

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 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
АСУ ТП регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2

УДК 681.586:621.183.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Кадуркин Иван Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Бутакова	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	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШЭ	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы  
магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации
<b>ПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
<b>ПК(У)-3</b>	Способен интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
<b>ПК(У)-4</b>	Способен применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
<b>ПК(У)-5</b>	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и

	обсуждать результаты научных исследований
<b>ПК(У)-7</b>	Способен руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений
<b>ПК(У)-8</b>	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий



	3. Схема внешних проводок 4. Схема принципиальная электрических щита управления 5. Сборочный чертеж щита управления
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Пашков Евгений Николаевич, доцент ООД, к.т.н.
Иностранный язык	Пичугова Инна Леонидовна, старший преподаватель
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
1. Введение 2. Экспериментальные исследования	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	1.10.2020
---	-----------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Кадуркин Иван Васильевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 170 с., 39 рис., 38 табл., 66 источников, 2 приложение.

Ключевые слова: паровой котел; автоматизированная система управления; программируемый (промышленный) логический контроллер (ПЛК); микропроцессорные технические средства автоматизации; уровень воды в барабане.

Объектом автоматизации является паровой котел Е-160-2,4.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления регулирования уровня в барабане парового котла типа Е-160-2,4 на основе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проводились: анализ объекта автоматизации, экспериментальные исследования, составление структурной схемы автоматизированной системы, разработка функциональной, электрических схем и сборочного чертежа щита управления, графическое изображение мнемосхемы пароводяного тракта котла, алгоритм программного обеспечения для программируемого логического контроллера, выбор приборов и технических средств автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

Основным преимуществом разработанной АСУ ТП является наличие программно-оперативного комплекса на базе SCADA-системы, который осуществляет разделение функций между автоматической системой и оперативным персоналом для повышения качества регулирования и быстродействия системы, а также позволяет вовремя отреагировать на любую сложную ситуацию в процессе эксплуатации системы.

## Оглавление

Реферат.....	6
Введение.....	11
1 Системный анализ технологического объекта автоматизации.....	13
1.1 Назначение и структура ТЭЦ-3.....	13
1.2 Установленные мощности.....	15
1.3 Описание конструкции пикового парового котла Е-160-2,4.....	18
1.4 Состояние автоматизации на текущий момент.....	20
1.5 Обоснование необходимости формирования АСУ на ТЭЦ-3.....	23
1.6 Выбор структуры подсистемы локального регулирования АСУ.....	28
2 Экспериментальные исследования.....	40
2.1 Экспериментальная установка.....	44
2.2 Результаты экспериментальных исследований.....	47
2.3 Расчет погрешностей измерений.....	57
3 Разработка структуры технических средств АСУ.....	62
3.1 Перечень функций реализуемых АСУ.....	62
3.2 Разработка структуры технических средств подсистемы АСУ.....	63
3.3 Составление технического задания на проектирования и разработку подсистемы АСУ.....	65
4 Проектирования схемы автоматизации полевого уровня АСУ на основе микропроцессорной техники.....	71
4.1 Проектирования функциональной схемы.....	71
4.2 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации ТСА.....	73
4.2.1 Выбор преобразователя температуры.....	73

4.2.2	Выбор преобразователя давления.....	76
4.2.3	Выбор технических средств измерения расхода.....	77
4.2.4	Выбор преобразователя уровня.....	79
4.2.5	Выбор программируемого логического контроллера.....	81
4.2.6	Выбор исполнительного механизма.....	85
4.2.7	Составление перечней входных и выходных сигналов.....	86
5	Разработка щита управления.....	88
5.1	Разработка принципиальной электрической схемы щита управления.....	89
5.2	Проектирование схемы внешних проводок.....	91
5.3	Разработка сборочного чертежа щита управления.....	92
6	Разработка фрагментов программного и информационного обеспечения.....	94
6.1	Разработка программного обеспечения АСУ.....	94
6.2	Разработка мнемосхем SCADA-системы.....	95
6.3	Разработка информационного обеспечения.....	101
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	103
7.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	103
7.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	105
7.3	SWOT -анализ.....	106
7.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	110
7.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	112
7.6	Инициация проекта.....	113
7.7	Планирование работ и оценка времени выполнения.....	116
7.8	План проекта.....	117
7.9	Смета затрат на проект.....	119

7.10 Материальные затраты.....	120
7.11 Затраты на амортизацию.....	120
7.12 Затраты на заработную плату.....	121
7.13 Затраты на социальные нужды.....	122
7.14 Прочие затраты.....	122
7.15 Накладные расходы.....	123
7.16 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	123
7.17 Определение экономической эффективности проекта.....	124
7.18 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	127
8 Социальная ответственность.....	130
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	130
8.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	133
8.1.2 Общие эргономические требования.....	134
8.2 Производственная безопасность.....	136
8.2.1 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	137
8.2.2 Превышение уровня шума и вибрации.....	139
8.2.3 Отклонение показателей микроклимата.....	139
8.2.4 Поражение электрическим током.....	140
8.2.5 Механическое воздействие.....	141
8.2.6 Тепловое воздействие.....	141
8.3 Экологическая безопасность.....	142
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	143
8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	146
Заключение.....	147

Список использованных источников.....	148
Приложение А Заказная спецификация приборов и ТСА.....	155
Приложение Б «Experimental research on laser spectroscopy method for recording the concentration of water vapor in sealed containers».....	157
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.008 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.008 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.008 Э4	Схема принципиальная электрическая щита управления
ФЮРА.421000.008 С4	Схема внешних проводок
ФЮРА.421000.008 ПЭ	Перечень элементов щита управления
ФЮРА.421000.008 СБ	Сборочный чертеж щита управления
ФЮРА.421000.008 СО	Спецификация оборудования щита управления

## Введение

На современном этапе развития энергетических отраслей промышленности, большое значение имеет развитие автоматизированного управления производством. Уровень автоматизации технологических процессов является решающим фактором в повышении надежности и эффективности производства тепловой и электрической энергии и их конкурентоспособности на рынке электроэнергии и мощности.

Технологический процесс ТЭС и ТЭЦ отличается сложностью взаимосвязей между большим числом агрегатов, высокими параметрами рабочей среды, требованиями к точности их регулирования. Именно это обусловило постоянный поиск и внедрение новых методов усовершенствования систем управления на базе теории и новых технических средств автоматического управления. Степень эффективности системы управления технологическим процессом находится в прямой зависимости от качества и точности автоматизированного ведения технологических процессов, при условии максимального исключения вмешательства оперативного персонала, как в работу системы, так и в сам процесс управления.

Вместе с тем технический уровень систем контроля и управления (СКУ), установленных на большинстве отечественных электростанций 30-40 лет назад, в эпоху бурного развития отечественной энергетики, устарели физически и морально, а также не отвечают современным требованиям по качеству технических средств, объему и уровню их функциональности. В связи с этим существует объективная необходимость замены устаревших средств автоматизации и модернизации АСУ на ТЭС и ТЭЦ в целом [1].

Введение новых систем автоматизированного контроля и управления приводит к повышению надежности и точности отслеживания технологического процесса. Системный подход, при решении вопросов автоматизации технологических процессов, создание и внедрение автоматизированных систем управления позволили осуществить переход к

комплексной автоматизации всех основных и вспомогательных технологических процессов: поддержания горения топлива, регулирования различных параметров и повышения эффективности работы котлоагрегата, реализация технологических защит и блокировок.

Настоящая работа нацелена на разработку автоматизированной системы управления регулирования уровня в барабане парового котла на основе микропроцессорных средств автоматизации. В практическом плане исследование направлено на совершенствование инструментальных средств автоматизации, разработку проектной документации, которая включает в себя: структурную, функциональную, принципиальную электрическую схемы, схемы внешних проводок, разработку сборочного вида щита управления, алгоритм программного обеспечения для программируемого логического контроллера, графическое изображение мнемосхемы SCADA-системы.

## 1 Системный анализ технологического объекта автоматизации

### 1.1 Назначение и структура ТЭЦ-3

Томская ТЭЦ-3 структурное подразделение АО «Томская Генерация» входит в состав группы «Интер РАО» проектировалась в 1960-х годах, как составная часть новой схемы для покрытия электрических и тепловых нагрузок северного промышленного узла, в первую очередь, Томского нефтехимического комбината (ТНХК), а также для обеспечения теплом потребителей жилищно-коммунального сектора г. Томска.

Начало подготовительного периода строительства ТЭЦ-3 было предусмотрено в 1982 году. Начало эксплуатации Томской ТЭЦ-3 начинается с 1988 года, ввод в эксплуатацию и пуск первого пикового парового котла завод-изготовитель ПО «Красный котельщик» г. Таганрог Е-160-2,4 производительностью 160 т/ч.

В 1995 году пусконаладочные работы на обессоливающей установке химводоочистки, приёмка в эксплуатацию Главного щита управления (ГЩУ). В 1996 году ввод в эксплуатацию энергоблока № 1 в составе: котел БКЗ-500-140 (станционный № 1А), турбина ПТ-140-165 (станционный № 1), турбогенератор ТВВ-160. В начале 2000 году ввод в эксплуатацию парового котла БКЗ-500-140 (ст. № 1Б), блочной бойлерной установки, доведение установленной мощности станции до проектной мощности.

ТЭЦ-3 расположена в северно-восточной части г. Томска рядом с ТНХК. Численность сотрудников станции составляет примерно 360 человек.

Основная структура управления электростанции предусматривает деление технологического оборудования и территории на отдельные участки и закрепление их за специализированными подразделениями – цехами и лабораториями. Инженерно-лабораторный корпус (ИЛК) с прилегающей территорией управления ТЭЦ-3 соединен специальным надземным переходом с машзалом.

Цеха, в зависимости от их участия в непосредственном производстве выработки тепла и электроэнергии подразделяют: котлотурбинный цех (КТЦ), электрический цех (ЭЦ), химический цех (ХЦ), цех тепловой автоматики и измерений (ЦТАИ), цех технического обслуживания тепломеханического оборудования (ЦТО ТМО), направление информационных технологий (НИТ).

Основной комплекс сооружений Томской ТЭЦ-3 расположен на промплощадках:

- главный корпус с примыкающими к нему сооружениями для очистки дымовых газов с дымовыми трубами является основным объектом ТЭЦ-3;
- открытое распределительное устройство ОРУ-110 кВ, ОРУ-220 кВ;
- циркуляционная насосная станция (ЦНС);
- канализационная насосная станция (КНС);
- теплораспределительный узел (ТРУ);
- брызгальный бассейн;
- пленочная градирня башенного типа;
- компрессорная станция;
- газорегуляторный пункт (ГРП);
- маслوماзутоное хозяйство (ММХ), в которое входит: мазутные баки (МБ) 3 x 3000 м<sup>3</sup>, приёмно-сливная эстакада, емкость, насосная совмещенная с маслоаппаратной.

Основным видом топлива для энергетических котлов БКЗ-500-140 (ст. № 1А, № 1Б) является природный газ, поступающий через газораспределительную станцию (ГРС-4) из магистрального газопровода «Парабель – Кузбасс».

Основным видом топлива для пиковых паровых котлов Е-160-2,4 является природный газ, резервным – топочный мазут М-100.

