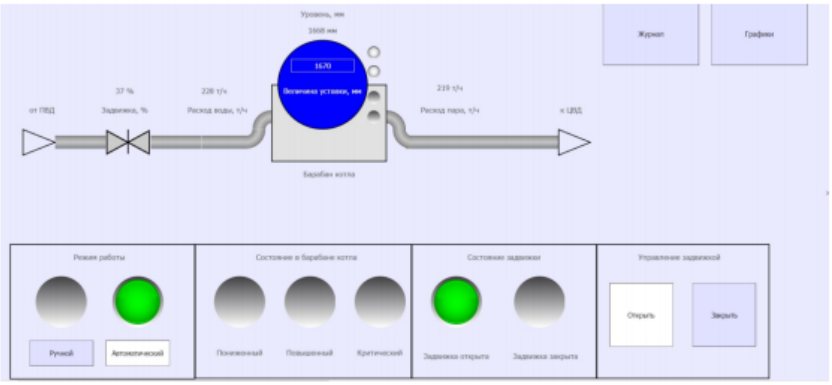

Рисунок 9.1 – Проверка автоматического режима работы

Ручной режим:

Зеленый индикатор в панели управления показывает, что включен режим ручной режим управления.

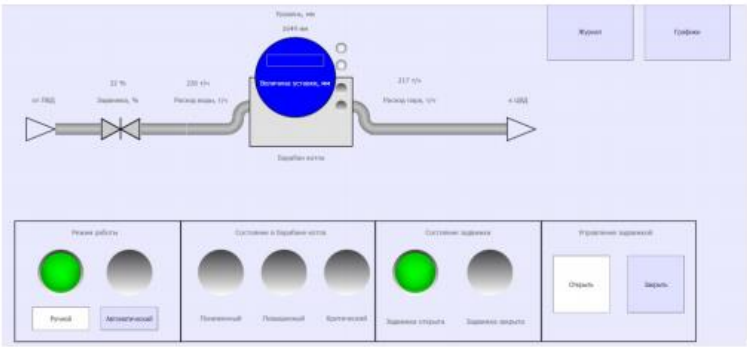

Рисунок 9.2 – Проверка ручного режима работы

Задание для раздела
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Даниленко Захару Максимовичу

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

Тема ВКР:

Автоматическая система контроля и управления питания водой парогенератора БКЗ-210-140 Томской ГРЭС - 2	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	Бюджет проекта – не более 420000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 280000 руб; затраты на оборудование – 50000 руб.
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	Районный коэффициент – 1,3. Накладные расходы – 16%.
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	Отчисления во внебюджетные фонды: 30,2% от фонда оплаты труда (ФОТ)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	Анализ конкурентных технических решений. Анализ потенциальных потребителей. SWOT-анализ.
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	Планирование работ и оценка их выполнения. Разработка диаграммы Ганта. Бюджет проекта.
3. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. *Матрица SWOT* 2. *График проведения и бюджет НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Даниленко Захар Максимович		

10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Целью раздела является анализ финансово-экономических аспектов разработанной автоматической систему контроля и управления питания водой парогенератора БКЗ-210-140 на базе Томской ГРЭС – 2.

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.

10.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

10.1.1Потенциальные потребители результатов исследования

Так как данная АСР рассчитана на основе конкретных параметрах парового котла, то потенциальными потребителями такой разработки могут являться различные предприятия, чьи паровые установки либо схожи с исследуемой, либо имеют приближенные технические характеристики.

10.1.2 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.

1) одноимпульсная система регулирования. Система реагирует только на показания уровня.

2) двухимпульсная. Система реагирует на показания уровня и расхода пара.

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

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 1. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, 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 10.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	**Вес критерия**	**Баллы**			**Конкурентоспособность**		
		$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	$К_1$	$К_2$	$К_3$
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	0,6	1
5. Простота наладки	0,05	5	4	3	0,25	0,2	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 10.1

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 конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot Б_i,$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); $Б_i$ – балл i-го показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$K_1 = \sum B_i \cdot Б_i = 0{,}1 \cdot 2 + 0{,}1 \cdot 5 + 0{,}2 \cdot 4 + 0{,}2 \cdot 2 + 0{,}05 \cdot 5 +$$
$$+0{,}2 \cdot 5 + 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}05 \cdot 5 = 3{,}8.$$

$$K_2 = \sum B_i \cdot Б_i = 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}2 \cdot 4 + 0{,}2 \cdot 3 + 0{,}05 \cdot 4 +$$
$$+0{,}2 \cdot 4 + 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}05 \cdot 4 = 3{,}8.$$

$$K_3 = \sum B_i \cdot Б_i = 0{,}1 \cdot 5 + 0{,}1 \cdot 3 + 0{,}2 \cdot 3 + 0{,}2 \cdot 5 + 0{,}05 \cdot 3 +$$
$$+0{,}2 \cdot 3 + 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}05 \cdot 3 = 3{,}9.$$

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 поддерживает постоянное заданное значение с минимальными погрешностями и отклонениями.

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

10.1.3 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.

Таблиц 10.2 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Ориентированность системы на объекты энергетики, использующие барабанные котлы средней мощности. С2.Использование современных компонентов системы. С3.Высокая надежность системы. С4.Большой срок эксплуатации. С5.Высокая точность регулирования.	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта:** Сл1.Необходимость контроллеров, предназначенных для систем средней степени сложности. Сл2. Высокая стоимость. Сл3.Потребность в высококвалифицированном персонале. Сл4. Привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации.
Возможности: В1.Возможность внедрения на другие станции и, как следствие, появление большего спроса на продукцию. В2. Высокий интерес инвесторов к новым разработкам.	1.Вариативность использования, а также повышенные технические и эксплуатационные характеристики позволяют увеличить масштаб установки данной разработки. 2. При должной финансовой поддержке появляется возможность разработать альтернативные и менее дорогие системы, имеющие аналогичные характеристики.	1.Распространение данных систем может привести к повышению требований при приеме работников на работу при неизменном качестве работы АСР. 2.Благодаря высокому интересу инвесторов можно снизить затраты на покупку необходимого оборудования.
Угрозы: У1.Повышение стоимости на компоненты системы. У2.Появление новых проектных решений.	1.Использование отечественного оборудования и наработок с сохранением технических и надежностных характеристик. 2.Необходимость повышать производительность и снижать затраты на систему для сохранения позиций.	1.Из-за повышенного ценообразования на современные компоненты, а также нестабильного курса рубля, система может стать нецелесообразной. 2. Из-за повышенных требований система может стать нецелесообразной

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны проекта, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации проекта.

10.2 Планирование научно-исследовательских работ

10.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Наименование работ	Исполнители	Загрузка
1	2	3
Постановка целей и задач	Руководитель	100 %
Анализ литературы	Инженер	100 %
	Руководитель	30 %
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	100 %
Анализ подобранных материалов	Инженер	100 %
	Руководитель	50 %
Разработка схемотехнической документации, подбор оборудования	Инженер	100 %
	Руководитель	10 %
Проектирование мнемосхемы	Инженер	100 %
	Руководитель	10 %

Продолжение таблицы 10.3

1	2	3
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	100 %
Проверка проекта	Инженер	100 %
	Руководитель	80 %

10.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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 $t_{ожi}$ используется следующая формула [37]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [37].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [37]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [37]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Количество календарных дней в 2021 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней.

Коэффициент календарности равен [37]:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118} = 1{,}48 \approx 1{,}5.$$

По данным таблицы 10.3 составлена таблица 10.4, отображающая продолжительность этапов работ и их трудоемкость по исполнителям, занятым на каждом этапе, а также построена диаграмма Ганта, приведенная в таблице 10.5.

Таблица 10.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	**Исполнители**	**Трудоемкость работ**			**Трудоемкость работ по исполнителям, чел.- дн.**			
		t_{min}, чел.-дни	t_{max}, чел.-дни	$t_{ожi}$, чел.-дни	T_{pi}		T_{ki}	
					Р	И	Р	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач	Р	1	2	1,4	1,4	–	2	–

Продолжение таблицы 10.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Анализ литературы	Р, И	4	7	5,2	1,6	5,2	2	8
Подбор и изучение материалов по теме	И	15	25	19	–	19	–	28
Анализ подобранных материалов	Р, И	5	10	7	3,5	7	5	10
Разработка схемотехнической документации, выбор оборудования	Р, И	14	28	19,6	2	19,6	3	29,4
Проектирование мнемосхемы проекта	Р, И	7	14	9,8	1	9,8	1,5	14,7
Оформление пояснительной записки ВКР	И	7	10	8,2	-	8,2	-	12,3
Проверка проекта	Р, И	3	5	3,8	3	3,8	4,5	5,7
Итого:				74	12,5	72,6	18	108,1

10.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе построен ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [37].

Календарный план-график построен на основе таблицы 10.5 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 10.5 − Календарный план-график по теме

Номер этапа	Этап работы	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				2		3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Р	2												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Р	2												
		И	8												
3	Анализ подобранных материалов	И	28												
4	Анализ результатов исследования	Р	5												
		И	10												
5	Разработка схемотехнической документации, выбор оборудования	Р	3												
		И	29,4												
6	Проектирование мнемосхемы проекта	Р	1,5												
		И	14,7												
7	Оформление пояснительной записки ВКР	И	12,3												
8	Проверка проекта	Р	4,5												
		И	5,7												

10.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме [37].

10.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме [37]. Затраты на оборудование приведены в таблице 10.6.

Таблица 10.6 – Расчет затрат на специальное оборудование

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Персональный компьютер	1	50 000	50 000
Итого			50 000

Затраты на амортизации используемого ПК, руб./год рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.пк}} \cdot \text{Ц}_{\text{пк}}}{T_{\text{кал.}} \cdot T_{\text{сл}}},$$

где $T_{\text{исп.пк}}$ – время использования ПК; $\text{Ц}_{\text{пк}}$ – цена ПК; $T_{\text{кал.}}$ – календарное время; $T_{\text{сл}}$ – срок службы ПК.

$$K_{\text{ам}} = \frac{110 \cdot 50000}{365 \cdot 3} = 5022{,}83 \text{ руб./год.}$$

10.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [37].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [37]:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [37]:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [37]:

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot М}{F_д},$$

где $З_м$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня М=11,2 месяца, 5-дневная рабочая неделя;

$F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн. (таблица 10.7).

Таблица 10.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	**Руководитель**	**Инженер**
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	66	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Месячный должностной оклад работника [37]:

$$З_{м} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад руководителя и инженера:

$$З_{м}^{рук} = З_{тс}^{рук} \cdot \left(1 + k_{пр} + k_{д}\right) \cdot k_{р} = 40000 \cdot (1 + 0{,}3 + 0{,}2) \cdot 1{,}3 = 78000 \text{ руб},$$

$$З_{м}^{инж} = З_{тс}^{инж} \cdot \left(1 + k_{пр} + k_{д}\right) \cdot k_{р} = 16000 \cdot (1 + 0{,}3 + 0{,}15) \cdot 1{,}3 = 30160 \text{ руб}.$$

Среднедневная заработная плата руководителя и инженера:

$$З_{дн}^{рук} = \frac{З_{м}^{рук} \cdot М}{F_{д}} = \frac{78000 \cdot 11{,}2}{243} = 3595{,}06 \text{ руб},$$

$$З_{дн}^{инж} = \frac{З_{м}^{инж} \cdot М}{F_{д}} = \frac{30160 \cdot 11{,}2}{219} = 1542{,}43 \text{ руб}.$$

Основная заработная плата руководителя и инженера:

$$З_{осн}^{рук} = З_{дн}^{рук} \cdot T_{p} = 3595{,}06 \cdot 13 = 46735{,}78 \text{ руб},$$

$$З_{осн}^{инж} = З_{дн}^{инж} \cdot T_{p} = 1542{,}43 \cdot 73 = 112597{,}39 \text{ руб}.$$

Суммарная основная заработная плата:

$$З_{осн}^{сум} = З_{осн}^{рук} + З_{осн}^{инж} = 46735{,}78 + 112597{,}39 = 159333{,}17 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 10.8.

Таблица 10.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м}$, руб.	$З_{дн}$, руб	T_p, раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	40000	0,3	0,20	1,3	78000	3595,06	13	46735,78
Инженер	16000	0,3	0,15	1,3	30160	1542,43	73	112597,39
Итого $З_{осн}$								159333,17

10.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн},$$

где: $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 –0,15).

$$З_{доп}^{рук} = k_{доп} \cdot З_{осн}^{рук} = 0{,}15 \cdot 71802{,}72 = 10770{,}41 \text{ руб,}$$

$$З_{доп}^{инж} = k_{доп} \cdot З_{осн}^{инж} = 0{,}15 \cdot 166736{,}68 = 25010{,}5 \text{ руб.}$$

Суммарная дополнительная заработная плата:

$$З_{доп}^{сум} = З_{доп}^{рук} + З_{доп}^{инж} = 10770{,}41 + 25010{,}5 = 35780{,}91 \text{ руб.}$$

10.3.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [37].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [37]:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году коэффициент отчислений составил 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и инженера:

$$З_{внеб}^{рук} = k_{внеб} \cdot (З_{осн}^{рук} + З_{доп}^{рук}) = 0{,}302 \cdot (71802{,}72 + 10770{,}41) = 24937{,}1 \text{ руб},$$

$$З_{внеб}^{инж} = k_{внеб} \cdot (З_{осн}^{инж} + З_{доп}^{инж}) = 0{,}302 \cdot (166736{,}68 + 25010{,}5) = 57907{,}6 \text{ руб}.$$

Суммарная сумма отчислений равна:

$$З_{внеб}^{сум} = З_{внеб}^{рук} + З_{внеб}^{инж} = 24937{,}1 + 57907{,}6 = 82844{,}7 \text{ руб}.$$

10.3.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуги, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнение каких-либо работ по теме сторонними организациями [37].