Система циркуляционного технического водоснабжения – оборотная с брызгальным бассейном и одной испарительной пленочной градирней башенного типа строение № 2 с площадью охлаждения 3200 м<sup>2</sup>. Исходной водой для водоподготовительной установки подпитки котлов является вода реки Томь. Схема водоподготовительной установки подпитки котлов –

коагуляция в осветлителях, освещение на механических фильтрах, трехступенчатое химическое обессоливание.

Котлы Е-160-2,4 паровой котельной подключены к дымовой трубе высотой 240 м с диаметром устья 8,1 м. Отвод дымовых газов от котлов энергетической части предусмотрен в дымовую трубу высотой 270 м с диаметром устья 11,4 м.

## 1.2 Установленные мощности

Установленную мощность энергоблока ТЭЦ-3 составляет: электрическая мощность станции 140 МВт, максимальная 160 МВт, тепловая мощность – 780 Гкал/ч., в том числе отборов турбоагрегата – 310 Гкал/ч., пиковой паровой котельной – 470 Гкал/ч.

В машинном зале отделения КТЦ установлены паровые котлы типа БКЗ-500-140, 2 единицы, с параметрами давления пара 140 кгс/см<sup>2</sup> и температурой 545 °С. Паровые котлы имеют П-образную компоновку. Котел газоплотный с уравновешенной тягой, с одним барабаном, с естественной циркуляцией, вертикально расположенными водяными трубками, с мембранными экранами предназначен для получения пара высокого давления. Для подачи воздуха и отсоса дымовых газов используются тягодутьевые механизмы.

Паровая теплофикационная турбина ПТ-140/165-130 представляет собой одновальный двухцилиндровый агрегат, который имеет:

- 13 ступеней в цилиндре высокого давления (ЦВД);
- 11 ступеней в цилиндре среднего и низкого давления (ЦСНД);
- 7 регенеративных отборов;
- 2 регулируемых отбора;
- расход пара: номинальный производственный отбор (ПО) 330 т/ч, номинальный теплофикационный отбор (ТО) 113 Гкал/ч;
- температура пара 545 °С;
- давление свежего пара 120 кгс/см<sup>2</sup>;

- давление в конденсаторе 8,8 кПа;
- структурную формулу системы регенерации: 3 ПВД + Д + 4 ПНД.

Турбогенератор серии ТВВ-160-2ЕУЗ с водородно-водяным охлаждением предназначен для сопряжения с паровой турбиной и установкой на тепловых электростанциях в классе мощностей до 1200 МВт.

Турбогенератор имеет непосредственное охлаждение обмотки статора дистиллированной водой, непосредственное форсированное охлаждение обмотки ротора водородом, внешней поверхности ротора и сердечника статора водородом и имеет основные характеристики:

- номинальная активная мощность, 160 МВт;
- КПД, 98,5 %;
- напряжение, 18 кВ;
- частота вращения, 3000 об/мин;
- общий вес, 165 т.

Таблица 1.1 – Наименования энергоблока

Наименование	Ст. № агрегата	Тип	Завод изготовитель	Дата пуска
Котел паровой	1	БКЗ-500-140	«Сибэнергомаш» г. Барнаул	4.12.1996
Котел паровой	2	БКЗ-500-140	«Сибэнергомаш» г. Барнаул	22.12.2000
Турбина паровая	1	ПТ-140/165- 130/15-3	«Турбомоторный завод» г. Екатеринбург	4.12.1996
Генератор	1	ТВВ-160- 2ЕУЗ	«Металлострой» г. Санкт-Петербург	4.12.1996

Далее рассмотрим объект автоматизации, пиковый паровой котел типа Е-160-2,4, 5 единиц, предназначен для покрытия пиковых нагрузок в системах централизованного теплоснабжения и для собственных нужд ТЭЦ-3.

Паровой котел однобарабанный состоит из одного корпуса с естественной циркуляцией и предназначен для получения перегретого пара. Котел имеет П-образную сомкнутую компоновку поверхностей нагрева. Котел газоплотный с уравновешенной тягой.

Стены топочной камеры и опускного конвективного газохода образованы газоплотными панелями из труб, между которыми вварена полоса. Котел оборудован четырьмя газомазутными горелками. Расположение горелок тангенциально-угловое. Основным видом топлива для котлов является природный газ, резервным – топочный мазут.

Пароперегреватель и мембранный экономайзер (2 ступени) и газовой подогреватель расположены последовательно по ходу дымовых газов в конвективном газоходе. Регулирование температуры перегретого пара осуществляется поверхностным пароохладителем. Котел имеет один самостоятельный поток по водяному тракту и один самостоятельный поток по паровому тракту. Наименование и технические характеристики паровых водогрейных котлов приведены в таблицы 1.2.

Таблица 1.2 – Наименование пикового парового котла Е-160-2,4

Наименования	Тип	Завод изготовитель	Дата пуска
Пиковый паровой котел	Е-160-2,4-250 БТ	«Красный котельщик» г. Таганрог	31.10.88
	Е-160-2,4-250 БТ	«Красный котельщик» г. Таганрог	29.12.88
	БКЗ-160-2,4-250 БТ	«Сибэнергомаш» г. Барнаул	30.03.89
	БКЗ-160-2,4-250 БТ	«Сибэнергомаш» г. Барнаул	30.12.89
	БКЗ-160-2,4-250 БТ	«Сибэнергомаш» г. Барнаул	16.12.91

Характеристика расчетного топлива для парового котла Е-160-2,4 приведена в таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Характеристика расчетного топлива для парового котла Е-160-2,4

Параметр	Номинальные значения топлива	
	Газ	Мазут
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	8800	9500
Углерод С, %		85,7
Сера S, %		2,8
Водород Н <sub>2</sub> , %	1,85	10,2
Кислород О <sub>2</sub> , %		0,6
Метан СН <sub>4</sub> , %	92,66	
Этан С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> , %	5,04	
Пропан С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> , %	0,45	
Азот N <sub>2</sub> , %	1,85	0,11
Плотность, м <sup>3</sup> /кг при 0 °С	0,768	0,971

### 1.3 Описание конструкции парового котла Е-160-2,4

Топочная камера имеет призматическую форму с размерами 9200 x 7440 мм. Стены топочной камеры экранированы газоплотными панелями, образующими радиационные поверхности нагрева. По ним циркулирует вода и пароводяная смесь, образующаяся под действием излучения факела. При этом продукты сгорания охлаждаются, на выходе из топочной камеры их температура обычно снижается от 600 до 400 °С [2].

Омывая разреженный пучок труб (фестон) или отдельные змеевики пароперегревателя (ширмы), дымовые газы передают им теплоту частично, конвекцией, частично радиацией и далее поступают в горизонтальный газоход, в котором располагаются змеевики, конвективного пароперегревателя. По змеевикам движется пар, который, отнимая теплоту от продуктов сгорания, перегревается до температуры от 210 до 250 °С. Продукты сгорания, охлажденные в пароперегревателе, направляются в вертикальный опускной

газоход, в котором расположены трубы водяного экономайзера. По трубам проходит питательная вода, которая нагревается и поступает в барабан котлоагрегата для пополнения испарившейся в экранах воды. Далее продукты сгорания поступают в воздухоподогреватель, где, проходя внутри трубок, подогревают воздух, подаваемый затем через горелки в топку. Продукты сгорания охлаждаются в воздухоподогревателе до температуры 110 °С, а затем дымососом выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. Холодный воздух забирается дутьевым вентилятором вверху котельной и подается через воздухоподогреватель и воздухопроводы в топку [2].

К барабану присоединены многочисленные трубы экранов, по которым в него поступает пароводяная смесь. Пар в барабане отделяется от воды и поступает в пароперегреватель, а оставшаяся вода смешивается с подаваемой питательной водой и по опускным необогреваемым трубам, расположенным снаружи топочной камеры, поступает к нижним коллекторам экранов. Из коллекторов вода распределяется по трубам экрана и, поднимаясь по ним, частично испаряется за счет излучения факела, образовавшаяся пароводяная смесь поступает в барабан.

Подъем пароводяной смеси по трубам экранов и опускание воды по опускным трубам, т. е. естественная циркуляция, происходят за счет разности плотностей воды в опускных трубах и пароводяной смеси в трубах экрана. Весь трубопровод в пределах котла выполнен – сталь 20 [2]. Общий вид парового котла Е-160-2,4 приведен на рисунке 1.1.

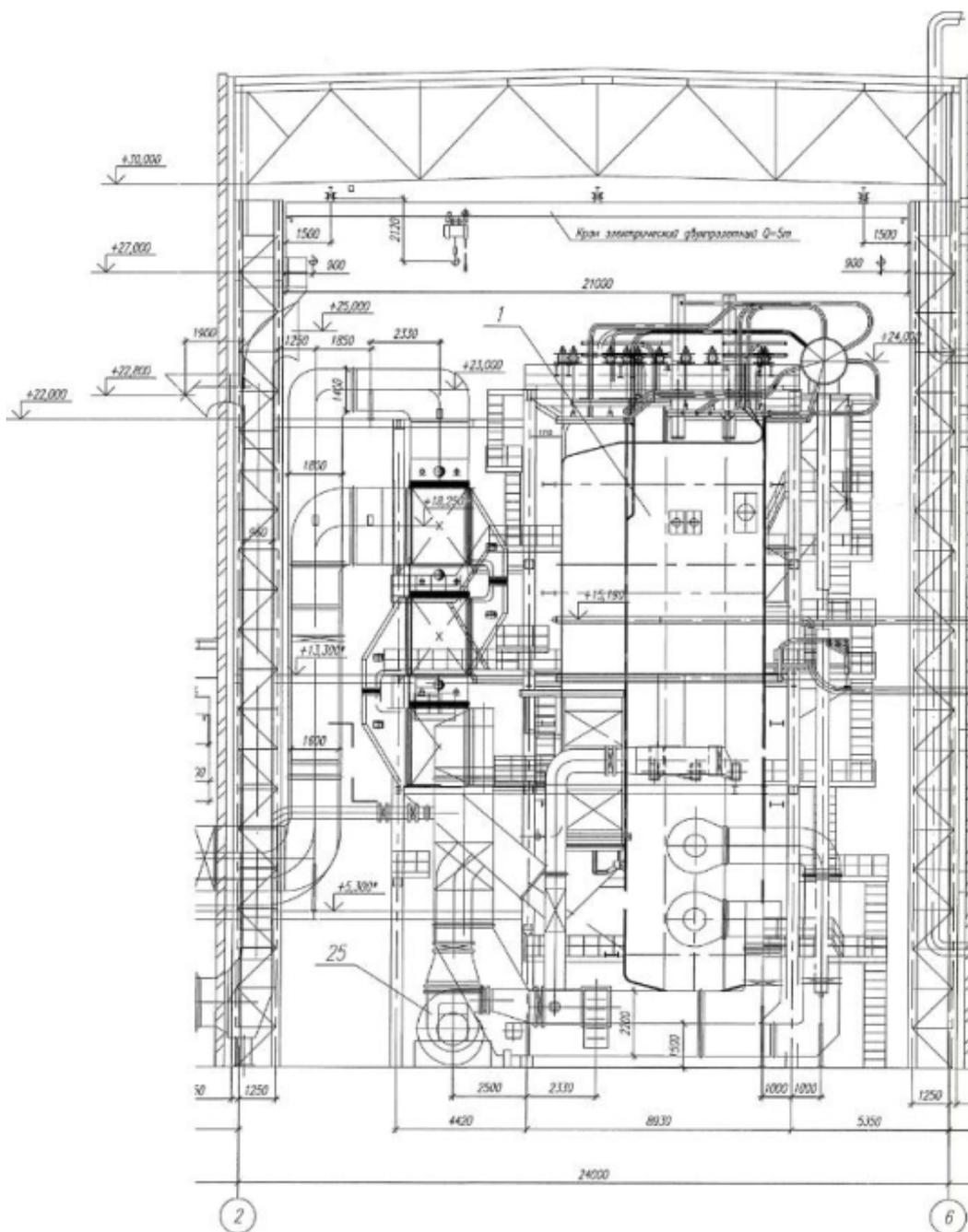


Рисунок 1.1 – Общий вид парового котла E-160-2,4

#### 1.4 Состояние автоматизации на текущий момент

Существует рекомендуемый объем АСР на ТЭС, который предписывается руководящим документом РД 153-34-35.101-01 и предназначен для ТЭС с паровыми котлами производительностью свыше 30 Гкал/ч [3]. Он является типовым и может быть уточнен с учетом опыта эксплуатации, но не определяет средств реализации АСР и структуру систем.

На текущий момент действующая система автоматизации парового котла Е-160-2,4 Томской ТЭЦ-3 подразделяют на следующие участки регулирования:

– РТН-Г - тепловой нагрузки при работе на газе, предназначен для поддержания заданного значения тепловой нагрузки котла при сжигании природного газа;

– РТН-М – тепловой нагрузки при работе на мазуте, предназначен для поддержания заданного значения тепловой нагрузки котла при сжигании природного газа;

– РОВ – расхода общего воздуха, предназначен для поддержания заданного значения расхода воздуха на котел;

– РР – разрежение в топке, предназначен для поддержания заданного значения давления в топке котла;

– РПК – питания котла водой, предназначен для поддержания баланса между расходом питательной воды в барабан котла и расходом пара из котла;

– РНП – расход непрерывной продувки, предназначен для поддержания заданного значения расхода продувочной воды из барабана котла;

– ГР – главный регулятор, предназначен для поддержания заданного значения давления острого пара перед турбиной (общем паропроводе).

В процессе эксплуатации парового котла Е-160-2,4 технические средства автоматизации показывает, что значительная часть морально и физически устарели и нуждается в замене. Уровень большинства технических средств автоматизации уже не обеспечивает по надежности, качеству, объему функций и уровню информативности конкурентоспособности производства тепловой энергии.

На текущий момент тепломеханический контроль Томской ТЭЦ-3, выполнен с использованием агрегатного комплекса электрических средств регулирования «АКЭСР-2» на элементной базе интегральных микросхем.

По функциональному назначению комплекс «АКЭСР-2» содержит следующие блоки: кондуктивного разделения, функциональные, регулирующие,

оперативного управления и исполнительные устройства [4]. Функциональная структурная схема «АКЭСР-2» приведена на рисунке 1.2.

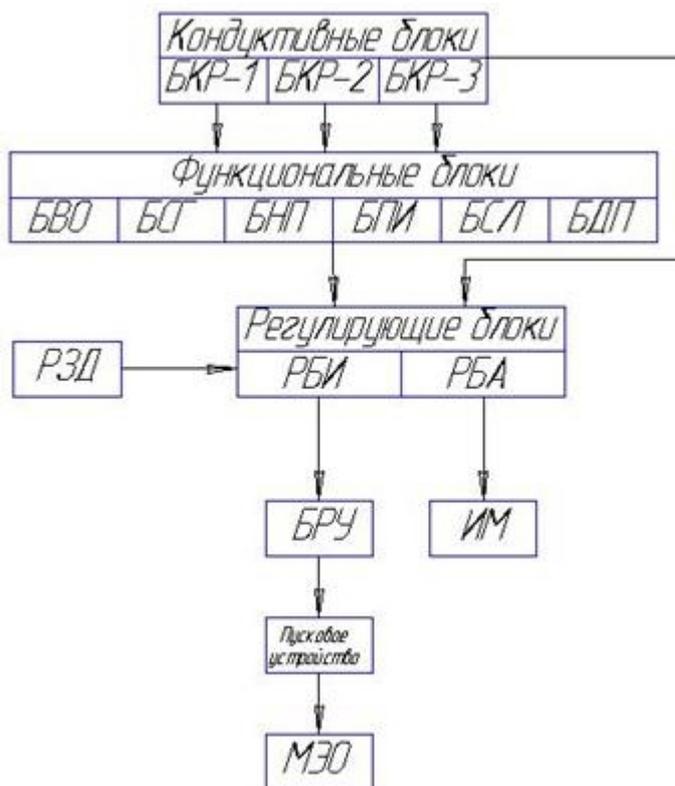


Рисунок 1.2 – Функциональная структурная схема «АКЭСР-2»

Система автоматического регулирования котлоагрегата БКЗ-500-140 (ст. № К-1А, № К-1Б) построены на микропроцессорных контроллерах серии «Ремиконт» (г. Чебоксары).

Контроллеры «Ремиконт» представляют собой микропроцессорные устройства управления, архитектура которых оптимизирована для решения задач автоматического регулирования технологических процессов в энергетической отрасли промышленности.

Основные функции контроллеров «Ремиконт»: локальное, каскадное, многосвязное регулирование, управление с переменной структурой, формирование ПИД-законов регулирования, выполнение статических и динамических преобразований аналоговых сигналов, обработка и формирование дискретных сигналов, выполнение всех алгоритмических задач,

которые решаются с помощью традиционных аналоговых приборов автоматического регулирования.

Технологическая сигнализация и защиты основного и вспомогательного оборудования энергоблока выполнены на базе унифицированного комплекса технологических защит «УКТЗ-М».

Система «АМАКС» котлоагрегата БКЗ-500-140 (ст. № К-1А, № К-1Б), обеспечивает безопасный розжиг запальника и групп горелок закрытого типа без связей с АСР котлов, схемой защиты разгрузки блока и котлов. Исключает вероятность загазованности в топке котла при розжиге, регулировать расход газа к котлу, отсекал газ без подвода электропитания от внешнего источника при нарушении технологических параметров работы котла, недопустимом отклонении давления газа или воздуха перед горелкой, при погасании факела, погорелочно управлять котлом.

Оперативный контроль и управление паровым котлом осуществляется как с БЩУ-1, так и с местных щитов управления.

В настоящее время на ТЭЦ-3 большое внимание уделяется по внедрению и модернизации основных и вспомогательных технических средств автоматизации с целью обеспечить более высокого качества обслуживания технологического оборудования. Такой комплекс понимается под техническим перевооружением, мероприятий по повышению технико-экономических показателей отдельных частей на основе внедрения передовой автоматизации производства.

В данной выпускной квалификационной работе будет рассмотрена только одна подсистема регулирования уровня воды в барабане парового котла Е-160-2,4.

### 1.5 Обоснования необходимости формирования АСУ на ТЭЦ-3

Технические требования к автоматизированной системе управления являются основным техническим документом на разработку АСУ, на основе

которого разрабатывается техническое задание на создание АСУ в соответствии с ГОСТ 34.602-89 [5].

Для процессов, протекающих в котле, свойственны непрерывность и инерционность, т.е. система управления не может мгновенно отреагировать на возмущение, возникающее в регулируемом объекте. Регулируемый параметр, который рассматривается в качестве объекта автоматизации, это уровень воды в барабане парового котла Е-160-2,4. Его поддержание – важная задача, обеспечивающая надёжную работу котла, поскольку выход уровня за допустимые верхнее и нижнее значения ведёт к возникновению аварийной ситуации.

При снижении уровня воды ниже допустимого нижнего значения нарушается естественная циркуляция питательной воды в экранных трубах, поскольку происходит захват пара в опускные трубы. В длительной перспективе, снижение уровня приводит к упуску воды из котла и оголению парообразующих труб. Поскольку в них больше нет теплоносителя, нарушается режим их охлаждения, происходит резкое повышение температуры стенок труб и в итоге неизбежно возникает пережог трубной системы котла [6].

При превышении верхнего допустимого уровня становится возможным заброс котловой воды в паровую магистраль и её разрушение в результате гидравлических ударов. К тому же, при повышении уровня (за точку отсчёта берём средний уровень в барабане) возникает явление уноса влажного пара в паропровод, а вместе с ним содержащихся в нём солей. По мере повышения уровня – это явление становится более интенсивным и в длительной перспективе приводит к выходу из строя паропровода и арматуры вследствие коррозии, а также к возможному пережогу труб пароперегревателя. Таким образом, особо важной задачей становится не только недопущение выхода уровня за верхний и нижний допустимые пределы, но и поддержание его на среднем уровне, что в сочетании с инерционностью системы также даёт запас времени для реагирования на возмущение, ведущее к повышению или понижению уровня [6].

Качество регулирование уровня в барабане осуществляется поддержанием баланса между подачей питательной воды в котёл и отводом пара в паровую магистраль, однако в переходных режимах на изменение уровня влияет большее количество факторов, среди которых помимо перечисленных выделяют изменение паропроизводительности (как следствие изменения нагрузки в топке) и изменение температуры питательной воды. Следует так же уделить внимание тому, что резкие и длительные изменения расхода питательной воды вызывают температурные напряжения в металле труб, в связи с чем повышаются требования к точности поддержания уровня и обеспечить равномерное питание котла водой [6].

Контроль критически важных параметров уровня воды в барабане парового котла ведется по показаниям теплотехнических приборов, визуальным и расчетным путем оперативного персонала. Оптимальный режим работы по поддержание уровня в барабане котла, осуществляется по разработанным правилам технической эксплуатации и заводским инструкциям с участием обслуживающего персонала машинистов котлов.

Соответственно на основе выше сказанного основной целью внедрения АСУ подсистемы регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4 нацелены на повышение надежного и экономичного режима работы, а также уменьшением числа сотрудников и улучшение условий труда на ТЭЦ-3.

При создании АСУ регулирования уровня в барабане парового котла должны устанавливаться следующие основные цели [7]:

- обеспечение заданного уровня в барабане котла и управления технологическими процессами путем применения современных программно-технических средств с высокими показателями надежности и развитыми функциональными возможностями, позволяющими реализовывать полный набор функций для решения задач контроля, управления, регулирования и защиты технологического оборудования;

- осуществление автоматизированного оперативно-диспетчерского контроля и управления производительностью парового котла, качеством регулирования уровня в барабане в реальном масштабе времени;
- обеспечение надежной и эффективной работы технологических комплексов за счет рационального управления режимами работы технологических объектов в рамках плановых заданий и установленных технологических ограничений с возможно меньшими производственными затратами и меньшим количеством эксплуатационного и обслуживающего персонала;
- снижение роли «человеческого фактора» в управлении технологическими процессами (в том числе блокировка ошибочных операторских решений);
- обеспечение необходимого качества и оперативности принятия управленческих решений при непрерывном оперативно-диспетчерском контроле параметров технологических процессов в барабане парового котла на основе применения современных информационных технологий;
- обеспечение требуемого уровня безопасности производства и надежности парового котла.