В данном случае к них относятся печатные услуги, включающие в себя печать листов различного формата и брошюровка.

$$З_{конр} = 1500 \text{ руб}.$$

10.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [37]:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% [37].

Величина накладных расходов:

$$З_{накл} = \left(З_{осн}^{сум} + З_{доп}^{сум} + З_{внеб}^{сум} + З_{контр} + З_{ост}\right) \cdot k_{нр} =$$

$$= (159333{,}17 + 35780{,}91 + 82844{,}7 + 1500 + 2500) \cdot 0{,}16 = 45113{,}41 \text{ руб},$$

где $З_{ост}$ – затраты на почту, телефон, Интернет, материалы для офиса и прочее.

10.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [37].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 10.9.

Таблица 10.9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1	2	3
1. Амортизационные отчисления	5022,83	Пункт 3.1
2.Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	159333,17	Пункт 3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35780,91	Пункт 3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	82844,7	Пункт 3.4

Продолжение таблицы 10.9

1	2	3
5. Услуги сторонних организаций	1500	Пункт 3.5
6. Накладные расходы	45113,41	Пункт 3.6
7. Бюджет затрат НТИ		329595,02 руб.

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

10.4.1 Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения можно определить по формуле [37]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b,$$

где I_i – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент критерия;

b_i– баллы показателя.

Сравниваемые исполнения регулирования питания барабана котла описаны в п.10.2. Результаты анализа приведены в таблице 10.10.

Таблица 10.10 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	3	4	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5	5	5
4. Энергосбережение	0,2	5	4	3
5. Надежность	0,25	3	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1			

Интегральный показатель ресурсоэффективности для каждого решения равен:

$$I_1 = 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}15 \cdot 3 + 0{,}15 \cdot 5 + 0{,}2 \cdot 5 + 0{,}25 \cdot 3 + 0{,}15 \cdot 5 = 4{,}1;$$

$$I_2 = 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}15 \cdot 4 + 0{,}15 \cdot 5 + 0{,}2 \cdot 4 + 0{,}25 \cdot 4 + 0{,}15 \cdot 4 = 4{,}15;$$

$$I_3 = 0{,}1 \cdot 4 + 0{,}15 \cdot 5 + 0{,}15 \cdot 5 + 0{,}2 \cdot 3 + 0{,}25 \cdot 5 + 0{,}15 \cdot 3 = 4{,}2.$$

Анализируя полученные значения показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что наиболее эффективным вариантом разработки является решение под номером 3 (трехимпульсное регулирование), так как данный способ имеет более высокий показатель надежности и большую степень точности, чем у конкурентов.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка коммерческой ценности проекта.

Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. С помощью SWOT-анализ были показаны сильные и слабые стороны проекта, а также потенциальные возможности и угрозы.

Определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

Определен и сформирован бюджет научно-исследовательского исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

Также был проведен аналитический анализ показателя ресурсоэффективности посредством интегрального критерия.

Задание для раздела «Социальная ответственность»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Даниленко Захар Максимович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление/специальность**	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Автоматическая система контроля и управления питания водой парогенератора БКЗ-210-140 Томской ГРЭС — 2	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: автоматическая система регулирования питания водой барабана котла типа БКЗ-210-140. Область применения: Томская ГРЭС - 2
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. ГОСТ 21480-76 «Система "человек-машина". Мнемосхемы. Общие эргономические требования»; 2. ГОСТ 22269-76 «Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования»; 3. ГОСТ 23000-78 «Система "человек-машина". Пульты управления. Общие эргономические требования»; 4. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора»;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: -недостаточная освещенность рабочего места; -отклонение показателей микроклимата; повышенный уровень шума; -повышенный уровень электромагнитных излучений. Опасные факторы: -поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: газообразные выбросы; Гидросфера: жидкие выбросы плохо очищенной воды; Литосфера: твердые выбросы не прогоревших частиц топлива, сажи и золы.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: возгорание, взрыв, перепитка и недожог котла. Наиболее типичная ЧС: пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	**10.05.2021**

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Даниленко Захар Максимович		

11 Социальная ответственность

Введение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана автоматическая система контроля и управления питания водой парогенератора БКЗ-210-140 на базе Томской ГРЭС – 2. Являясь одной из наиважнейших подсистем в котле, влияющей на безопасность и качественную работу агрегата и работы ГРЭС в целом, существует необходимость в точной АСР.

В данном разделе будут представлены опасные и вредные факторы, а также меры по ограничению их воздействия на оператора АСУ ТП. Будут проанализированы вопросы по охране окружающей среды, рассмотрены вопросы техники безопасности и пожарной профилактики, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности жизнедеятельности.

11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

11.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства

Согласно источнику [38] каждый работник имеет право на:

– рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

– быть застрахованным в системе обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с Федеральным законом от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ;

– получать достоверную информацию от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

– 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).

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 [39].

Для оператора также требуется опыт работы не менее одного года работы в должности оператора линии загрузки-выгрузки. В качестве особых

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 [39].

11.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда [40].

В ходе данной работы необходимо определить общие эргономические требования к работе с мнемосхемами, пультами управления, а также определить свойства расположения элементов рабочего места, а также кресла оператора.

ГОСТ 21480-76 «Система "человек-машина". Мнемосхемы. Общие эргономические требования» регламентирует общие требования к мнемосхемам “человек-машина”. Он определяет требования к мнемознакам и сигнальным элементам мнемосхем, а также расчет основных параметров мнемознака [41].

ГОСТ 22269-76 «Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования» регламентирует свойства, предъявляемые к элементам рабочего места: пульта управления, средств отображения информации, органов управления, кресла, вспомогательного оборудования [42].

ГОСТ 23000-78 «Система "человек-машина". Пульты управления. Общие эргономические требования» устанавливает требования, относящиеся

к пультам управления стационарных объектов с индивидуальным рабочим местом [43].

ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора» устанавливает требования, предъявляемые к креслу человека-оператора стационарных и подвижных объектов и устанавливает общие эргономические требования к креслу, определяя типы и основные конструктивные параметры кресел [44].

Обеспечение микроклимата производственного помещения (температуру воздуха, температуры поверхностей, относительную влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения) регламентируется в источнике [45].

11.2 Производственная безопасность

11.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для выявления потенциально вредных и опасных факторов, обращаемся к ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [46].

В таблице 11.1 приведены опасные и вредные факторы при эксплуатации автоматической системы управления питания парового котла водой.

Таблица 11.1 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этап работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Недостаточная освещенность рабочего места		+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [47].
2.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [48].
3. Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [49]
4.Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [50].
5.Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [51].

1) Недостаточная освещенность рабочего места

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. В таблице Г.1 приложения Г представлены требования к освещению помещений промышленных предприятий [47].

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. Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте должны соответствовать величинам, приведенным в таблице Г.2. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведенным в таблице Г.3 (см. приложение Г) [48].

3) Повышенный уровень шума

В условиях сильного шума для работника возникает опасность возникновения профессиональных болезней. В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В таблицах Г.4 и Г.5 допустимые уровни шума на производстве (см. приложение Г) [49].

4) 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. В таблице Г.6 приводятся допустимые уровни электромагнитных полей на рабочих местах персонала (см. приложение Г) [50].

5) Возможность поражения электрическим током

Действие электрического тока на организм человека может быть тепловым (ожоги), механическим (разрыв тканей), химическим и биологическим (нарушение функций нервной системы). В таблице Г.7 приложения Г приведены значения напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки [51].

11.2.2 Обоснование мероприятий по снижению неблагоприятных воздействий

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.

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.).

Для снижения воздействия шумовой завесы предлагается установка шумоподавляющих установок и панелей совместно с обеспечением сотрудников СИЗ органов слуха.

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

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

11.3 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 сажеулавливающих установок;
- установка фильтрующих установок;
- установка газоанализаторов.

11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории или

акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и природной среде [52].

Возможные чрезвычайные ситуации, которые могут произойти на данном объекте: возгорание, взрыв, перепитка и недожог котла.

Наиболее характерной для данной системы является техногенная ЧС – пожар. Пожар в свою очередь является угрозой взрыва.

Возможные причины пожара в данной системе:

- короткое замыкание;
- перегрузка сетей;
- несоблюдение правил эксплуатации технологическим процессом;
- несоблюдение техники безопасности.

Мероприятия для предотвращения пожаров:

- контроль состояния устройств коммуникации путем внешнего осмотра, измерения температуры и выявление проблемных участков;
- проведение инструктажа и тренировок эвакуации с сотрудниками;
- установка средств противопожарной безопасности (распылители, огнетушители, противопожарный водовод, ящики с песком);

обучение сотрудников использовать средства пожаротушения.

Вывод по разделу

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

В результаты были определены 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.

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 питания водой 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: $\varepsilon_{CT} = 0$;
- время регулирования: $t_p = 75\ c$.

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

Список литературы:

1. Томская ГРЭС-2 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/ (Дата обращения: 18.11.2020).

2. Бойко Е.А., Охорзина Т.И. Котельные установки и парогенераторы. Красноярск: ФАО РФ ГОУВПО КГТУ, 2005.

3. Андык В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС : учебник / В.С. Андык ; Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 408 с.

4. Мануйлов П.И. Автоматизация тепловых процессов на электростанциях. 2-е, переработ. и доп., М.-Л., Госэнергоиздат, 1961

5. Автоматизация технологических процессов и производств промышленной теплоэнергетики: Письменные лекции для студентов специальности 220301 – «Автоматизация технологических процессов и производств». Томск, ТПУ 2012. – 180 с.

6. Волошенко А. В., Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие/ А. В. Волошенко, Д. Б. Горбунов – Томск: Изд–во Томского политехнического университета, 2008. –109 с.

7. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. - Наука и учеба изд. - Москва: "Энергия", 1978.

8. Датчики давления Emerson- Каталог - Электронная редакция а- Челябинск, 2020, 339с.

9. Датчики давления Элемер - Каталог.- Электронная редакция - Челябинск, 2018, 339с.

10. Датчики давления АМ-2000- Руководство по эксплуатации - Челябинск, 2019, 85с.

11. Преобразователь измерительный Сапфир-22М - Техническое описание и инструкции по эксплуатации- Челябинск, 2019, 85с.

12. Диафрагмы для расходомеров- Каталог - Электронная редакция b- Челябинск, 2016, 265с.

13. Справочное руководство инженера по измерению уровня в энергетике Emerson- Справочное руководство - Электронная редакция – М., 2013, 262 с.

14. Сосуд уравнительный СУ-40/25/6,3-А/Б. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://теплоприбор.рф/,свободный. – Загл. с экрана.

15. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ Р 58604-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Тепловые электрические станции. Автоматизированные системы управления технологическими процесса. Условия создания. Нормы и требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200169004, свободный. – Загл. с экрана.

16. Программируемые контроллеры S7-300- Руководство к эксплуатации - Электронная редакция - М., 2015, 176 с.

17. Программируемый логический контроллер Овен ПЛК210- Руководство к эксплуатации - Электронная редакция- М., 2018, 56 с.

18. Программируемый логический контроллер ЭлеСи ТМК - Руководство к эксплуатации - Электронная редакция- М., 2020, 37 с.

19. Программируемые контроллеры S7-300. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.siemens-pro.ru/, свободный. – Загл. с экрана.

20. Модули центральных процессоров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mall.industry.siemens.com/,свободный. – Загл. с экрана.

21. Модули питания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mall.industry.siemens.com/,свободный. – Загл. с экрана.

22. Аналоговый модуль ввода SM 331. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ste.ru, свободный. – Загл. с экрана.

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

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

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

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

27. Блок ручного управления БРУ-22,-32,-42 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://теплоприбор.рф/, свободный. – Загл. с экрана.

28. Блок ручного управления БРУ-42И. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.zeim.ru/production/docs/re/bru-42i.pdf/, свободный. – Загл. с экрана.

29. 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.

30. Основная схемотехническая проектная и конструкторская документация при разработке АСУ ТП / Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 101 с.

31. Система линейных шкафов TS 8 IP 66/NEMA4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// https://www.rittal.com/, свободный. – Загл. с экрана.

32. Лазарева Т. Я., Мартемьянов Ю. Ф. Основы теории автоматического управления: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 352 с.