Для достижения обозначенных целей АСУ должны быть решены следующие основные функциональные задачи [7]:

- сбор, обработка, отображение и регистрация информации о технологическом процессе и технологическом оборудовании, выдача управляющих воздействий на технологическое оборудование;
- распознавание, сигнализация и регистрация аварийных ситуаций, отклонений уровня от заданных пределов, отказов технологического оборудования;
- представление информации о технологическом процессе и состоянии парового котла в виде мнемосхем с индикацией на них значений по уровню технологических параметров;

- автоматическое управление, параметрами технологического процесса, включая автоматическое регулирование параметров;
- оптимальное согласованное управление группами связанных технологических объектов и процессов в режиме автоматизированного управления;
- дистанционное управление технологическим оборудованием с АРМ оператора-технолога (диспетчера);
- регистрация контролируемых параметров, событий, действий оператора (диспетчера) и автоматическое архивирование их в базе данных;
- извлечение и предоставление информации из базы данных в виде трендов, таблиц, графиков;
- организация доступа (делегирование прав) управления системой с АРМ по устанавливаемому приоритету прав персонала;
- связь со смежными системами и с системами вышестоящего уровня управления.

Достижение поставленных целей должно осуществляться за счет обеспечения эффективного управления АСУ на базе [7]:

- внедрения комплексных алгоритмов управления и регулирования уровня питания парового котла;
- создания подсистемы функциональной и технической диагностики технологического оборудования;
- снижения затрат на создание системы автоматизации, а также на их реконструкцию и техническое перевооружение на последующих этапах жизненного цикла производственно-технологического комплекса, за счет использования надежных программно-технических комплексов с открытой архитектурой, позволяющей наращивать мощность систем автоматизации как по горизонтали, так и по вертикали без замены базовых программно-технических средств;
- совершенствования систем сбора и отображения оперативно-диспетчерской информации (электронный диспетчерский журнал);

- применения систем автоматического контроля режимов работы и противоаварийной защиты парового котла на базе применения современных сертифицированных КИПиА, средств и систем автоматизации, а также распределенных программно-технических комплексов с высокой эксплуатационной надежностью;
- оптимизации структуры автоматизированных систем, исключающей избыточность технических средств, уменьшения затрат кабельной продукции, снижения трудоемкости технического и ремонтного обслуживания систем управления.

### 1.6 Выбор структуры подсистемы локального регулирования АСУ

Система автоматического регулирования питания барабанного парогенератора водой является одной из важнейших. По условиям надежной и безопасной работы парового котла необходимо поддерживать уровень в барабане парогенератора в заданных пределах [8].

Поддержание постоянного уровня воды в барабане парового котла необходимо для нормальной работы котла, а также для сохранения баланса между расходом пара от котла, воды на продувку, потерями от утечек и подачей питательной воды в котле. Данная система автоматического регулирования относится к разряду стабилизирующих. АСР питания котла трехимпульсная, регулятор получает импульс по расходу пара из котла, по уровню воды в барабане, и по поступлению воды в котел и воздействует на регулирующий клапан на питательной воде к котлу. Основным является сигнал по уровню воды в барабане. На рисунке 1.3 приведена существующая структурная схема АСР питания котла.

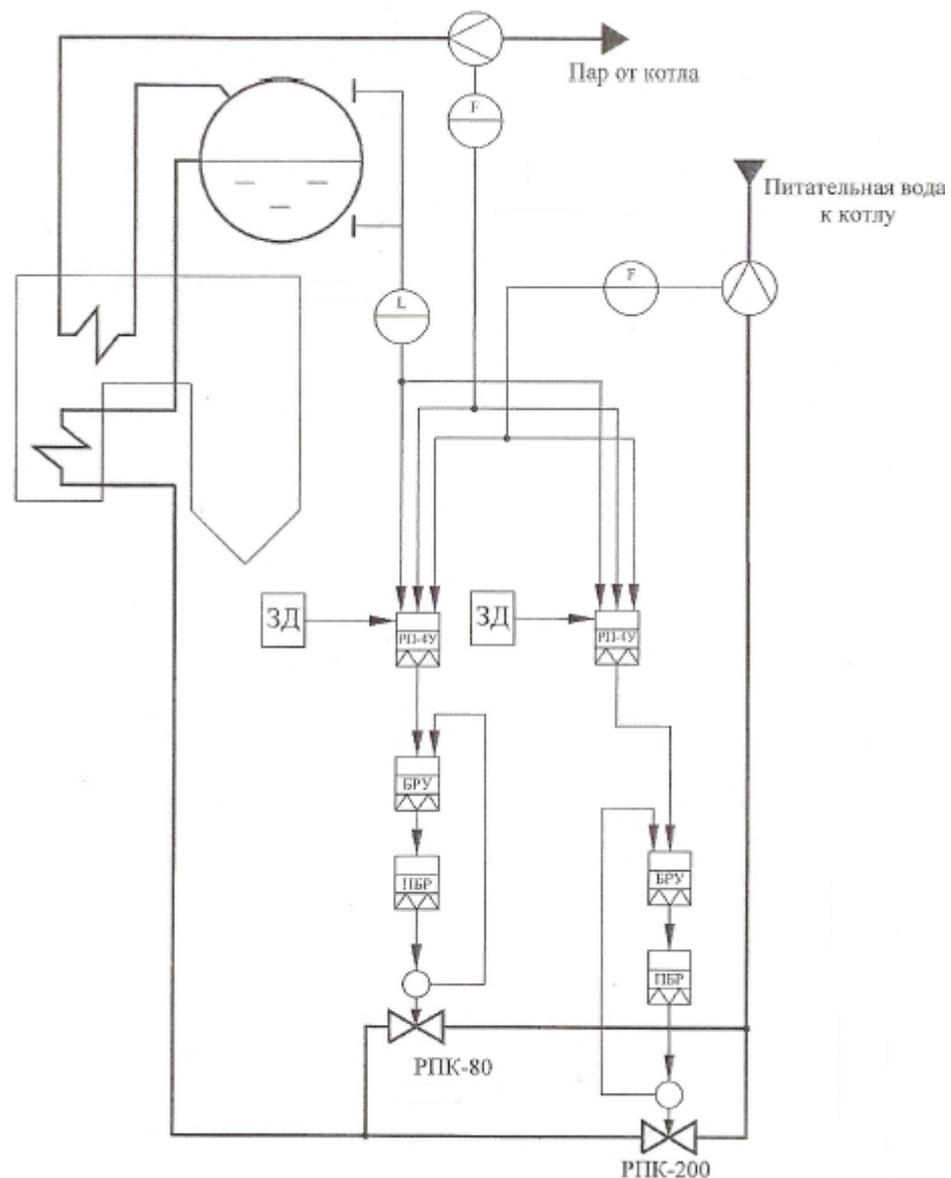


Рисунок 1.3 – Существующая структурная схема АСР питания котла

На регулирующее устройство заводятся импульсы по уровню воды в барабане котла, расходу питательной воды на котел и расходу пара от котла. Сигналы от датчиков поступают на вход устройства РП4-У. Сигналы по расходу питательной воды и расходу пара должны компенсировать друг друга, и поэтому включены противофазно. При увеличении расхода пара регулятор должен увеличить расход питательной воды и наоборот. Сигнал по уровню в барабане котла является корректирующим. Он должен компенсировать разницу между расходом пара и питательной воды.

Устройство является общим для двух клапанов на трубопроводе питательной воды: основной  $du\ 200$  и на байпасной линии  $du\ 80$ . Последний работает при растопке котла далее переводят на основной. Управляющее воздействия с устройства на тот или другой клапан осуществляется при помощи блока ручного управления.

Показателем соответствия материального баланса между паром и водой – расхода свежего пара и расхода питательной воды служит уровень в барабане котла. Отклонение уровня воды в барабане от среднего значения характеризует наличие небаланса между притоком питательной воды и расходом пара. Оно (отклонение) происходит также вследствие изменения паросодержания пара в пароводяной смеси подъемных труб за счет колебаний давления пара в барабане котла или изменений тепловосприятости испарительных поверхностей нагрева [8].

К числу основных возмущений, приводящих к отклонению уровня, можно отнести следующие воздействия [8]:

- изменение расхода топлива;
- изменение расхода пара при изменении нагрузки потребителя;
- изменение расхода питательной воды;
- изменение температуры питательной воды.

Изменение тепловой нагрузки топки приводит к изменению количества тепла, получаемого экранами, что в свою очередь влияет на плотность пароводяной эмульсии и в конечном итоге на парообразование в котле. Предположим, что тепловая нагрузка увеличилась (например, за счёт увеличения расхода газообразного топлива на горелку). Вследствие более интенсивного парообразования давление в барабане увеличивается, в результате чего на начальном этапе часть пара сконденсируется и уровень воды в барабане увеличится. Однако, возросшее давление ведёт к уменьшению объёма пароводяной смеси и поэтому на втором этапе уровень воды уменьшается до нового равновесного значения [8]. Динамика изменения уровня

воды и давления пара в барабане в этом переходном процессе показаны на рисунке 1.4.

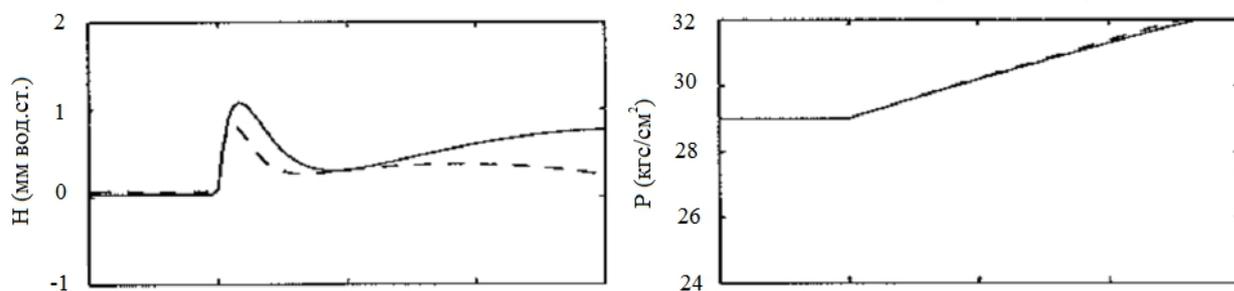


Рисунок 1.4 – Динамика изменения уровня воды и давления пара в барабане при увеличении тепловой нагрузки котла

Второй вид возмущения – изменение расхода пара, например, в результате изменяющейся нагрузки потребителя. Увеличение расхода пара при прочих равных условиях приводит к уменьшению давления в барабане. По аналогии с описанным ранее процессом, в результате этого объём пароводяной смеси увеличивается – на первом этапе уровень в барабане растёт. Тем не менее, в связи с тем, что расход пара начинает превышать расход поступающей питательной воды, на втором этапе уровень начинает падать – и продолжает до восстановления соответствия между расходами [8]. Динамика изменения уровня воды и давления пара в барабане в этом переходном процессе показаны на рисунке 1.5.