33. Атрошенко Ю.К. Метрология, стандартизация и сертификация: сборник лабораторных и практических работ: учебное пособие. Часть 2. – Томск: изд-во ТПУ, 2014. – 92 с.

34. Расчет автоматической системы регулирования питания барабанного парогенератора водой. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине “Автоматизация технологических процессов на ТЭС” для студентов специальности 220301 “Автоматизация технологических процессов и производств”. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - 32 с.

35. MasterScada. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://masterscada.insat.ru/products/?category=9 свободный. – Загл. с экрана.

36. OPC – технологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zetlab.com/graficheskoe-programmirovanie-v-scada-sisteme-zetview/opctehnologii-v-po-zetlab/– Загл. с экрана

37. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021).

39. 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".

40. 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.

41. ГОСТ 21480-76 «Система "человек-машина". Мнемосхемы. Общие эргономические требования».
42. ГОСТ 22269-76 «Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования».
43. ГОСТ 23000-78 «Система "человек-машина". Пульты управления. Общие эргономические требования».
44. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора».
45. 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.
46. 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.
47. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
48. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
49. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
50. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
51. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
52. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22.0.05-97/ГОСТ Р 22.0.05-94. Техногенные чрезвычайные ситуации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200001536, свободный. – Загл. с экрана

Приложение А

Расчет статических характеристик элементов системы

1) Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя уровня

В качестве измерительного преобразователя уровня был выбран дифференциальный манометр типа Метран-150CD.

На рисунке А.1 представлена схема установки уравнительного сосуда [33].

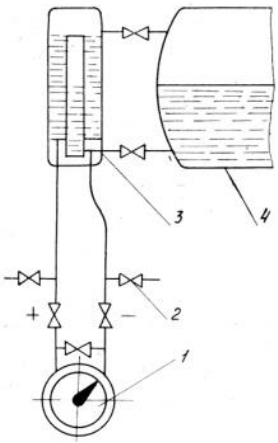

Рисунок А.1 – Схема установки уравнительного сосуда:

1 - дифференциальный манометр; 2 - вентиль; 3 - уравнительный сосуд; 4 - барабан парового котла.

В таблице А.1 приведены данные для снятия выходной характеристики дифференциального манометра “Метран-150CD”.

Таблица А.1 - Данные по снятию выходной характеристики дифференциального манометра “Метран-150CD”

Уровень, мм вод. ст.	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Ток, мА	4	5,6	7,2	8,8	10,4	12	13,6	15,2	16,8	18,4	20

На рисунке А.2 строится зависимость изменения величины тока от измерения давления.

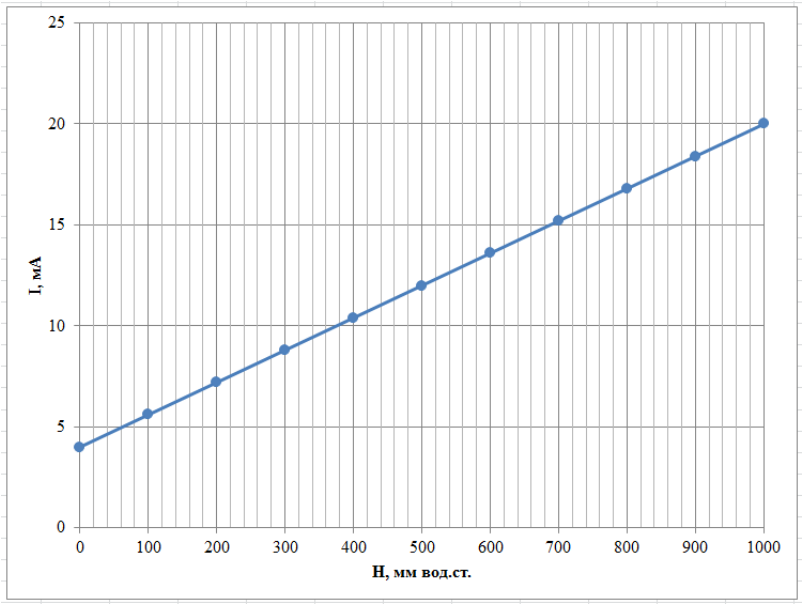

Рисунок А.2- Статическая характеристика измерительного преобразователя для измерения уровня

Расчетным путем проводится определение коэффициента усиления дифманометра и суживающего устройства:

$$К_H = К_{дм} \cdot К_{от},$$

где $К_{дм}$- коэффициент передачи дифманометра;

$К_{от}$- коэффициент передачи отборного устройства (уравнительного сосуда).

$$К_{дм} = \frac{\Delta I}{\Delta H} = \frac{1{,}6}{1000} = 0{,}016\ \frac{мА}{мм\ вод.\ ст.}.$$

$$К_{от} = 0{,}97 - 0{,}0009 \cdot \frac{D_{max} + D_{min}}{2},$$

где D_{max}- максимальная паропроизводительность парогенератора, т/ч;

D_{min}- минимальная паропроизводительность парогенератора, т/ч.

Максимальная паропроизводительность парогенератора рассчитывается по формуле:

$$D_{max} = 1{,}2 \cdot D_{ном} = 1{,}2 \cdot 210 = 252\ т/ч;$$

$$D_{min} = 0{,}3 \cdot D_{max} = 0{,}3 \cdot 252 = 75{,}6 \text{ т/ч};$$

$$К_{от} = 0{,}97 - 0{,}0009 \cdot \frac{D_{max} + D_{min}}{2} = 0{,}97 - 0{,}0009 \cdot \frac{252 + 75{,}6}{2} = 0{,}823.$$

$$К_{H} = К_{дм} \cdot К_{от} = 0{,}016 \cdot 0{,}823 = 0{,}013.$$

2) Расчет коэффициентов передачи измерительных преобразователей расход питательной воды и перегретого пара

Для измерения расходов воды и пара используется метод переменного перепада давления, в котором используется измерительный преобразователь давления - дифманометр и сужающее устройство. В данной АСР используется дифманометр типа Метран-150CD.

Для поверки преобразователей давления устанавливается экспериментальный стенд, включающий в себя поверяемый и эталонный манометр. Схема поверочной установки приведена на рисунке А.3 [33].

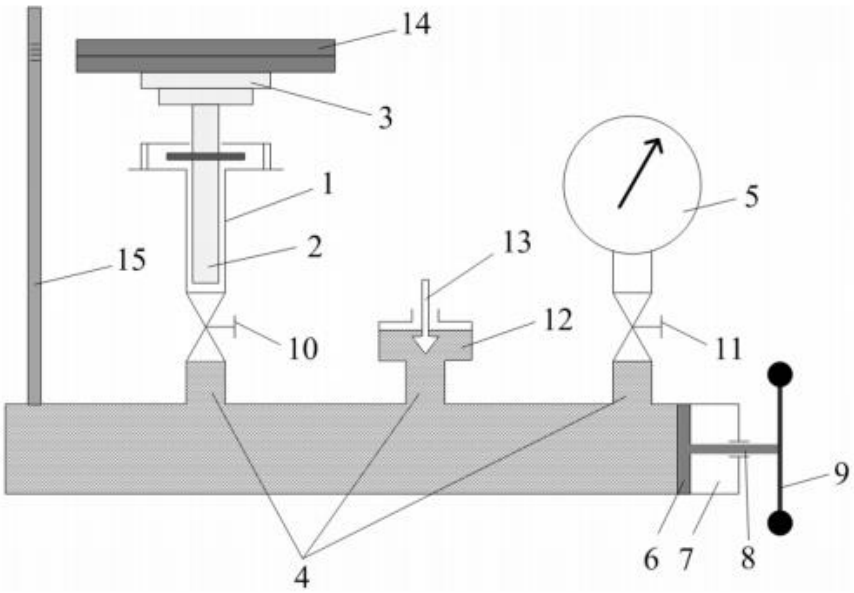

Рисунок А.3- Схема поверочной установки:

1- полный цилиндр; 2- поршень; 3- грузоприемная тарелка; 4- каналы; 5- поверяемый прибор; 6- поршень; 7- цилиндр; 8- винт; 9- рукоятка;

10,11- вентили; 12- емкость; 13- игольчатый вентиль; 14- грузы; 15- стойка

В таблице А.2 приведены данные для снятия выходной характеристики дифференциального манометра типа “Метран-150CD”.

Таблица А.2 - Данные по снятию выходной характеристики дифференциального манометра типа “Метран-150CD”

Расход, кг/с	0	100	200	300	400	500
Ток, мА	4	7	10,2	14,4	17,33	20

Расчетным путем проводится определение коэффициента усиления:

$$К_W = \frac{\Delta I}{\Delta Q} = \frac{3{,}2}{100} = 0{,}032\ \frac{мА}{мм\ вод.\ ст.}.$$

На рисунке А.4 строится зависимость изменения величины тока от измерения давления.

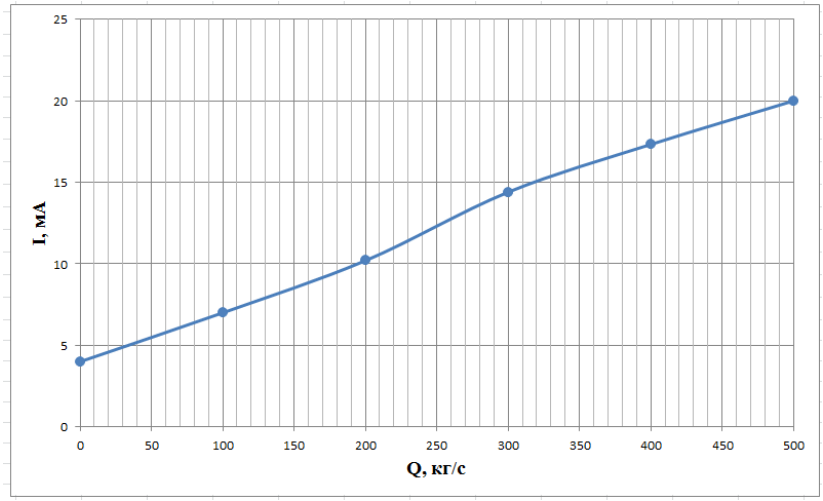

Рисунок А.4 - Статическая характеристика измерительного преобразователя для измерения расхода питательной воды и пара

3) Расчет коэффициента передачи регулирующего органа

В данной работе в качестве регулирующего органа был выбран клапан дроссельного типа. Технологическая схема, необходимая для расчета регулирующего клапана, представлена на рисунке А.5 [34].

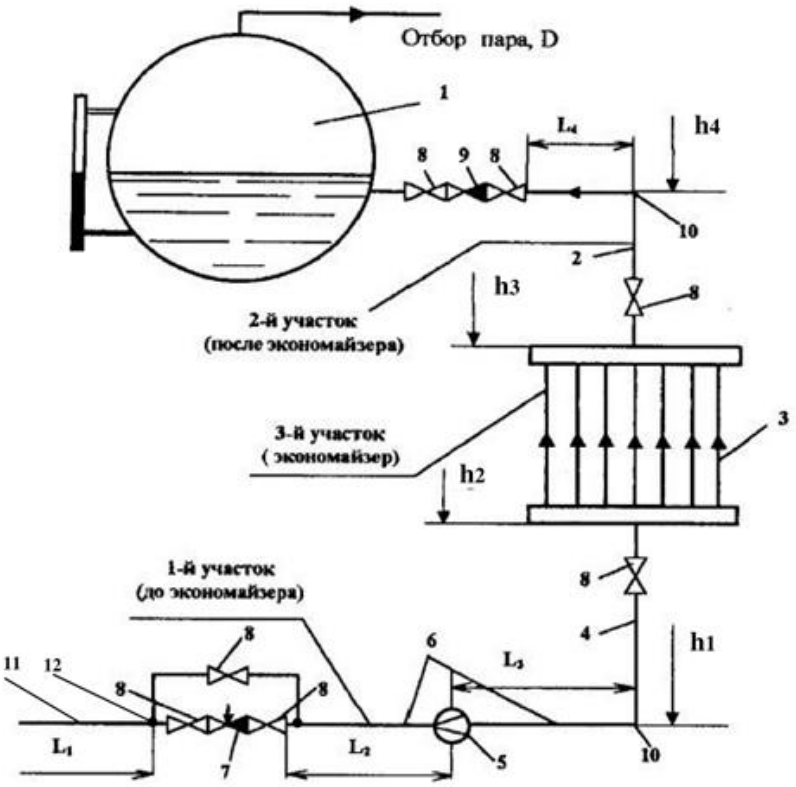

Рисунок А.5 – Технологическая схема подачи питательной воды в парогенератор:

1 –барабан котла; 2 – участок трубопровода подъема питательной воды от экономайзера к барабану; 3 -экономайзер; 4 –участок трубопровода; 5 – сужающее устройство; 6- участки трубопровода; 7 –регулирующий клапан (РПК); 8 – запорная арматура; 9 –обратный клапан; 10 – поворотное колено 90°; 11 – участок трубопровода от питательного насоса до РПК; 12 – тройник; L1, L2, L3 , L4 – соответствующие длины участков трубопроводов; h1, h2, h3, h4 – соответствующие высоты участков трубопровода.