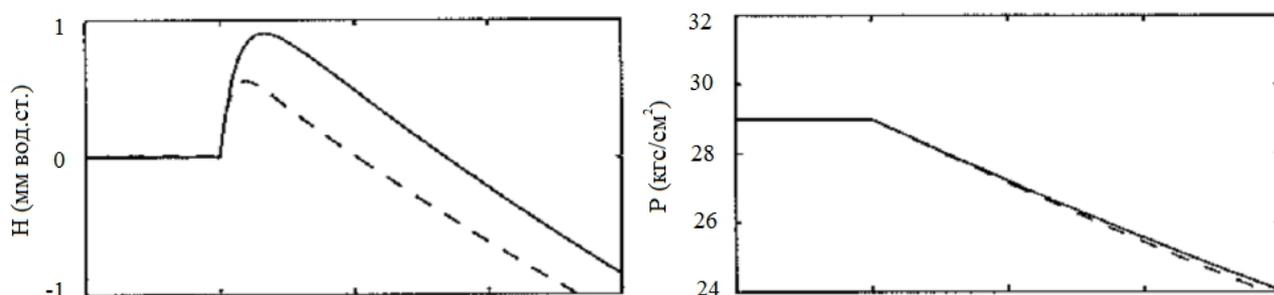


Рисунок 1.5 – Динамика изменения уровня воды и давления пара в барабане при увеличении расхода пара

Процесс изменения объёма пароводяной смеси получил название "набухание". Это явление протекает достаточно быстро и кратковременно, так что регулятор не может вовремя изменить величину отклонения, вызванного "набуханием". Величина отклонения зависит, как от водяного объёма котла, так и от теплонапряжённости поверхности экранов. Чем больше количество воды, находящейся в котле, тем меньшее влияние окажет "набухание" на уровень в барабане [8].

Третий вид возмущения – изменение расхода питательной воды, как в ходе регулирования, так и в результате изменения давления воды в линии. Увеличение расхода приводит к тому, что средняя температура пароводяной смеси в экранах уменьшается за счёт подвода холодной питательной воды, следовательно, при прочих равных уменьшается и её объём – в начале процесса уровень снижается. В дальнейшем разница между расходами пара и воды приводит к устойчивому увеличению уровня [8]. Динамика изменения уровня воды и давления пара в барабане в этом переходном процессе показаны на рисунке 1.6.

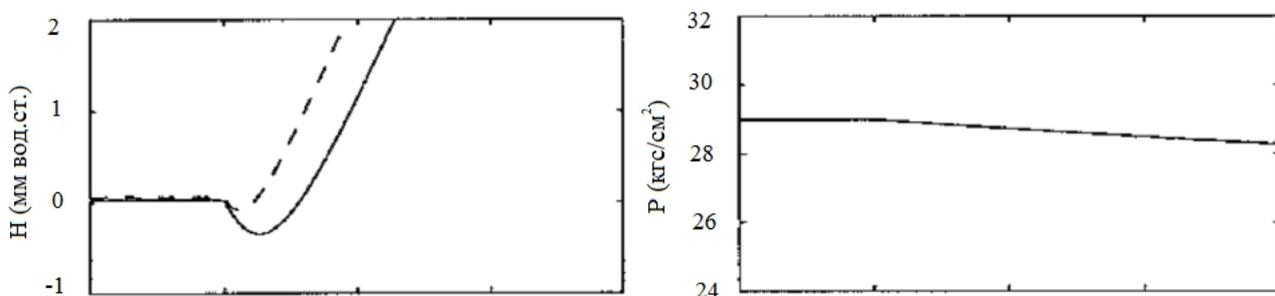


Рисунок 1.6 – Динамика изменения уровня воды и давления пара в барабане при увеличении расхода пара

Последний из рассматриваемых видов возмущения – изменение температуры питательной воды. При увеличении температуры питательной воды и постоянном обогреве увеличивается парообразование в испарительном контуре. В результате этого уровень в барабане будет повышаться. В дальнейшем, увеличение парообразования при постоянном расходе пара к потребителю приведет к подъему давления в барабане котла и, как следствие

этого, к уменьшению удельного объема пара и сокращению парообразования, что вызовет снижение уровня [8].

Существует три типовых структурных схемы АСР уровня воды в барабане котла. Выбранная структурная схема должна удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к АСР питания водой барабанного котла.

АСР питания должна гарантировать удержание уровня в барабане парогенератора в следующих пределах:

- при стационарном режиме (отсутствии резких возмущений по нагрузке) максимально допустимые отклонения по уровню не должны превышать  $\pm 20$  мм. Это означает, что максимальная динамическая ошибка регулирования должна быть меньше или равна 20 мм;

- при скачкообразном возмущении нагрузки на 10 % (исходная нагрузка – номинальная) максимально допустимые отклонения по уровню обычно не должны превышать  $\pm 50$  мм;

- статическая ошибка регулирования должна равняться нулю;

- величина перерегулирования должна составлять не более 20%;

- протекание переходных процессов, вызываемых изменением расхода питательной воды, с максимальным отклонением уровня в барабане должно происходить со степенью затухания  $\psi = 0,95-1,0$  [9].

Схема одноимпульсной АСР приведена на рисунке 1.7.

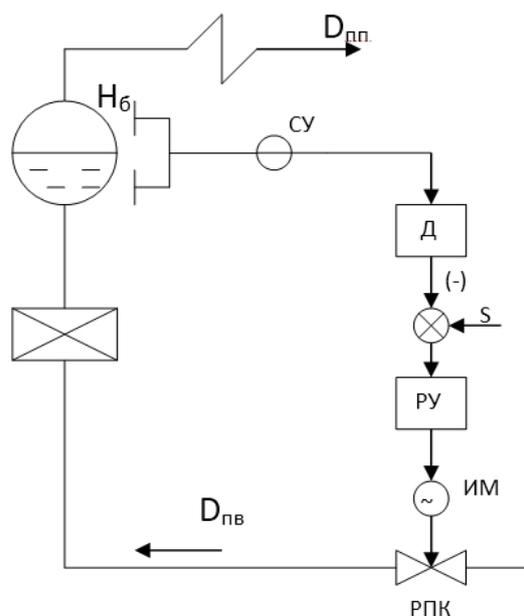


Рисунок 1.7 – Одноимпульсная АСР питания водой парогенератора:

Д – датчик уровня воды в барабане котла; РУ – регулирующее устройство; ИМ – исполнительный механизм; РПК – регулирующий питательный клапан; S – возмущающее воздействие; Н<sub>б</sub> – уровень воды в барабане котла; D<sub>п.п</sub> – расход перегретого пара; D<sub>п.в</sub> – расход питательной воды; СУ – сосуд уравнительный

Применение одноимпульсной одноконтурной АСР уровня воды в барабане парового котла не обеспечивает требуемого качества регулирования, так как характерным возмущением на систему является изменение расхода пара для потребителя. При этом проявляется так называемое явление набухания. В первый момент при увеличении расхода пара на потребление уровень воды даже возрастает [9].

Известно, что применение простейшего закона регулирования – интегрального (И), вместо того чтобы прибавлять питательную воду, начинает ее убавлять. Только после уменьшения уровня начинается добавление воды, уровень воды в барабане сильно падает. При определенных достаточно глубоких возмущениях по нагрузке появляется опасность аварийных ситуаций.

Введение второго импульса по расходу пара с помощью датчика позволяет повысить качество регулирования и не допустить значительного

отклонения уровня воды при возмущении по этому каналу [9]. Схема двухимпульсной АСР приведена на рисунке 1.8.

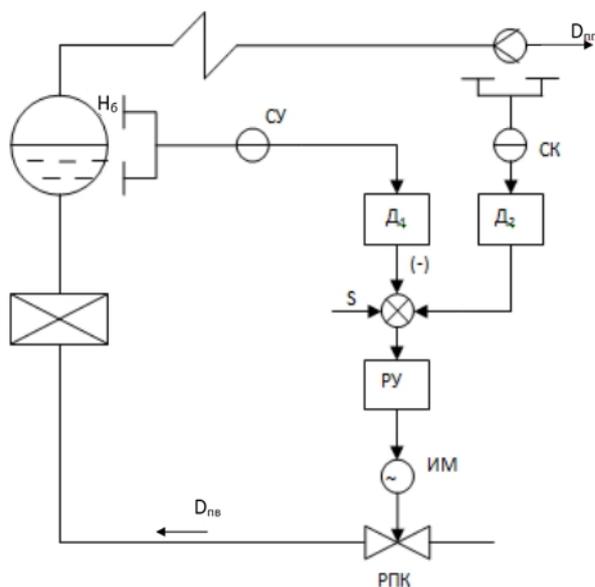


Рисунок 1.8 – Двухимпульсная АСР питания водой парогенератора:

$D_1$  – датчик уровня воды в барабане котла;  $D_2$  – датчик расхода перегретого пара; РУ – регулирующее устройство; ИМ – исполнительный механизм; РПК – регулирующий питательный клапан; S – возмущающее воздействие;  $H_б$  – уровень воды в барабане котла;  $D_{п.п}$  – расход перегретого пара;  $D_{п.в}$  – расход питательной воды; СУ – сосуд уравнивательный; СК – сосуд конденсационный

Недостатком двухимпульсной схемы является возможность появления статической ошибки, так как регулятор в этом случае стабилизирует не уровень в барабане котла, а некоторую алгебраическую сумму сигналов по уровню и расходу пара со своими весовыми коэффициентами, определяемыми при настройке. Так, если чувствительность по каналу расхода пара минимальна, то приближаемся к одноимпульсной схеме; если же минимальна чувствительность по каналу регулирования уровня, то приближаемся к схеме регулирования расхода пара [9].

Для ликвидации статической ошибки применяют трехимпульсную схему, которая использует дополнительные импульсы по расходу питательной воды и

пара (рисунок 8). В этом случае в динамике при возмущении по расходу пара АСР работает, как описано выше, а статическая ошибка устраняется за счет того, что сигналы по расходу пара и воды подаются в установившемся состоянии (в статике) на вход регулятора равными по значению и противоположными по знаку. Регулятор (РУ) перемещает клапан (РПК) при появлении сигнала небаланса между расходами питательной воды и пара. Помимо того, он воздействует на положение питательного клапана при отклонениях уровня от заданного значения, которое может изменяться при помощи задатчика ручного управления (ЗРУ). Эта схема получила наибольшее распространение на крупных энергетических барабанных парогенераторах [9]. Схема трехимпульсной АСР приведена на рисунке 1.9.

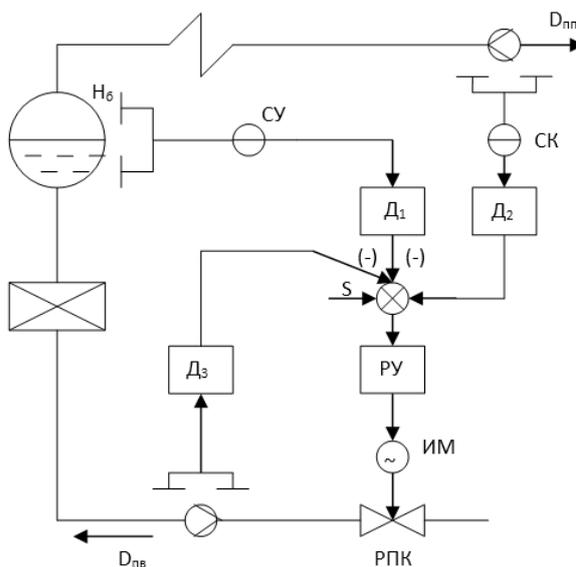


Рисунок 1.9 – Трехимпульсная АСР питания водой парогенератора:

$D_1$  – датчик уровня воды в барабане котла;  $D_2$  – датчик расхода перегретого пара; РУ – регулирующее устройство; ИМ – исполнительный механизм; РПК – регулирующий питательный клапан; S – возмущающее воздействие;  $H_6$  – уровень воды в барабане котла;  $D_{п.п.}$  – расход перегретого пара;  $D_{п.в.}$  – расход питательной воды;  $D_3$  – датчик расхода питательной воды; СУ – сосуд уравнивательный; СК – сосуд конденсационный

Введение в схему регулятора уровня импульса по расходу воды ( $D_3$ ) позволяет сформировать пропорциональный закон регулирования, а также

стабилизировать расход воды, в результате чего устраняются колебания уровня при изменении перепада давлений на регулирующем клапане.