Исходные данные к расчету характеристики приведены в таблице А.3.

Таблица А.3 - Исходные данные к расчету регулирующего органа

Наименование	Обозначение	Значение
Номинальный расход воды парогенератора, т/ч	$W_{ном}$	270
Давление пара в барабане котла, МПа	$P_б$	15,6
Температура насыщенного пара в барабане котла, ^0C.	$T_н$	345
Температура питательной воды перед водяным экономайзером, ^0C.	$T_{пв}$	215
Температура питательной воды после водяного экономайзера, ^0C.	$T_{пвэ}$	346
Давление питательной воды на выходе питательного насоса, МПа	$P_н$	17,44
Потери давления на экономайзере (приняты равными 10 % от Рб), МПа	$\Delta P_э$	1,56
Диаметр условного прохода РПК, мм	$D_у$	219
Длина участка 1 трубопровода, м (см. приложение А)	L_1	28
Длина участка 2 трубопровода, м	L_2	15
Длина участка 3 трубопровода, м	L_3	15
Длина участка 4 трубопровода, м	L_4	13,25
Высота участка 1 трубопровода, м (см. приложение А)	h_1	7,8
Высота участка 2 трубопровода, м	h_2	14,2
Высота участка 3 трубопровода, м	h_3	16,7
Высота участка 4 трубопровода, м	h_4	20,65
Общая длина трубопровода, м	$\Sigma L_{тр}$	64,4
Абсолютная шероховатость трубопровода	Δ	0,2
Ускорение свободного падения, м/с^2	g	9,81
Участок 1 трубопровода (до экономайзера)		
Диаметр трубопровода, м	$d_{тр,1}$	219
Запорная арматура, шт	$n_{з1}$	3
Сужающее устройство(диафрагма), шт	$n_{д1}$	1
Поворотное колено на 90 град., шт	$n_{к1}$	1
Участок 2 трубопровода (после экономайзера)		
Диаметр трубопровода, м	$d_{тр,2}$	219
Запорная арматура, шт	$n_{з2}$	3
Поворотное колено на 90 град., шт	$n_{к2}$	1
Обратный клапан, шт	$n_{ок2}$	1

1 Потери давления на участках трубопровода

1.1 Участок 1 (до экономайзера)

Максимальный расход питательной воды с учетом расхода на продувку:

$$W_{max} = 1{,}2 \cdot (W_{\text{ном}} + 0{,}02 \cdot W_{\text{ном}}) = 1{,}2 \cdot (270 + 0{,}02 \cdot 270) = 330{,}5 \text{ т/ч};$$

Среднее давление питательной воды в трубопроводе на участке 1:

$$P_{\text{тр1,ср}} = P_{\text{н}} - (P_{\text{н}} - P_{\text{б}} - \Delta P_{\text{эк}}) \cdot \frac{L_{\text{тр1}}}{2 \cdot \sum L_{\text{тр}}}$$

$$= 17{,}44 - (17{,}44 - 15{,}6 - 1{,}56) \cdot \frac{28}{2 \cdot 64{,}4} = 17{,}5 \text{ МПа};$$

Плотность питательной воды на участке определяется по таблице физических свойств воды:

$$\rho_{\text{в1}} = f\left(P_{\text{тр1,ср}}; T_{\text{пв}}\right) = 847{,}93 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Максимальная скорость питательной воды:

$$\omega_{max1} = \frac{W_{max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр1}}^2}{4} \cdot \rho_{\text{в1}}} = \frac{330{,}5 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (0{,}219)^2}{4} \cdot 847{,}93} = 2{,}88 \ \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Коэффициент кинематической вязкости участке определяется по таблице физических свойств воды:

$$\nu_1 = f\left(P_{\text{тр1,ср}}; T_{\text{пв}}\right) = 1{,}47 \cdot 10^{-7} \ \frac{\text{кг}}{\text{см} \cdot \text{с}};$$

Максимальное значение числа Рейнольдса:

$$Re_{max1} = \frac{\omega_{max1} \cdot d_{\text{тр1}}}{\nu_1} = \frac{2{,}88 \cdot 0{,}219}{1{,}47 \cdot 10^{-7}} = 4{,}29 \cdot 10^6;$$

Коэффициент трения:

$$\lambda_1 = 0{,}11 \cdot \left(\frac{\Delta \cdot 10^{-3}}{d_{\text{тр1}}} + \frac{68}{Re_{max1}}\right)^{0{,}25} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{0{,}2 \cdot 10^{-3}}{0{,}219} + \frac{68}{4{,}29 \cdot 10^6}\right)^{0{,}25}$$

$$= 0{,}019$$

Потери давления на трение считаются как:

$$\Delta P_{\text{тр1}} = \lambda_1 \cdot \frac{L_{\text{тр1}}}{d_{\text{тр1}}} \cdot \frac{(\omega_{max1})^2}{2} \cdot \rho_{\text{в1}} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0{,}019 \cdot \frac{28}{0{,}219} \cdot \frac{(2{,}88)^2}{2} \cdot 847{,}93 \cdot 10^{-6} = 0{,}008 \text{ МПа.}$$

1.2 Участок 2 (после экономайзера)

Длина участка питательного трубопровода рассчитывается как:

$$L_{\text{тр2}} = L_4 + (h_4 - h_3) = 13{,}25 + (20{,}65 - 16{,}7) = 17{,}2 \text{ м;}$$

Давление питательной воды на входе в участок 2 равно:

$$P_{\text{трн2}} = P_{\text{н}} - (P_{\text{н}} - P_{\text{б}} - \Delta P_{\text{эк}}) \cdot \frac{L_{\text{тр2}}}{2 \cdot \sum L_{\text{тр}}}$$

$$= 17{,}44 - (17{,}44 - 15{,}6 - 1{,}56) \cdot \frac{17.2}{2 \cdot 64{,}4} = 17{,}48 \text{ МПа;}$$

Среднее давление питательной воды в трубопроводе на участке 2:

$$P_{\text{тр2,ср}} = P_{\text{трн2}} - \Delta P_{\text{эк}} - (P_{\text{н}} - P_{\text{б}} - \Delta P_{\text{эк}}) \cdot \frac{L_{\text{тр2}}}{2 \cdot \sum L_{\text{тр}}}$$

$$= 17{,}48 - 1{,}56 - (17{,}44 - 15{,}6 - 1{,}56) \cdot \frac{17.2}{2 \cdot 64{,}4} = 17{,}48 \text{ МПа;}$$

Плотность питательной воды на участке определяется по таблице физических свойств воды:

$$\rho_{\text{в1}} = f\left(P_{\text{тр2,ср}}; T_{\text{пэв}}\right) = 591{,}45 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Максимальная скорость питательной воды:

$$\omega_{max2} = \frac{W_{max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр2}}^2}{4} \cdot \rho_{\text{в1}}} = \frac{330{,}5 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (0{,}219)^2}{4} \cdot 591{,}45} = 4{,}123 \ \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Коэффициент кинематической вязкости участке определяется по таблице физических свойств воды:

$$\nu_2 = f\left(P_{\text{тр2}}; T_{\text{пвэ}}\right) = 1{,}128 \cdot 10^{-7} \ \frac{\text{кг}}{\text{см} \cdot \text{с}};$$

Максимальное значение числа Рейнольдса:

$$Re_{max2} = \frac{\omega_{max2} \cdot d_{\text{тр2}}}{\nu_2} = \frac{4{,}123 \cdot 0{,}219}{1{,}128 \cdot 10^{-7}} = 8{,}57 \cdot 10^6;$$

Коэффициент трения:

$$\lambda_1 = 0{,}11 \cdot \left(\frac{\Delta \cdot 10^{-3}}{d_{\text{тр}2}} + \frac{68}{Re_{max2}}\right)^{0{,}25} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{0{,}2 \cdot 10^{-3}}{0{,}219} + \frac{68}{8{,}57 \cdot 10^6}\right)^{0{,}25} = 0{,}019$$

Потери давления на трение считаются как:

$$\Delta P_{\text{тр}2} = \lambda_2 \cdot \frac{L_{\text{тр}2}}{d_{\text{тр}2}} \cdot \frac{(\omega_{max2})^2}{2} \cdot \rho_{\text{в}2} \cdot 10^{-6} = 0{,}019 \cdot \frac{17{,}2}{0{,}219} \cdot \frac{(4{,}123)^2}{2} \cdot 591{,}45 \cdot 10^{-6} = 0{,}0075 \text{ МПа.}$$

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

2.1 Задвижка

Коэффициент местного сопротивления равен:

$$\xi_{\text{мз}} = \frac{75}{Re_{max1}} + 0{,}15 = \frac{75}{4{,}29 \cdot 10^6} + 0{,}15 = 0{,}15;$$

Потери давления на задвижке:

$$\Delta P_{\text{з}} = \xi_{\text{мз}} \cdot \frac{(\omega_{max1})^2}{2} \cdot \rho_{\text{в}1} \cdot 10^{-6} = 0{,}15 \cdot \frac{(2{,}88)^2}{2} \cdot 847{,}93 \cdot 10^{-6} = 5{,}27 \cdot 10^{-4} \text{ МПа;}$$

Суммарные потери давления на задвижках:

$$\sum \Delta P_{\text{з}} = n \cdot \Delta P_{\text{з}} = 3 \cdot 5{,}27 \cdot 10^{-4} = 15{,}8 \cdot 10^{-4} \text{ МПа;}$$

2.2 Колено 90^0

Коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{\text{мк}} = \frac{130}{Re_{max1}} + 0{,}2 = \frac{130}{4{,}29 \cdot 10^6} + 0{,}2 = 0{,}2;$$

Потери давления на одной колене:

$$\Delta P_{к1} = \xi_{мк} \cdot \frac{(\omega_{max1})^2}{2} \cdot \rho_{в1} \cdot 10^{-6} = 0{,}2 \cdot \frac{(2{,}88)^2}{2} \cdot 847{,}93 \cdot 10^{-6}$$
$$= 7{,}03 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

Суммарные потери давления на колене:

$$\sum \Delta P_{к1} = n \cdot \Delta P_{к1} = 1 \cdot 7{,}03 \cdot 10^{-4} = 7{,}03 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

2.3 Сужающее устройство (диафрагма)

Коэффициент местного сопротивления:

$$\xi_{мд} = \frac{70}{Re_{max1}} + 1 = \frac{70}{4{,}29 \cdot 10^6} + 1 = 1;$$

Потери давления на одной колене:

$$\Delta P_{д} = \xi_{мд} \cdot \frac{(\omega_{max1})^2}{2} \cdot \rho_{в1} \cdot 10^{-6} = 1 \cdot \frac{(2{,}88)^2}{2} \cdot 847{,}93 \cdot 10^{-6}$$
$$= 35{,}16 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

Суммарные потери давления на колене:

$$\sum \Delta P_{к1} = n \cdot \Delta P_{к1} = 1 \cdot 35{,}16 \cdot 10^{-4} = 35{,}16 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

Потери давления на местных сопротивлениях на участке 2

Задвижка

Коэффициент местного сопротивления равняется:

$$\xi_{мз} = \frac{75}{Re_{max2}} + 0{,}15 = \frac{75}{8{,}57 \cdot 10^6} + 0{,}15 = 0{,}15;$$

Потери давления на одной задвижке:

$$\Delta P_{з} = \xi_{мз} \cdot \frac{(\omega_{max2})^2}{2} \cdot \rho_{в2} \cdot 10^{-6} = 0{,}15 \cdot \frac{(4{,}123)^2}{2} \cdot 591{,}45 \cdot 10^{-6}$$
$$= 7{,}54 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

Суммарные потери давления на задвижках:

$$\sum \Delta P_{з} = n \cdot \Delta P_{з} = 3 \cdot 7{,}54 \cdot 10^{-4} = 22{,}6 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

2.4 Колено 90^0

Коэффициент местного сопротивления равен:

$$\xi_{\text{мк}} = \frac{130}{Re_{max2}} + 0{,}2 = \frac{130}{8{,}57 \cdot 10^6} + 0{,}2 = 0{,}2;$$

Потери давления равны:

$$\Delta P_{\text{к2}} = \xi_{\text{мк}} \cdot \frac{(\omega_{max2})^2}{2} \cdot \rho_{\text{в2}} \cdot 10^{-6} = 0{,}2 \cdot \frac{(4{,}123)^2}{2} \cdot 591{,}45 \cdot 10^{-6}$$
$$= 10{,}05 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

Суммарные потери давления равны:

$$\sum \Delta P_{\text{к2}} = n \cdot \Delta P_{\text{к2}} = 1 \cdot 10{,}05 \cdot 10^{-4} = 10{,}05 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

2.5 Обратный клапан

Коэффициент местного сопротивления рассчитывается как:

$$\xi_{\text{м,ок}} = \frac{350}{Re_{max2}} + 0{,}2 = \frac{350}{8{,}57 \cdot 10^6} + 0{,}2 = 0{,}2;$$

Потери давления на обратном клапане:

$$\Delta P_{\text{ок2}} = \xi_{\text{м,ок}} \cdot \frac{(\omega_{max2})^2}{2} \cdot \rho_{\text{в2}} \cdot 10^{-6} = 0{,}2 \cdot \frac{(4{,}123)^2}{2} \cdot 591{,}45 \cdot 10^{-6}$$
$$= 10{,}05 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

Суммарные потери давления на обратном клапане равны:

$$\sum \Delta P_{\text{з}} = n \cdot \Delta P_{\text{з}} = 1 \cdot 10{,}05 \cdot 10^{-4} = 10{,}05 \cdot 10^{-4} \text{ МПа};$$

3 Напор столба жидкости на двух участках трубопровода

Рассчитывается ысота столба жидкости на первом участке трубопровода:

$$\Delta h_1 = h_2 - h_1 = 14{,}2 - 7{,}8 = 6{,}4 \text{ м};$$

Средняя плотность воды в экономайзере равна:

$$\rho_{\text{вэ}} = \frac{\rho_{\text{в1}} + \rho_{\text{в2}}}{2} = \frac{847{,}93 + 591{,}45}{2} = 719{,}69 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Высота столба воды в экономайзере:

$$\Delta h_{\text{э}} = h_3 - h_2 = 16{,}7 - 14{,}2 = 2{,}5 \text{ м};$$

Высота столба воды на втором участке трубопровода:

$$\Delta h_2 = h_4 - h_3 = 20{,}65 - 16{,}7 = 3{,}95 \text{ м};$$

Далее рассчитывается значение напора столба жидкости на двух трубопроводах:

$$\sum \Delta P_h = g \cdot \rho_{\text{в1}} \cdot \Delta h_1 \cdot 10^{-6} + g \cdot \rho_{\text{вэ}} \cdot \Delta h_{\text{э}} \cdot 10^{-6} + g \cdot \rho_{\text{в2}} \cdot \Delta h_2 \cdot 10^{-6}$$
$$= 9{,}81 \cdot 847{,}93 \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-6} + 9{,}81 \cdot 719{,}69 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6} + 9{,}81 \cdot 591{,}45 \cdot 3{,}95 \cdot 10^{-6} = 0{,}0938 \text{ МПа};$$

Потери давления на двух участках трубопровода равняются:

$$\sum \Delta P_T = \Delta P_{\text{тр1}} + \Delta P_{\text{тр2}} = 0{,}008 + 0{,}0075 = 0{,}0155 \text{ МПа};$$

Потери давления на местных сопротивлениях двух участков трубопровода считаются как:

$$\sum \Delta P_\mu = \sum \Delta P_{\text{к1}} + \sum \Delta P_{\text{к2}} + \sum \Delta P_{\text{ок}} + \sum \Delta P_{\text{з1}} + \sum \Delta P_{\text{з2}} + \sum \Delta P_{\text{д}}$$
$$= 7{,}03 \cdot 10^{-4} + 15{,}8 \cdot 10^{-4} + 35{,}16 \cdot 10^{-4} + 22{,}6 \cdot 10^{-4} + 10{,}05 \cdot 10^{-4} + 10{,}05 \cdot 10^{-4} = 0{,}01 \text{ МПа};$$

Суммарные потери давления на трубопроводе питания котла водой равны:

$$\Delta P_c^{max} = \sum \Delta P_T + \sum \Delta P_{\text{э}} + \sum \Delta P_\mu + \sum \Delta P_h$$
$$= 0{,}0155 + 1{,}56 + 0{,}01 + 0{,}0938 = 1{,}68 \text{ МПа};$$

Получившийся перепад давления на РПК равен:

$$\Delta P_{\text{РПК}}^{max} = P_{\text{н}} - (P_{\text{б}} + P_c^{max}) = 17{,}44 - (15{,}6 + 1{,}68) = 0{,}16 \text{ МПа};$$

Диаметр условного прохода РПК принимается равным 250 мм.

Максимальная скорость воды в присоединительном патрубке:

$$\omega_{\text{РПК}}^{max} = \frac{W_{max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot D_y^2}{4} \cdot \rho_{\text{в1}}} = \frac{W_{max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (0{,}25)^2}{4} \cdot 847{,}93} = 2{,}21 \ \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Коэффициент сопротивления РПК при максимальном расходе:

$$\xi_{\text{РПК}}^{max} = \frac{2 \cdot \Delta P_{\text{РПК}}^{max} \cdot 10^6}{(\omega_{\text{РПК}}^{max})^2 \cdot \rho_{\text{в1}}} = \frac{2 \cdot 0{,}16 \cdot 10^6}{(2{,}21)^2 \cdot 847{,}93} = 77{,}27.$$

4 Построение расходной характеристики РПК

Шаг построения расходной характеристики:

$$\Delta W = \frac{W_{max} - 0{,}2 \cdot W_{max}}{10};$$

Начальное значение, шаг и конечное значение счетчика расхода:

$$J = 0{,}1 \ldots 10.$$

Расход питательной воды в расчетной точке:

$$W_j = \Delta W \cdot \mathrm{J} + 0{,}2 \cdot W_{max};$$

Перепад давления в сети в расчетной точке:

$$\Delta P_{\text{с}}^{j} = \Delta P_{\text{с}}^{max} \cdot \left(\frac{W_j}{W_{max}}\right);$$

Коэффициент сопротивления РПК в расчетной точке:

$$\xi_{\text{РПК}}^{i} = \frac{2 \cdot \Delta P_{\text{РПК}}^{j} \cdot 10^6}{(\omega_{\text{РПК}}^{max})^2 \cdot \rho_{\text{в1}}} \cdot \left(\frac{W_j}{W_{max}}\right)^2;$$

В качестве регулирующего клапана возьмем шиберный клапан Чеховского завода энергетического машиностроения. Его гидравлическая характеристика приведена на рисунке А.6.

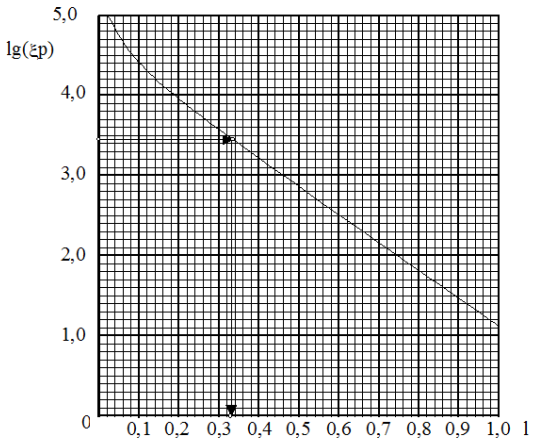

Рисунок А.6 - Гидравлическая характеристика шиберного клапана Чеховского завода энергетического машиностроения

Далее по значениям коэффициента сопротивления $\zeta^{j}_{РПК}$ вычисляем величины $\boldsymbol{lg}(\zeta^{j}_{РПК})$ и по графику гидравлической характеристики клапана находим значения относительного перемещения клапана $\boldsymbol{l}_{j}$. После чего производится построение графика расходной характеристики клапана $\boldsymbol{W}_{j} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{l}j)$. Для удобства анализа данные расчета сводятся в таблицу А.4.

Таблица А.4 - Построение расходной характеристики РПК

W_j	66,91	92,54	118,9	145,4	171,9	198,3	224,7	251,2	277,6	304,1	330,5
ΔP_c^j	0,067	0,132	0,218	0,325	0,454	0,605	0,777	0,970	1,185	1,422	1,68
$\Delta P^j_{РПК}$	1,679	1,614	1,528	1,421	1,292	1,194	0,969	0,776	0,560	0,324	0,066
$\xi^j_{РПК}$	32,46	61,18	95,74	132,9	168,8	198,6	216,6	216,5	191,2	132,6	31,99
$lg(\xi^j_{РП}$	1,511	1,787	1,981	2,123	2,227	2,298	2,336	2,336	2,282	2,122	1,505
l_j	0,88	0,81	0,75	0,71	0,68	0,67	0,65	0,65	0,67	0,7	0,89

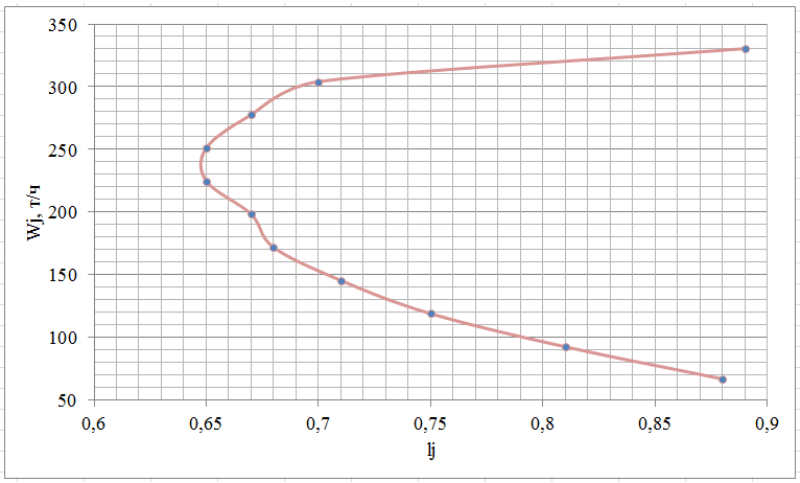

Рисунок А.7 – Рабочая расходная характеристика РПК

Коэффициент передачи РПК находится из графика следующим образом:

– задаемся приращением расхода воды в окрестности выбранного режима работы котла $\Delta W = W_2 - W_1$;

– по графику расходной характеристики определяем изменение относительного перемещения клапана $\Delta l = l_2 - l_1$;

– искомый коэффициент передачи клапана определяем по формуле:

$$K_{\text{ро}} = \frac{\Delta W}{\Delta l \cdot 100\%}, \frac{\text{т/ч}}{\text{\%УП}}$$

где 100% - коэффициент полного диапазона перемещения регулирующего клапана

Таким образом, задаются следующие значения:

1. точка 1. Расход питательной воды равен 224,74 т/ч при относительном перемещении РПК 0,65;

2. точка 2. Расход питательной воды равен 92,54 т/ч при относительном перемещении РПК 0,81.

Отсюда искомый коэффициент равен:

$$K_{\text{ро}} = \frac{\Delta W}{\Delta l \cdot 100\%} = \frac{224{,}74 - 92{,}54}{(0{,}81 - 0{,}65) \cdot 100\%} = 8{,}2625\ \frac{\text{т/ч}}{\text{\%УП}}.$$

Приложение Б

Расчет динамических характеристик элементов системы

1) Экспериментальное определение кривых разгона объекта управления

В данной работе применяется экспериментальный метод определения кривой разгона. Схемы экспериментальных установок для снятия переходной функции объекта управления представлены на рисунке Б.1.

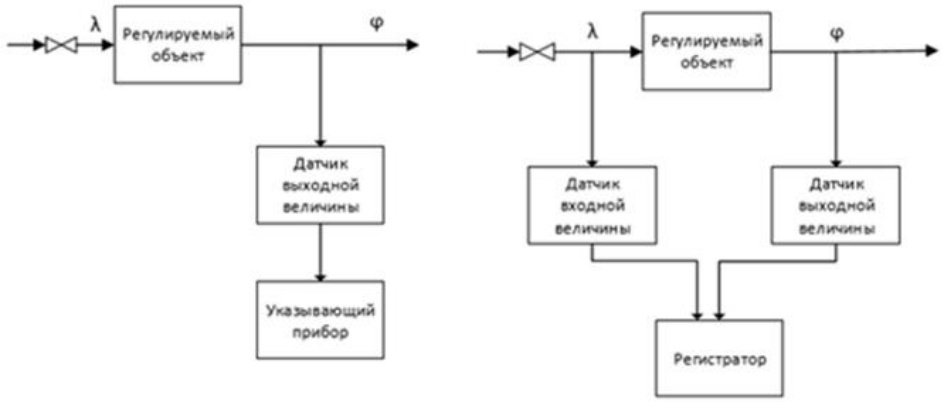

Рисунок Б.1 - Установки для снятия переходной функции объекта управления

Эксперимент проводится следующим образом: первым делом избавляются от возмущений путем их стабилизации. Это делается для упрощения процесса обработки результатов. В системе устанавливают стационарный режим работы, после выбирают величину возмущающего воздействия и его вид, исходя из конкретных условий работы. После этого непосредственно наносят возмущения, регистрируя получившееся изменение входного сигнала от выходного.

Для расчета АСР питания барабанного котла БКЗ-210-140 была получена временная характеристика временная характеристика котла по значению уровня вследствие возмущения расходом питательной воды, представленная на рисунке Б.2.