Введение воздействия по расходу пара позволяет ликвидировать статическую ошибку пропорционального регулятора и отфильтровать возмущения, идущие со стороны изменения нагрузки. Система регулирования с двумя импульсами (рисунок 1.8) не может ликвидировать возмущений  $f_w$  до поступления их в объект регулирования, в результате чего возникает разброс статических характеристик. В то же время АСР уровня с трехимпульсным регулятором ликвидирует эти возмущения при помощи быстродействующего контура, обеспечивая тем самым более высокое качество процесса регулирования [9].

Опираясь на рисунок 1.9, построим структурную схему на базе современного микропроцессорного контроллера.

Структурная схема автоматизированной системы регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4 на базе микропроцессорного логического контроллера приведена на рисунке 1.10.

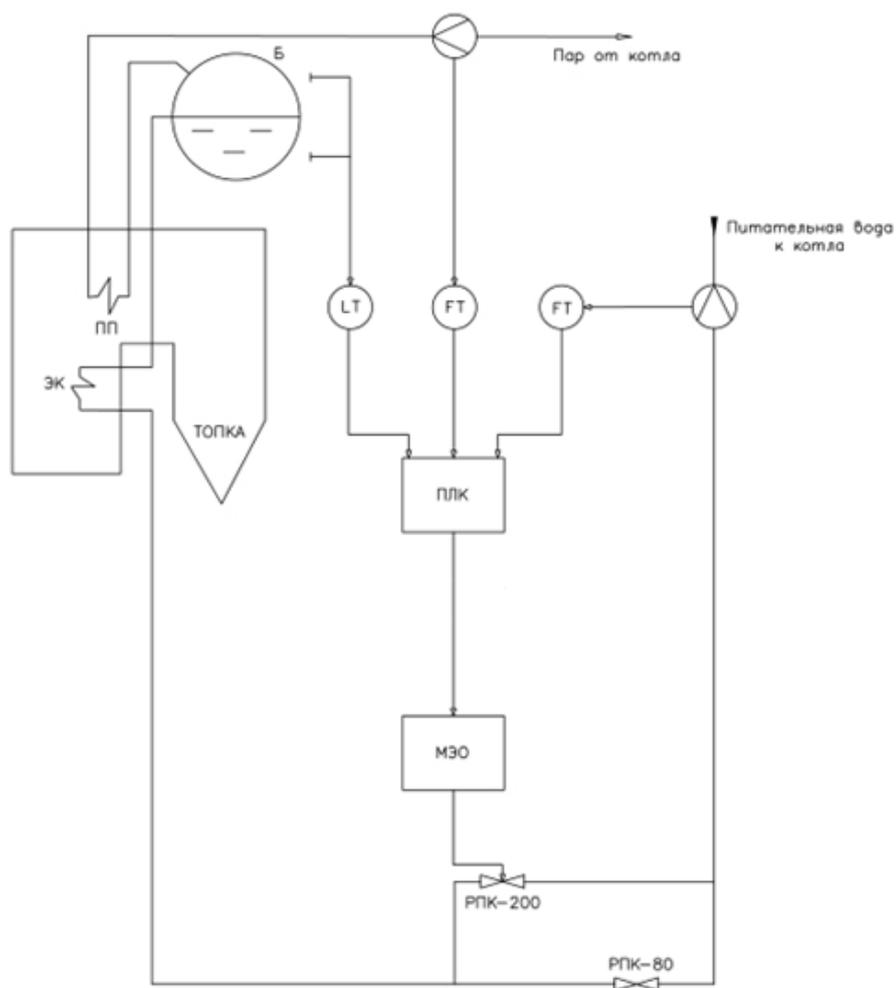


Рисунок 1.10 – Структурная схема подсистемы локального регулирования АСУ уровня в барабане парового котла Е-160-2,4 на базе микропроцессорного логического контроллера: ПЛК – микропроцессорный логический контроллер; МЭО – электроисполнительный однооборотный механизм; LY – преобразователь уровня; FT – преобразователь расхода.

Опираясь на структурную схему автоматизированной системы регулирования уровня в барабане парового котла на базе микропроцессорного логического контроллера, проанализируем критерии и пределы безопасной эксплуатации парового котла Е-160-2,4.

Перечень контролируемых технологических параметров и технологических сред объекта автоматизации, местоположение точек контроля технологических параметров и технических средств автоматизации, функции, выполняемые техническими средствами автоматизации, определяют в

соответствии с выпиской из нормативной документации по объему оснащения паровых котлов средствами контроля и сигнализации.

В таблице 1.4 представлены критерии и пределы безопасности эксплуатации, в таблице 1.5 представлен перечень контролируемых технологических параметров при эксплуатации парового котла Е-160-2,4.

Таблица 1.4 – Критерии и пределы безопасной эксплуатации парового котла Е-160-2,4

Сигнализация	Величина
Повышение уровня в барабане	+50 мм
Повышение уровня в барабане	-50 мм
Повышение уровня в барабане (аварийный слив)	+70 мм
Защита	
Перепитка котла	+100 мм
Упуск уровня в барабане	-100 мм

Таблица 1.5 – Перечень контролируемых технологических параметров при эксплуатации парового котла Е-160-2,4

Наименование параметров	Величина
Температура питательной воды	104 °С
Температура перегретого пара	250 °С
Давление питательной воды на котел	5 МПа
Рабочее давление в барабане	3,2 МПа
Давление перегретого пара на выходе из котла	2,4 МПа
Расход питательной воды	160 т/ч
Расход пара от котла	160 т/ч
Расход непрерывной продувки	3,2 т/ч
Расход воды на впрыск	1,6 т/ч
Уровень воды в барабане котла	-3...+1 мм

## 2 Экспериментальные исследования

Фундаментальные научные исследования являются основным способом получения новых научных знаний с помощью совокупности теоретических и эмпирических процедур. Фундаментальные исследования направлены на усиление интеллектуального потенциала общества путем получения нового знания и его использования в общем образовании и подготовке специалистов практически всех современных профессий. В фундаментальных исследованиях выделяют эмпирические и теоретические исследования. Эмпирические исследования направлены непосредственно на объект исследования и опираются на данные наблюдения и эксперимента. Теоретические исследования связаны с совершенствованием и развитием понятийного аппарата науки и направлены на всестороннее познание объективной реальности в ее существенных связях и закономерностях. Оба вида исследования органически взаимосвязаны и предполагают друг друга в целостной структуре научного познания [10]. В свою очередь результаты прикладных исследований ориентированы на непосредственное использование в других областях деятельности (технологии, экономике и т.д.) [11].

В рамках выполнения экспериментальной исследовательской практики предполагается расширить существующие и получить новые навыки измерения влажности пара по способу измерения.

Водяной пар, благодаря своим уникальным свойствам, является одним из наиболее важных компонентов, влияющих на состояние атмосферы Земли. Содержание водяного пара в атмосфере, в зависимости от температуры, варьируется от 0,5 до 4%. Несмотря на относительно малое содержание в земной атмосфере, водяной пар отвечает примерно за 70% поглощаемого атмосферой излучения и вносит значительный вклад в парниковый эффект. Также, стоит отметить, что такой параметр, как влажность пара является одним из базовых показателей, которые необходимо контролировать при функционировании множества технологических процессов, реализуемых на

различных производствах. Таким образом, возникает вопрос о формировании и применении подхода к измерению влажности, который бы позволил дистанционно и в текущий момент времени анализировать такой параметр, как влажность.

Существующие системы измерения влажности пара по способу измерения можно разделить на две основные группы: контактные и бесконтактные [12].

Влагомеры, в которых реализован контактный способ, приведены ниже:

1. Диэлькометрический метод основан на том факте, что диэлектрическая проницаемость большинства веществ намного меньше соответствующего значения для воды.

2. Психрометрический метод заключается в оценке характеристик показаний сухого и мокрого термометров (психрометрической разности) с помощью психрометрических таблиц.

3. Метод точки росы является одним из основных производственных методов автоматического контроля влажности воздуха и заключается в определении температуры, до которой следует охладить при неизменном давлении влажный воздух (газ) для доведения его до состояния насыщения.

4. Сорбционный метод основан на поглощении влаги из анализируемой среды каким-либо гигроскопическим веществом.

5. Дистилляционно-азеотропный метод. Метод азеотропной отгонки воды с растворителем заключается в том, что испытуемое вещество кипятят с избытком растворителя, не смешивающегося с водой, но образующего с ней азеотропную смесь.

6. Гигрометрический метод. Для непосредственного определения относительной влажности воздуха применяют волосяные гигрометры, принцип действия которых основан на зависимости удлинения волоса от относительной

влажности: при изменении влажности от 0 до 100 % относительное удлинение волоса достигает 2...2,5 %.

Представленные выше методы контактного измерения влажности являются простыми в реализации и не требуют вычислительных систем для их реализации, как в лабораторных условиях, так и на производстве. Но стоит отметить, что устройства, реализующие контактные способы измерения влажности обладают рядом серьёзных недостатков, не позволяющих их использовать на ряде производств. К таким недостаткам следует отнести высокую инерционность данных методов, недостаточную точность расчета значения влажности, необходимость монтажа гигрометров на оборудование, где проходит технологический процесс, громоздкость конструкции гигрометров. Таким образом, можно сделать вывод, что контактные гигрометры являются распространяемыми приборами с простой конструкцией, но недостаточно точны и громоздки для соединения с технологическим процессом [13].

В свою очередь, большое распространение в мировой промышленности получают бесконтактные методы, а именно спектроскопические, основанные на испускании лазерного луча, последующего измерения и контроля его состояния после прохождения через пары. К основным спектроскопическим методам измерения влажности относят методы, кратко описанные ниже.

1. Метод внутриврезонаторной лазерной спектроскопии – это метод, в котором исследуемое вещество помещается внутрь резонатора лазера с широкой спектральной полосой генерации (другие методы лазерной спектроскопии используют узкополосные лазеры). При этом осуществляется тушение лазерного излучения на частотах линий поглощения данного вещества. Достоинством внутриврезонаторной лазерной спектроскопии является высокая чувствительность, достигающая  $\sim 10^{-9} \text{ см}^{-1}$  высокое быстродействие  $10^{-9} \dots 10^{-3} \text{ с}$ , и малые размеры кювет.