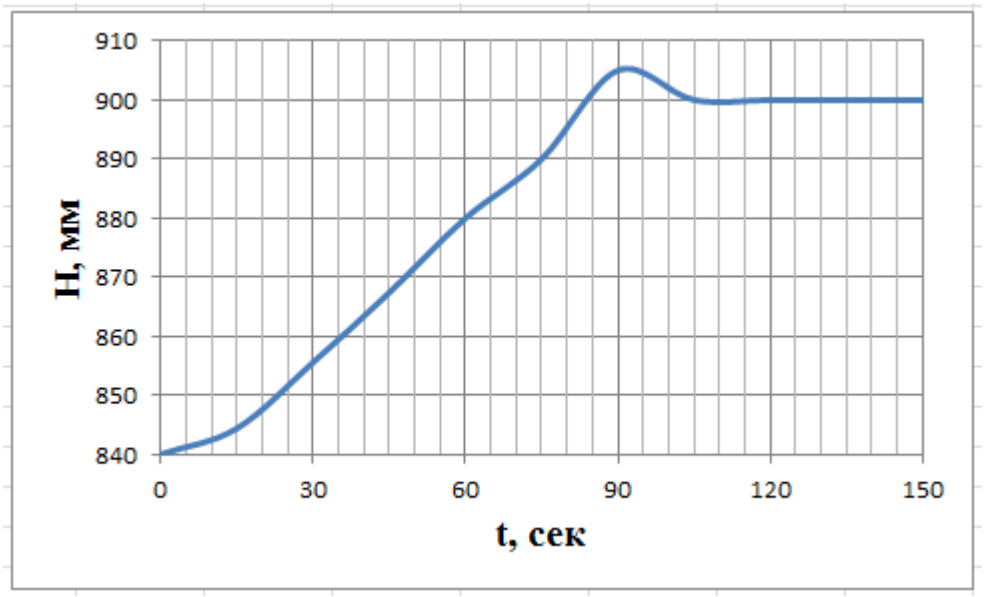

Рисунок Б.2 – Временная характеристика котла по значению уровня вследствие возмущения расходом питательной воды

2) Получение передаточной функции по кривой разгона объекта регулирования

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

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

где K – 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.

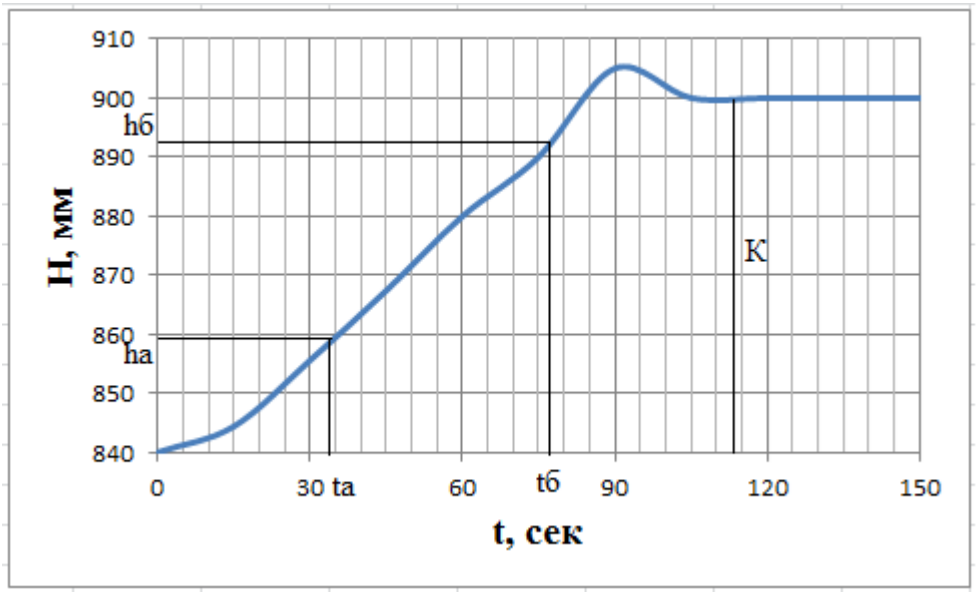

Рисунок Б.3 - Определение точек А и Б

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

$$T = 0{,}5 \cdot (t_{\text{Б}} - t_{\text{А}}) = 0{,}5 \cdot (72 - 33) = 19{,}5;$$

$$\tau = 1{,}25 \cdot (3 \cdot t_{\text{А}} - t_{\text{Б}}) = 1{,}25 \cdot (3 \cdot 33 - 72) = 33{,}75.$$

По кривой разгона определяют коэффициент передачи объекта:

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

где W_0 - величина входного воздействия, равная 5 т/ч.

Передаточная функция имеет вид:

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

3) 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:

$$\varepsilon = \frac{278}{F \cdot (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{п}})} = \frac{278}{60 \cdot (625{,}76 - 89{,}267)} = 0{,}0086\ \frac{\text{мм в. ст.}}{(\text{т/ч}) \cdot \text{с}},$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды на линии насыщения, кг/м^3;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность пара на линии насыщения, кг/м^3;

F – площадь зеркала испарения в барабане котла, м^2.

Время запаздывания τ выбирается в зависимости от давления в барабане котла (таблица Б.1).

Таблица Б.1 – Зависимость транспортного запаздывания от давления в барабане котла

Давление в барабане $P_{\text{Б}}$, МПа	7,0- 8,0	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.

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

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

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

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:

$$\omega = \frac{W_{max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр1}}^2}{4} \cdot \rho_{\text{в1}}} = \frac{260 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (0{,}219)^2}{4} \cdot 847{,}93} = 2{,}262\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Время запаздывания на участке трубопровода:

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

5) Расчет коэффициента передачи потенциометра «чувствительность» датчика уровня

Допустимая нечувствительность по уровню в барабане котла рассчитывается по формуле:

$$\Delta H = 0{,}015 \cdot (H_{\text{В}} + H_{\text{Н}}) = 0{,}015 \cdot (150 + 150) = 4{,}5\ \text{мм},$$

где $H_{\text{В}} = 150$ мм в. ст. – уставка защиты от повышения уровня до первого предела;

$H_{\text{Н}} = 150$ мм в. ст. – уставка защиты от понижения уровня.

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

$$\text{К}_{\text{Ч1}} = \frac{\Delta\Phi}{\text{К}_{\text{Н}} \cdot \Delta H} = \frac{0{,}1}{0{,}013 \cdot 4{,}5} = 1{,}709,$$

где $\Delta\Phi = 0{,}1$ мА – фактическая зона нечувствительности регулятора;

6) 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:

$$W_{\text{ДМ}}(P) = \frac{K_{\text{ДМ}}}{T_{\text{Д}} \cdot P + 1},$$

где $K_{\text{ДМ}} \approx 1$ – коэффициент передачи;

$T_{\text{Д}}$ – постоянная времени.

Рассчитываем допустимую величину амплитуды пульсаций измеряемого параметра на входе в регулятор:

$$A_{\text{доп}} = 0{,}5 \cdot \Delta\Phi = 0{,}5 \cdot 0{,}1 = 0{,}05,$$

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

Рассчитываем необходимое уменьшение амплитуды пульсаций:

$$N = \frac{A_{max} \cdot K_H \cdot \text{Кч}_1}{A_{\text{доп}}} = \frac{22 \cdot 0{,}013 \cdot 1{,}709}{0{,}05} = 9{,}775,$$

где $A_{max} = 22$ мм в. ст. – максимальная амплитуда колебаний уровня в барабане котла.

Постоянная времени демпфера рассчитывается как:

$$T_{\text{Д}} = \sqrt{N^2 - 1} \cdot \frac{T_{max}}{2\pi} = \sqrt{(9{,}775)^2 - 1} \cdot \frac{6}{2\pi} = 9{,}29 \text{ с},$$

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

7) Определение параметров настроек АСР питания барабанного парового котла

Структурная схема для расчета трехимпульсной АСР питания представлена на рисунке Б.4.

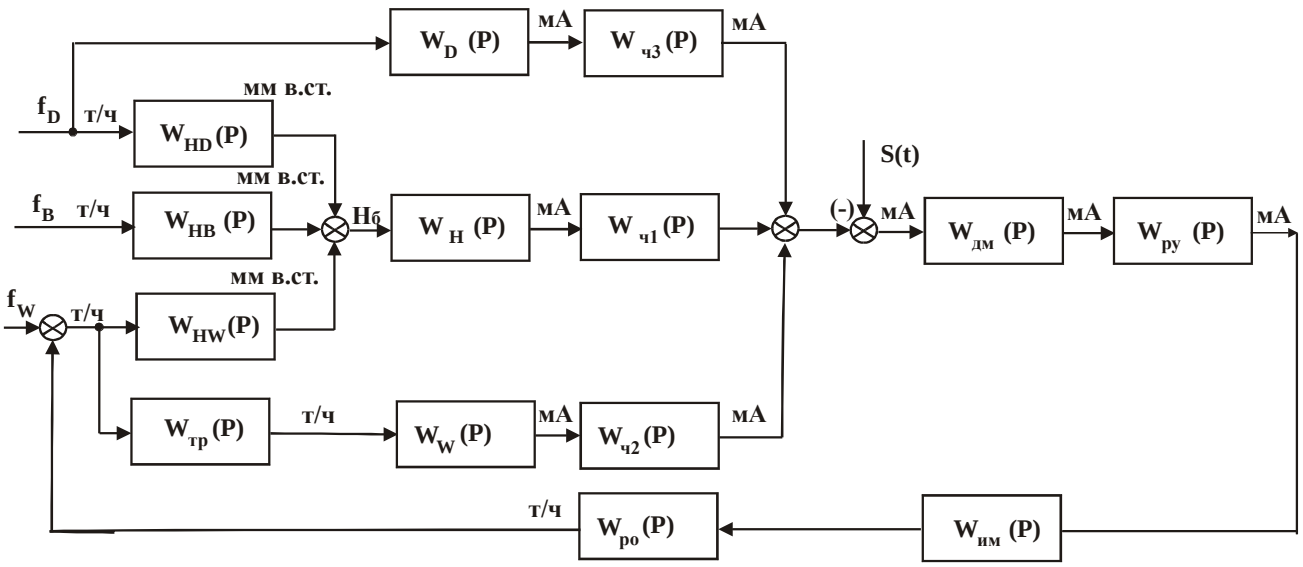

Рисунок Б.4 - Структурная схема для расчета трехимпульсной АСР питания

8) Расчет коэффициента передачи потенциометра «чувствительность» датчика расхода питательной воды (расчет параметров настройки эквивалентного П–регулятора)

Структурную схему (рисунок Б.4) можно преобразовать к виду, изображенному на рисунке Б.5.

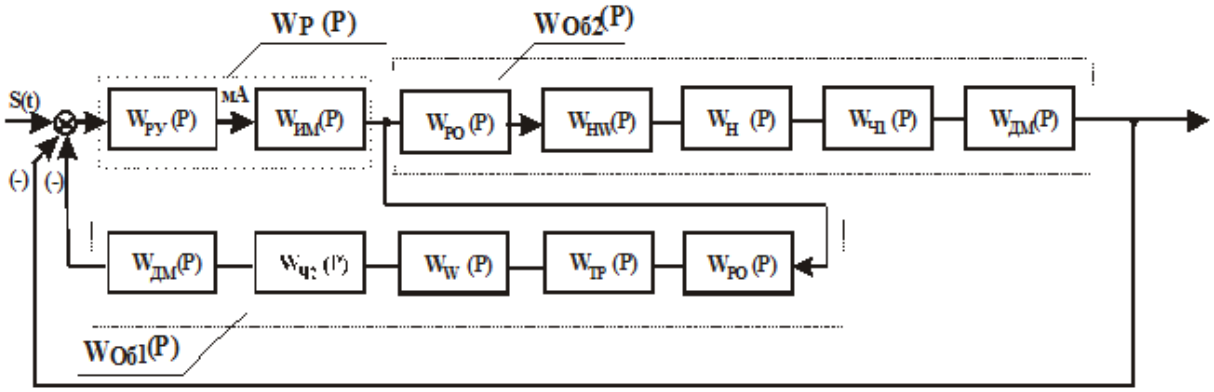

Рисунок Б.5 - К расчету эквивалентного П-регулятора

Согласно рисунку Б.5 регулятор охвачен глубокой обратной связью. Данное соединение необходимо рассматривать как условный регулятор, описываемый передаточной функцией вида:

$$W_P{}^*(P) = \frac{W_P(P)}{1 + W_P(P) \cdot W_{\text{об1}}(P) \cdot K_{\text{Ч2}}} =$$

$$= \frac{W_P(P)}{1 + W_P(P) \cdot W_{\text{ДМ}}(P) \cdot W_{\text{РО}}(P) \cdot W_{\text{тр}}(P) \cdot W_W(P) \cdot K_{\text{Ч2}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{W_P(P)} + W_{\text{ДМ}}(P) \cdot W_{\text{РО}}(P) \cdot W_{\text{тр}}(P) \cdot W_W(P) \cdot K_{\text{Ч2}}}.$$

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

$$W_P{}^*(P) = \frac{1}{W_{\text{ДМ}}(P) \cdot W_{\text{РО}}(P) \cdot W_{\text{тр}}(P) \cdot W_W(P) \cdot K_{\text{Ч2}}}.$$

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:

$$W_P{}^*(P) = K_P{}^* = \frac{1}{K_{\text{РО}}(P) \cdot K_W(P) \cdot K_{\text{Ч2}}}.$$

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

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

По передаточной функции объекта $W_{\text{об2}}(P)$ корневым методом находят параметр 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 ннулевое значение частоты $\omega = 0{,}0001$ с$^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0{,}001$ с$^{-1}$. Рассчитываются расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 0{,}2$ с$^{-1}$.

Действительная составляющая РАФЧХ:

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

Мнимая составляющая РАФЧХ:

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

Квадрат РАЧХ объекта:

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

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

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

Определение оптимального коэффициента передачи П–регулятора представлено на рисунке Б.6.

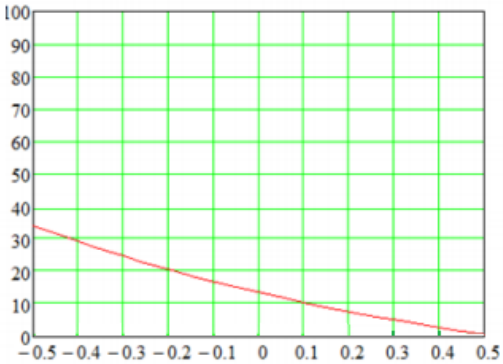

Рисунок Б.6 - К определению оптимального коэффициента передачи П–регулятора

$$K_Р{}^* = 23\ (\%УП/мА).$$

Коэффициент передачи потенциометра «чувствительность» датчика расхода питательной воды:

$$K_{Ч2} = \frac{1}{K_{РО} \cdot K_W \cdot K_Р{}^*};$$

$K_{Ч2} = 0{,}164.$

Коэффициент передачи потенциометра «чувствительность» датчика расхода пара:

$$K_{Ч3} = \frac{K_W \cdot K_{Ч2}}{K_D};$$

$K_{Ч3} = 0{,}164.$

9) Расчет параметров настройки ПИ-регулятора

Структурную схему (рисунок Б.4) преобразуем к виду, изображенному на рисунке Б.7.

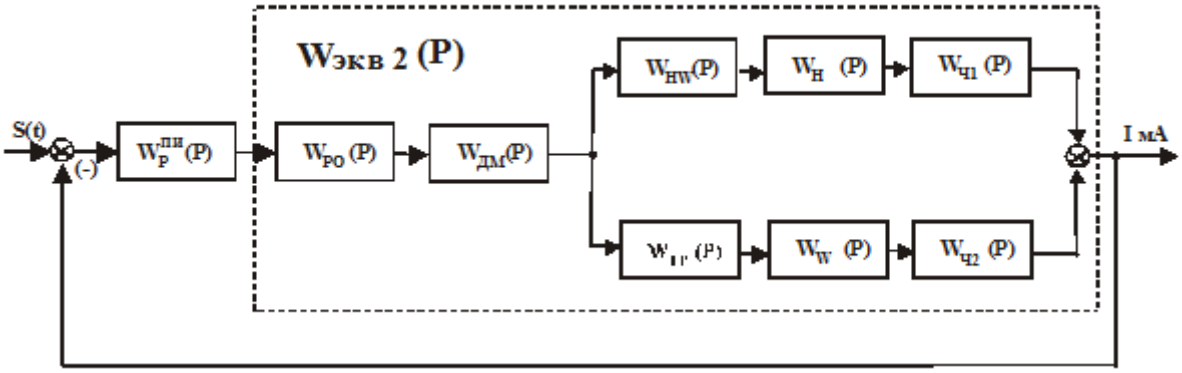

Рисунок Б.7 - Преобразованная структурная схема АСР питания

Как видно из рисунка, передаточная функция эквивалентного объекта $W_{экв1}(P)$ запишется:

$$W_{экв2}(P) = W_{РО} \cdot W_{ДМ} \cdot \left(W_{HW} \cdot W_H \cdot W_{Ч1} + W_{тр} \cdot W_W \cdot W_{Ч2}\right).$$

Рисунок Б.8 - К расчету ПИ–регулятора

РАФЧХ объекта:

$$W_{\text{экв2}}(P) = W_{\text{РО}} \cdot W_{\text{ДМ}}(\omega) \cdot \left(W_{HW}(\omega) \cdot W_H \cdot W_{\text{Ч1}} + W_{\text{тр}}(\omega) \cdot W_W \cdot W_{\text{Ч2}}\right).$$

Действительная составляющая РАФЧХ:

$$Re_{\text{об}}(\omega) = Re\left(W_{\text{об}}(\omega)\right).$$

Мнимая составляющая РАФЧХ:

$$Im_{\text{об}}(\omega) = Im\left(W_{\text{об}}(\omega)\right).$$

Квадрат РАФЧХ объекта:

$$A_{\text{об}}(\omega) = Re_{\text{об}}(\omega)^2 + Im_{\text{об}}(\omega)^2.$$

Параметры настройки ПИ – регулятора:

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

$$K_P(\omega) = \frac{-m \cdot Im_{\text{об}}(\omega) - Re_{\text{об}}(\omega)}{A_{\text{об}}(\omega)}.$$

Граница заданного запаса устойчивости определяется с помощью рисунка Б.9:

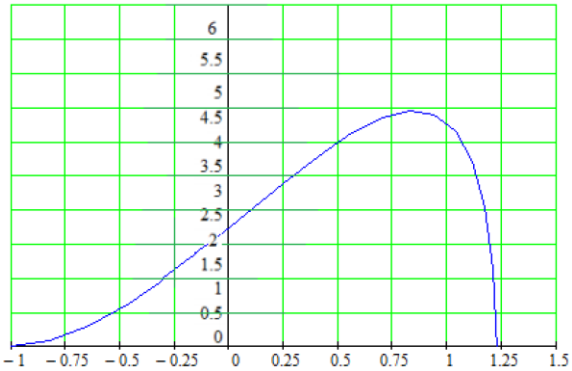

Рисунок Б.9 – К определению оптимального коэффициента передачи ПИ–регулятора

$K_{\text{опт}}$ соответствует максимальному значению $\text{C} = \frac{K_P}{T_{\text{и}} \cdot C}$;

$K_{\text{опт}} = 95$ %УП/мА.

$C = 4{,}5$ %УП/мА.

Время ПИ – регулятора находится по формуле:

$$T_{\text{и}} = \frac{K_{\text{опт}}}{C}.$$

$T_{\text{и}} = 21{,}1$ с.

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

Структурную схему (рисунок Б.4) преобразуем к виду, изображенному на рисунке Б.10.

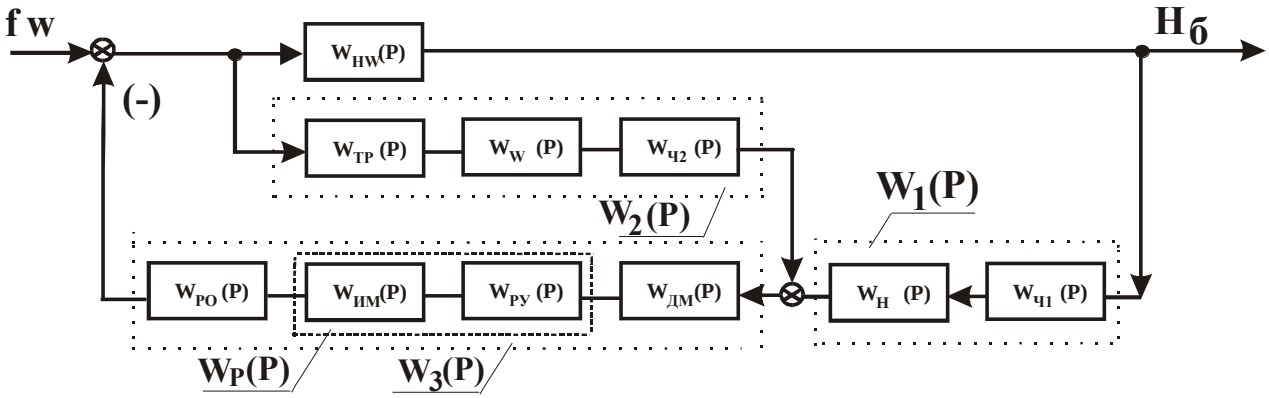

Рисунок Б.10 - К расчету переходной характеристики системы при возмущении расходом воды

Введем следующие обозначения:

$$W_1(P) = W_H(P) \cdot W_{Ч1}(P) = K_{от} \cdot K_{ДМ} \cdot K_{Ч1}.$$

$$W_2(P) = W_{тр}(P) \cdot W_W(P) \cdot W_{Ч2}(P) = K_{тр} \cdot K_W \cdot K_{Ч2}.$$

$$W_3(P) = W_{РО}(P) \cdot W_{ДМ}(P) \cdot W_Р(P) = K_{РО} \cdot K_{ДМ} \cdot (K_Р{}^* \cdot \frac{T_И \cdot P + 1}{T_И \cdot P}).$$

Структурную схему (рисунок Б.10) преобразуем к виду (рисунок Б.11).

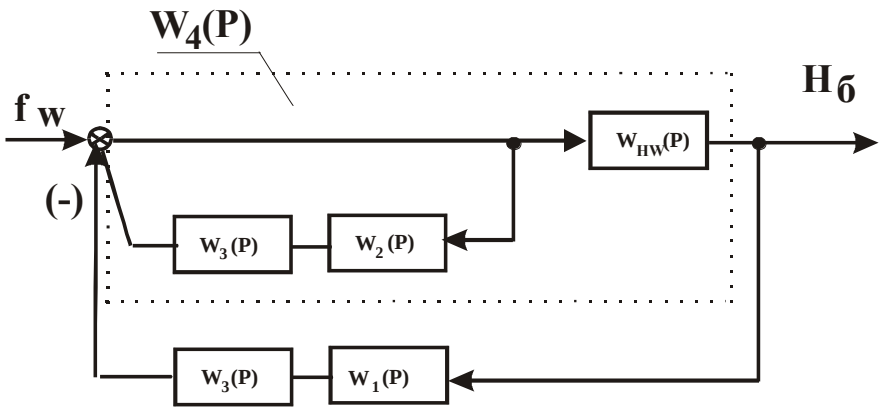

Рисунок Б.11 - Преобразованная структурная схема замкнутой АСР при возмущении расходом воды

Введем следующие обозначения:

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

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:

$\omega = 0, 0{,}001 \ldots 2; P(\omega) = i \cdot \omega.$

АФЧХ ПИ-регулятора:

$$W_P(\omega) = K_Р{}^* \cdot \frac{T_И \cdot P(\omega) + 1}{T_И \cdot P(\omega)}.$$

Действительная составляющая АФЧХ:

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

Для расчета переходного процесса необходимо сначала по АФЧХ замкнутой системы построить вещественную частотную характеристику ВЧХ, которая представлена на рисунке Б.12.

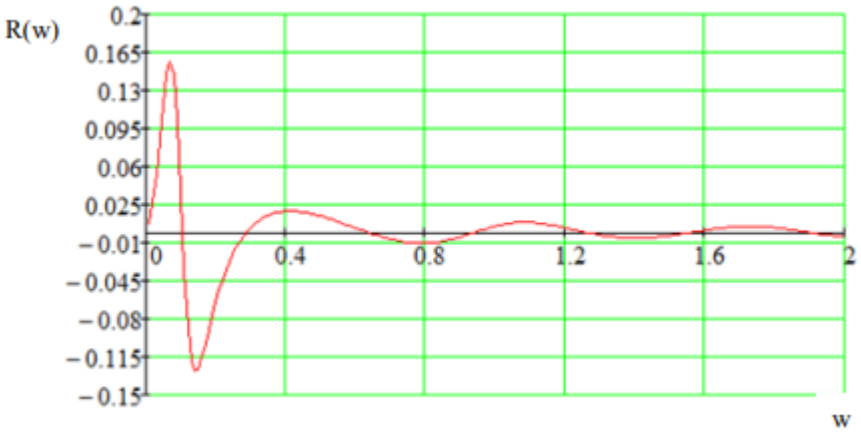

Рисунок Б.12 - ВЧХ замкнутой системы при возмущении расходом питательной воды

Значения ординат переходного процесса, мм/(т/ч) представлены на рисунке Б.12:

$$h(t) = 0{,}637 \cdot \int_0^{1,5} Re_{об}(\omega) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} \cdot d_\omega,$$

где $j = 0 \ldots 140,\ t_j = 1 \cdot j,\ h_j = h(t_j)$.