2. Метод затухания излучения в резонаторе (ЗИР-спектроскопия) основан на измерении времени затухания излучения из-за поглощения вещества в оптическом резонаторе. Типичная установка ЗИР-спектрометра состоит из импульсного лазерного источника, оптического резонатора с согласующей оптикой и фотодетектора. Лазерный импульс запускается в оптический резонатор высокой добротности, содержащий исследуемое вещество. За каждый полный проход резонатора энергия импульса уменьшается из-за потерь при отражении на зеркалах и поглощении газом, находящимся между зеркалами резонатора. Уменьшение энергии импульса наблюдается измерением интенсивности света, прошедшего через входное зеркало резонатора, как функция времени.

3. Оптико-акустическая спектроскопия является методом, родственным с предыдущим в том отношении, что в качестве источника излучения используется лазер с перестраиваемой частотой. Лазерный луч, промодулированный по амплитуде (или луч от импульсного лазерного источника), направляется в кювету с газом, в одну из стенок которой вмонтирован чувствительный емкостный микрофон. При поглощении в газе импульсного излучения, происходит нагрев и расширение газа, то есть возникает флуктуация давления, регистрируемая микрофоном.

4. Метод Фурье-спектроскопии основан на применении двухлучевого интерферометра с последующим Фурье-преобразованием интерферограммы, которая описывает изменение интенсивности прошедшего через интерферометр излучения как функцию разности хода между интерферирующими пучками. Главным достоинством Фурье-спектрометров является то, что они позволяют регистрировать широкие участки спектров, включая целые колебательно-вращательные полосы [10].

Как можно видеть из описания спектроскопических методов, данные методы обладают высокой точностью, имеют чувствительный диапазон настройки, могут реализовываться в различных комбинациях с другими системами бесконтактных измерений значений, имеют небольшие абсолютную

и относительную погрешности. Недостатками представленных дистанционных методов служит сложность в производстве и изготовлении лазеров и высокочувствительного оборудования, а также его стоимость. Таким образом, можно сделать вывод, что использование методов на основе спектроскопического способа измерения влажности повысит точность полученных значений и снизит погрешность при проведении экспериментов.

Целью экспериментальных исследований является адаптация и использование метода лазерной спектроскопии для регистрации концентрации паров воды герметичных емкостях.

## 2.1 Экспериментальная установка

Спектр поглощения водяного пара обладает сложной вращательной и колебательно-вращательной структурой, состоящей из сотен тысяч линий поглощения. Выбор оптимального спектроскопического метода зависит от исследуемого спектрального диапазона, допустимых условий эксперимента и поставленной задачи [14]. В связи с этим при проведении исследований было принято решение использовать источник видимого излучения с последующим выделением из него ИК спектра (длин волн выше 800 нм).

Для проведения экспериментов по определению концентрации водяного пара в окрестностях испаряющейся капли была разработана и смонтирована экспериментальная установка рисунке 2.1, позволяющая реализовать метод внутрирезонаторной спектроскопии на основе инфракрасного (далее – ИК) спектра излучения, выделенного из видимого света.

Экспериментальный стенд рисунке 2.1, используемый при проведении экспериментов представлял собой столешницу (1), жестко закрепленную на металлическом основании. На столешницу при помощи резьбовых соединений крепилось основное и вспомогательное оборудование.

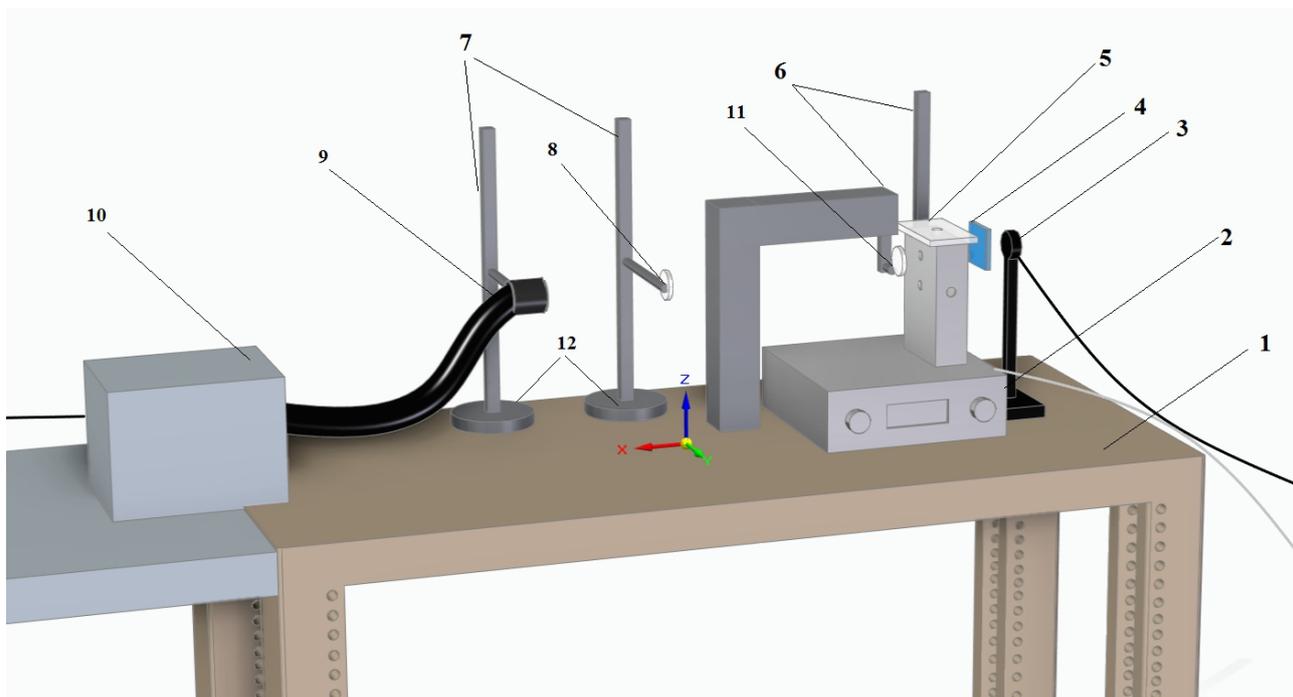


Рисунок 2.1 – Схема экспериментального стенда: 1 – столешница; 2 – лабораторная нагревательная плита; 3 – чувствительный элемент датчика мощности; 4 – комплект светофильтров; 5 – кювета; 6 – держатель; 7 – штатив; 8 – первичная собирающая линза; 9 – световод; 10 – светогенератор; 11 – вторичная собирающая линза; 12 – основание штативов

При проведении экспериментальных исследований, при помощи светового генератора (10) через оптический световод (9) испускался когерентный световой поток. Световод представлял собой гибкий оптоволоконный канал, позволяющий без потери мощности, конфигурировать направления светового потока. После испускания, световой поток фокусировался при помощи первой собирающей линзы (8), закрепленной на лабораторном штативе (7). После прохождения через первую линзу, сконцентрированный световой пучок света, направлялся на вторую собирающую линзу (11), при помощи которой световой пучок фокусировался на кювете (5). Фокус светового пучка располагался в центре кюветы, где, в момент пропускания света, происходило образование водяных паров (за счет испарения внутри нее капли). После прохождения кюветы, пучок рассеивался и

направлялся к чувствительному элементу (3) датчика мощности, который фиксировал мощностью светового потока. Перед чувствительным элементом располагался набор световых фильтров (4), позволяющих выделить необходимый спектр длин волн. Набор световых линз и вторая фокусирующая линза были закреплены на держателе (6). Испарение капли в кювете происходило за счет кондуктивного нагрева подложки, находящейся в основании самой кюветы. Для этих целей использовалась лабораторная нагревательная плита (2).

Для генерации и последующего размещения внутри кюветы капли воды использовался одноканальный лабораторный дозатор “Finnpipette Novus” (диапазон генерируемых объемов 5...100  $\mu\text{l}$ ; шаг варьирования генерируемого объема 0.1  $\mu\text{l}$ ). Объем капель в экспериментах варьировался в диапазоне  $V_d=10...25 \mu\text{l}$ .

Для измерения концентрации водяного пара использовался датчик относительной влажности “Honeywell НН-4000-004” (размер сенсора – 1,27 мм, диапазон измерений – 0...100%, точность измерения при 25 °С – 3,5 %, максимальная рабочая температура – 85 °С). Для измерения температуры паровоздушной смеси использовалась малоинерционная термопара типа К (диаметр спая 0,2 мм, инерционность 0,1 с, погрешность  $\pm 1,5$  °С). Для опроса датчиков температуры и влажности использовался модуль аналогового ввода “National Instruments NI-9219” в комплекте с программным обеспечением “NI Signal Express”. Частота опроса датчиков составляла 0,5 с. Измеритель мощности PD300R-3W он имеет апертуру 10 мм и съемный фильтр. Без фильтра его спектральный диапазон: 350...1100 нм, а диапазон измерения мощности от 5 нВт до 100 мВт. С фильтром его спектральный диапазон: от 430 до 1100 нм, а диапазон измерения мощности от 200 мкВт до 3 Вт. Датчик поставляется с кабелем для подключения к измерителю или интерфейсу компьютера. Плита нагревательная ПЛК-1818 с температурой нагрева от 40 до 500 °С.

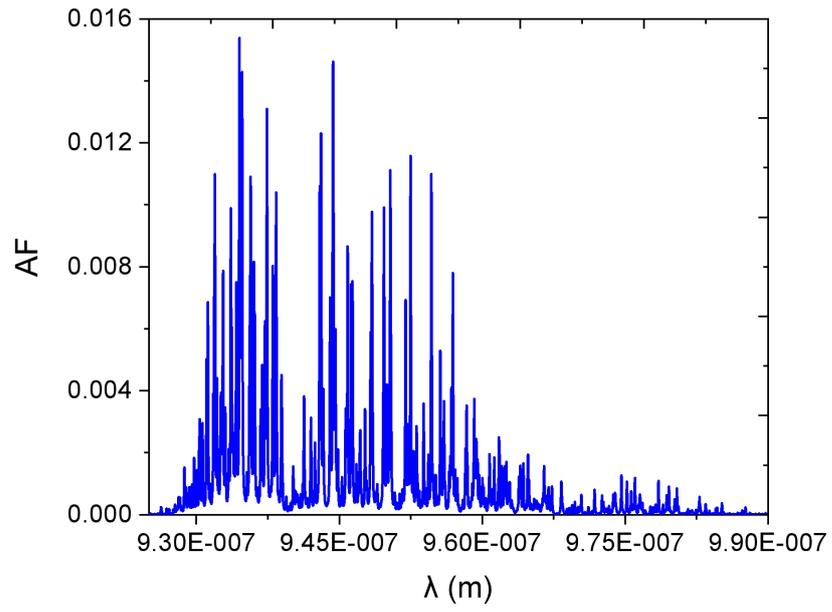
Выбор схемы экспериментальной установки обусловлен рядом следующих факторов:

1. простота конструкции;
2. скорость проведения экспериментов;
3. наглядность экспериментов;
4. к условиям эксплуатации основного и вспомогательного оборудования не предъявляются специальные требования;
5. возможность конфигурировать расстояния и изменять мощность, для достижения оптимальных параметров измерений;
6. точность, удовлетворяющая требованиям к измерениям.