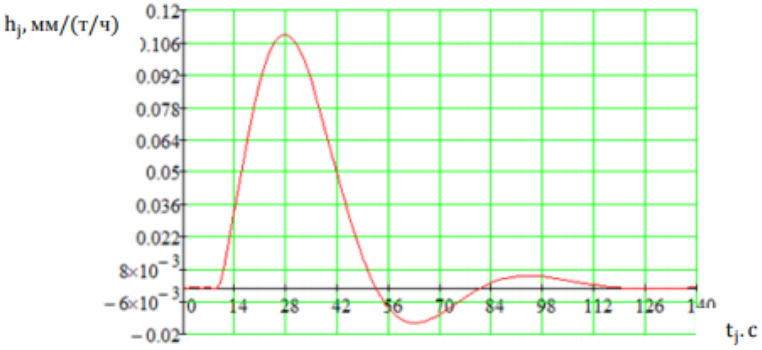

Рисунок Б.13 – Переходный процесс по каналу возмущающего воздействия расходом питательной воды

11) Расчет переходного процесса по каналу задающего воздействия

Структурную схему (рисунок Б.4) преобразуем к виду, изображенному на рисунке Б.14:

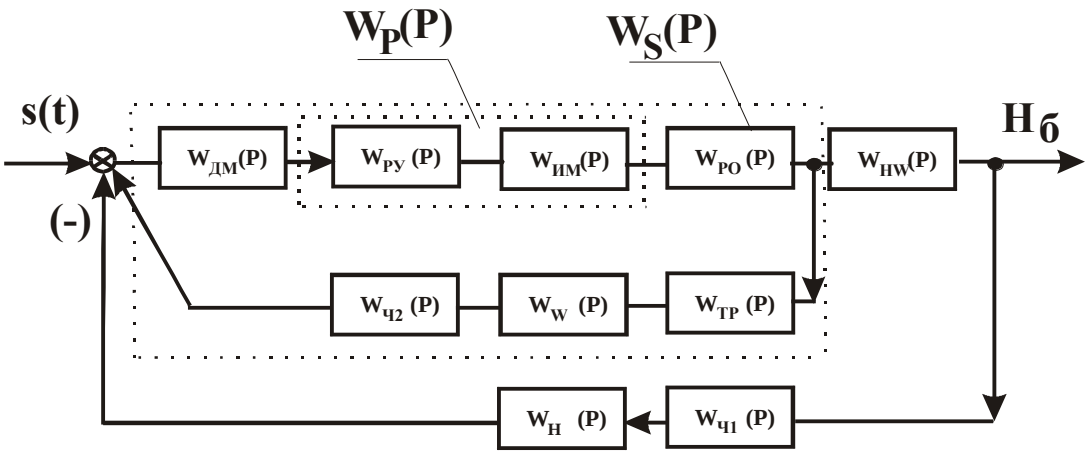

Рисунок Б.14 - К расчету переходного процесса по каналу задания

Задаем диапазон изменения частоты, $с^{-1}$:

$\omega = 0, 0{,}01 \ldots 0{,}5; P(\omega) = i \cdot \omega.$

Согласно рисунку Б.14 передаточная функция внутреннего контура регулирования запишется:

$$W_s(P) = \frac{W_{\text{РО}}(P) \cdot W_{\text{ДМ}}(P) \cdot W_{\text{Р}}(P)}{1 + W_{\text{РО}}(P) \cdot W_{\text{ДМ}}(P) \cdot W_{\text{Р}}(P) \cdot W_{\text{тр}}(P) \cdot W_W(P) \cdot W_{\text{Ч2}}(P)}.$$

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

$$W_{\text{зс}}{}^{S-H}(P) = \frac{W_S(P) \cdot W_{HW}(P)}{1 + W_S(P) \cdot W_{HW}(P) \cdot W_H(P) \cdot W_{\text{Ч1}}(P)}.$$

Действительная составляющая РАФЧХ:

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

Вещественная частотная характеристика ВЧХ представлена на рисунке Б.15.

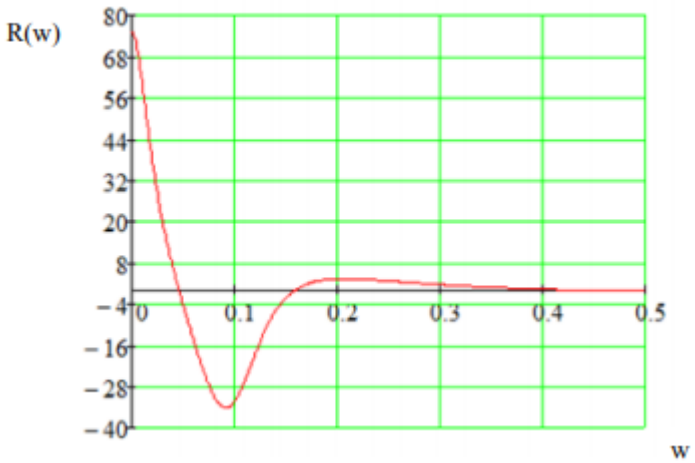

Рисунок Б.15 - ВЧХ замкнутой системы по каналу задающего воздействия

Значения ординат переходного процесса, мм/(мА):

$$h(t) = 0{,}637 \cdot \int_0^{0{,}4} Re_{\text{об}}(\omega) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} \cdot d_\omega,$$

где $j = 0 \ldots 50,\ t_j = 4 \cdot j, h_j = h(t_j).$

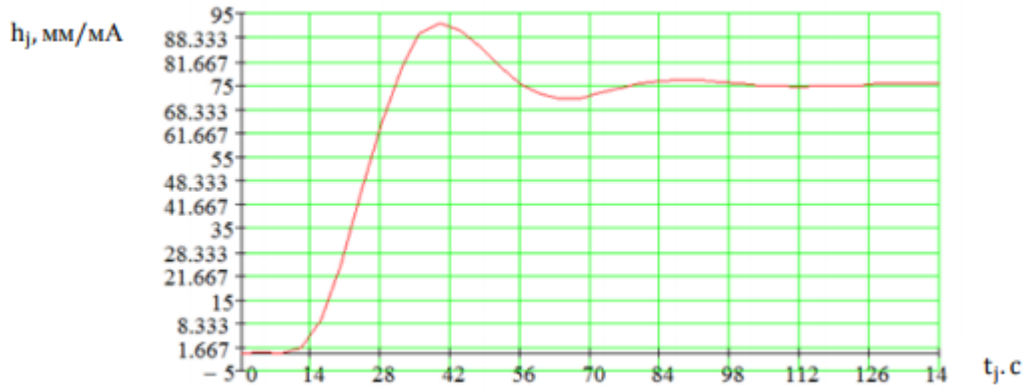

Рисунок Б.16 – Переходный процесс по каналу задающего воздействия

Используя график переходного процесса, определяем следующие прямые оценки качества:

1. Максимальная динамическая ошибка:

1. по каналу возмущений $A_1 = 0{,}111$;

2. по каналу заданий $A_1 = 15{,}8$.

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:

$$\psi_1 = \frac{17 - 1}{17} = 0{,}94.$$

4. Статическая ошибка по обоим каналам:

$$\varepsilon_{\text{ст}} = 1 - 1 = 0.$$

5. Время регулирования по возмущению:

$$t_{\text{р}1} = 110 \text{ с}.$$

по заданию:

$$t_{\text{р}1} = 75 \text{ с.}$$

Приложение В

Разработка мнемосхемы рабочего места оператора

1) Разработка прикладного программного обеспечения среднего уровня (СУ) АСУ ТП

На рисунке В.1 представлены сигналы, участвующие в программе.

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    RV:REAL:=210;  //Расход воды
    RP:REAL:=202;  //Расход пара
    Uroven:REAL:=1500; //Уроень в барабане котла
    RK:REAL:=0;  //Положение регулирующего органа
    KK:REAL:=1;
    Ruchnoi:BOOL:=FALSE;  //Ручной режим работы
    Auto:BOOL:=FALSE;  //Автоматический режим работы
    HRuchnoi:BOOL:=FALSE;  //Лампа ручного режима
    HAuto:BOOL:=FALSE;  //Лампа автоматического режима
    PovUr:BOOL:=FALSE;  //Повышенный уровень в барабане котла
    PonUr:BOOL:=FALSE; //Пониженный уровень в барабане котла
    Uvel:BOOL:=FALSE; //Пониженный уровень в барабане
    Umen:BOOL:=FALSE;  //Повышенный уровень в барабане
    Zadat:REAL:=1650;  //Задатчик уровня
    Zotrk:BOOL:=FALSE;  //Сигнал индикации открытия задвижки
    Zzakr:BOOL:=FALSE; //Сигнал закрытия задвижки
    KritUrV:BOOL:=FALSE;  //Критически высокое значение уровня
    KritUrP:BOOL:=FALSE;  //Критически пониженное значение уровня
END_VAR
```

Рисунок В.1 – Переменные системы

На рисунках В.2-В.5 представлен листинг программы.

```
RP:=RV*0.96;
Uroven:=RV*7.3;
IF RK>101
    THEN
    RK:=100;
END_IF
IF RK<0
    THEN
    RK:=0;
END_IF
IF Ruchnoi=TRUE THEN
    Auto:=FALSE;
END_IF
IF Auto=TRUE THEN
    Ruchnoi:=FALSE;
END_IF
IF Auto=TRUE THEN
    HAuto:= TRUE; ELSE HAuto:=FALSE;
END_IF
IF Ruchnoi=TRUE THEN
    HRuchnoi:= TRUE; ELSE HRuchnoi:= FALSE;
END_IF
```

Рисунок В.2 – Листинг программы

```
//Автомататический  режим
IF Auto=TRUE
THEN
Zotkr:= TRUE;
IF RK<101
    THEN
    RV:=210+(RK*0.5);
END_IF
    IF (Uroven)>=ZADAT THEN
    RK:=RK-0.1;
    END_IF
    IF (Uroven)<ZADAT OR (Uroven-10)=ZADAT
    THEN
    RK:=RK+0.1;
    END_IF
    IF Uroven>KK AND Uroven >= ZADAT
        THEN RK:=RK-0.4;
    END_IF
END_IF
```

Рисунок В.3 – Листинг программы

```
//Ручной режим работы
IF Ruchnoi=TRUE
THEN
RV:=210+(RK*0.5);
    IF Uvel=TRUE
    THEN
    Umen:=FALSE;
    UV:=TRUE;
    RK:= RK+0.1;
    ELSE
    UV:=FALSE;
    Uvel:=FALSE;
END_IF
    IF Umen=TRUE
    THEN
    UM:=TRUE;
    Uvel:=FALSE;
    RK:=RK-0.1;
    UM:=FALSE;
    END_IF
    Umen:=FALSE;
END_IF
IF
RK <=0 THEN
RK:=0;
Zotkr:=FALSE;
Zzakr:= TRUE;
END_IF
IF
```

Рисунок В.4 – Листинг программы

```
IF
    RK>0 THEN
    Zotrk:=TRUE;
    Zzakr:=FALSE;
END_IF
IF RK>100 THEN
    RK:=100;
END_IF
IF RP<=0.1 THEN
    RP:=0;
END_IF
IF RV<=0.1 THEN
    RV:=0;
END_IF
IF Uroven<=0.1 THEN
    Uroven:=0;
END_IF
IF Uroven>1650 THEN
PovUr:=TRUE; ELSE
PovUr:=FALSE;
    END_IF
if Uroven<1350 then
PonUr:=TRUE; ELSE
PonUr:=FALSE;
    END_IF
IF Uroven>=1820 THEN
KriturV:=TRUE; ELSE
KriturV:=FALSE;
END_IF
IF Uroven<=1240 THEN
KritUrP:=TRUE; ELSE
KritUrP:=FALSE;
END_IF
IF RK<=0 THEN
    RK:=0;
    Zotrk:=FALSE;
    Zzakr:=TRUE;
END_IF
```

Рисунок В.5 – Листинг программы

2) Разработка прикладного программного обеспечения верхнего уровня

Наладим связь между виртуальным контроллером с MasterSCADA с помощью OPC-сервера. После установления связи добавим OPC переменные из программы [36].

В контроллере создаем окно и добавляем на него необходимые объекты (создаем мнемосхему) и осуществляем связь объектов с переменными.

Рисунок В.6 - Список переменных в дереве OPC DA

Приложение Г

Анализ вредных и опасных факторов

Таблица Г.1 - Требования к освещению помещений промышленных предприятий

Характеристика зрительной работы	Разряд зритель-ной работы	Под-разряд зритель-ной работы	Контраст объекта с фоном	Характе-ристика фона	Искуственное освещение	
					Освещенность, лк	
					при системе комбиниро-ванного освещения	при системе общего осве-щения
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

Таблица Г.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С
Холодный	Iб (140 - 174)	21-23	20-24
Теплый	Iб (140 - 174)	22-24	21-25
Период года	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
Холодный	60-40	0,1	
Теплый	60-40	0,1	

Таблица Г.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням 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	18-25	15-75
Теплый	0,1	0,3	19-29	15-75

Таблица Г.4 – Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах

Эквивалентные уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Эквивалентный общий уровень звукового давления, дБ	Максимальный текущий общий уровень инфразвука, дБ
2	4	8	16		
100	95	90	85	100	120

Таблица Г.5 – Предельно допустимые уровни звукового давления воздушного ультразвука на рабочих местах

Третьоктавные полосы частот, кГц	Уровни звукового давления, дБ
12,5	80
16,0	90
20,0	100
25,0	105
31,5-100,0	110

Таблица Г.6 – Предельно допустимые значения напряженностей электрического и магнитного полей

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	-	-

Таблица Г.7 – 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