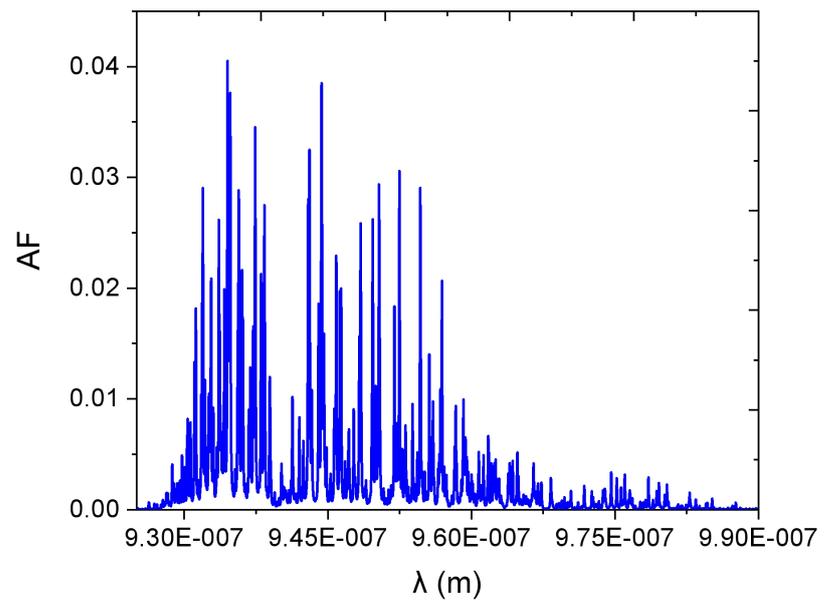
## 2.2 Результаты экспериментальных исследований

На рисунке 2.2 представлена зависимость доли мощности, поглощаемой столбом водяного пара разной толщины, от длины волны излучения полученная при помощи онлайн-сервиса HITRAN. Данные рассчитаны для влажности водяного пара  $\varphi = 92\%$ .

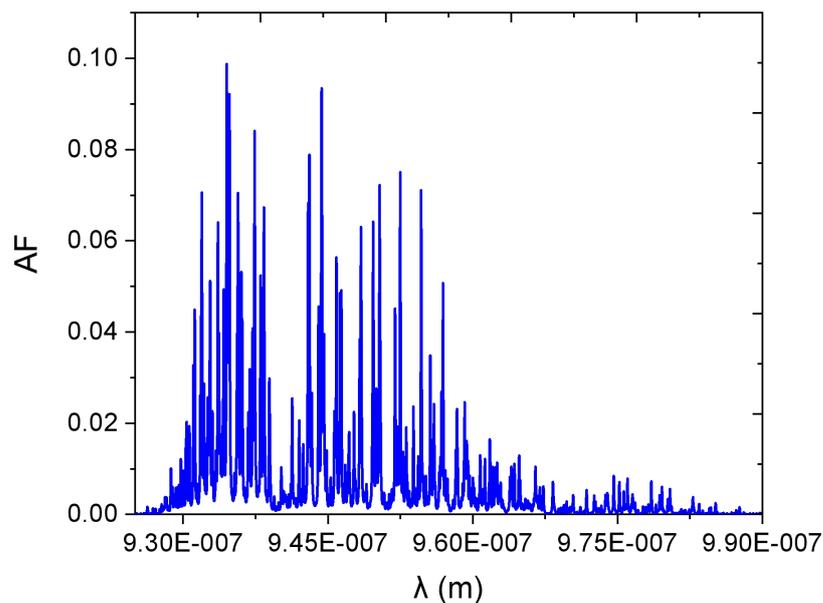
Данная зависимость была выделена из общего спектра видимого излучения. Из рисунка 2.2 видно, что существует два ярко выраженных значения длины волны, на которых происходит максимальное поглощение энергии светового потока: 935 нм и 942 нм.



a



b



с

Рисунок 2.2 – Зависимость доли поглощаемой мощности светового потока от длины волны при толщине: 0,015 м (а); 0,04 м (b); 0,1 м (с)

Соответственно, на первом этапе проведения экспериментов задача сводится к комбинированию различных светофильтров таким образом, что позволит обеспечить пропускание видимого света в диапазоне, выявленном на рисунке 2.2.

На первом этапе для выделения нужной полосы спектра использована комбинация оптических стекол марок ИКС7 и СЗС26 рисунке 2.3. Это позволило выделить необходимую область инфракрасного спектра видимого света. Полученная зона поглощения располагается между 820 нм (по первому графику 880 нм) и 960 нм [15].

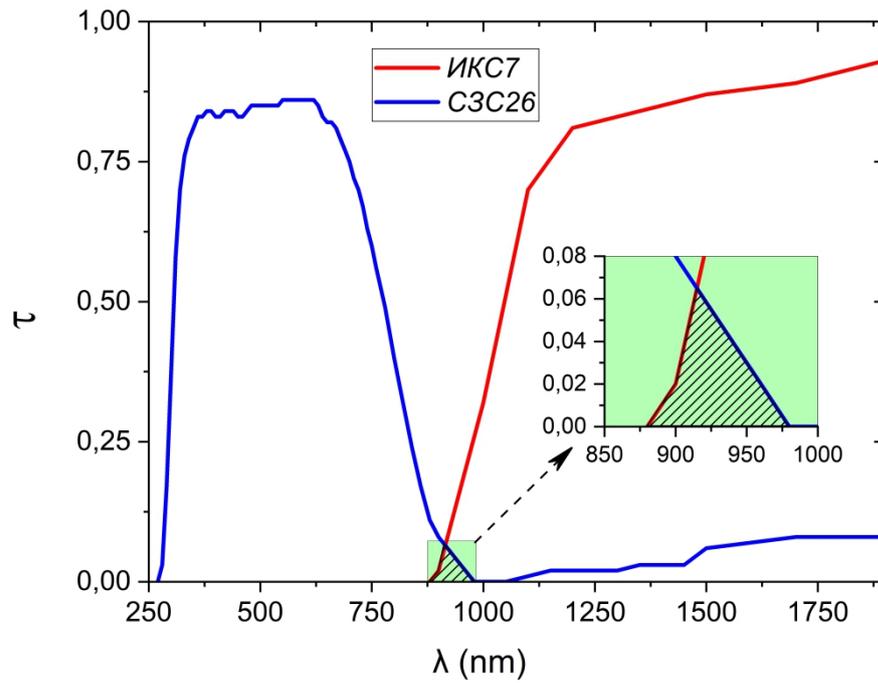
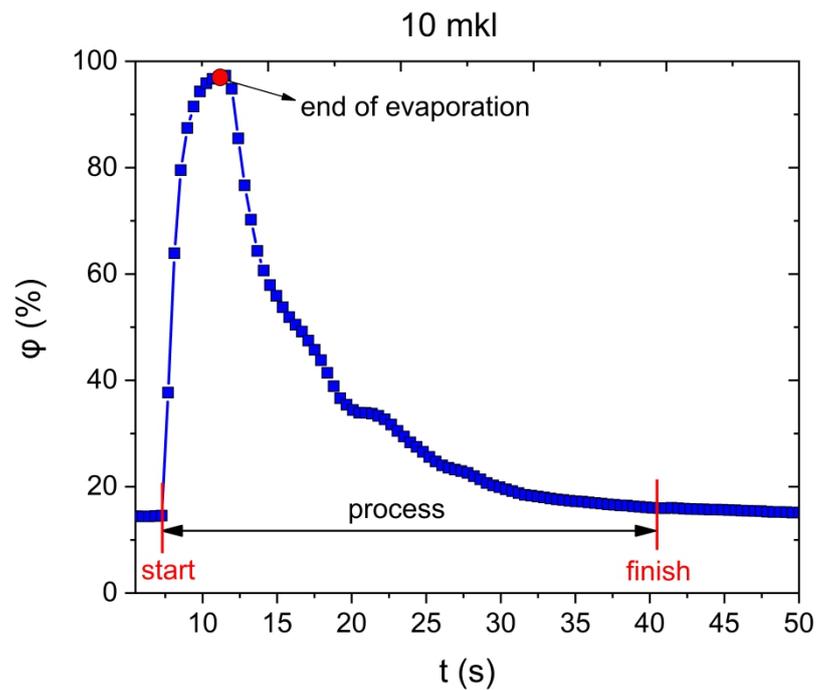


Рисунок 2.3 – Спектральная кривая коэффициента пропускания светофильтра из комбинации стёкол марки СЗС26 и ИКС7

На втором этапе были получены тренды изменения значений влажности во времени после помещения капли в кювету и ее испарении. Пример полученной зависимости изменения влажности от времени при разных объемах капли приведен на рисунке 2.4.



a

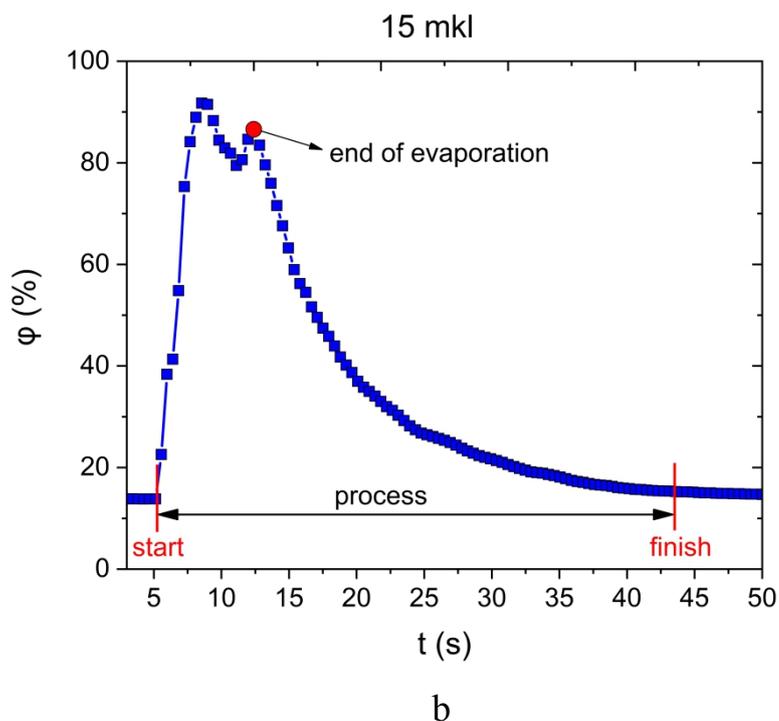


Рисунок 2.4 – Графики зависимости изменения влажности в кювете с течением времени для капли объемами: 10 mkl (a); 15 mkl (b) (при толщине парового слоя около 16 мм)

Скачкообразное поведение кривое соответствует падению капли на разогретую поверхность и ее резкому испарению. Дальнейшее снижение влажности показывает, что капля испарилась и оставшийся в кювете водяной пар улетучивается путем выхода через отверстия, распложенные в кювете. Также можно установить: размер капли не влияет максимальную влажность внутри кюветы, то есть это значение для всех экспериментов практически одинаково и в среднем равно 93%.

Согласно графику, представленному на рисунке 2.4 в начальный момент времени, изменение мощности не происходит, так как водяные пары на пути светового потока практически отсутствуют. После испарения капли, то есть увеличения влажности внутри кюветы образовавшиеся водяные пары поглощают световой поток, проходящий через них. То есть, при прохождении светового потока через водяные пары, происходит уменьшение мощности этого

потока [16]. При этом на рисунке 2.5 слева приведены абсолютные значения.

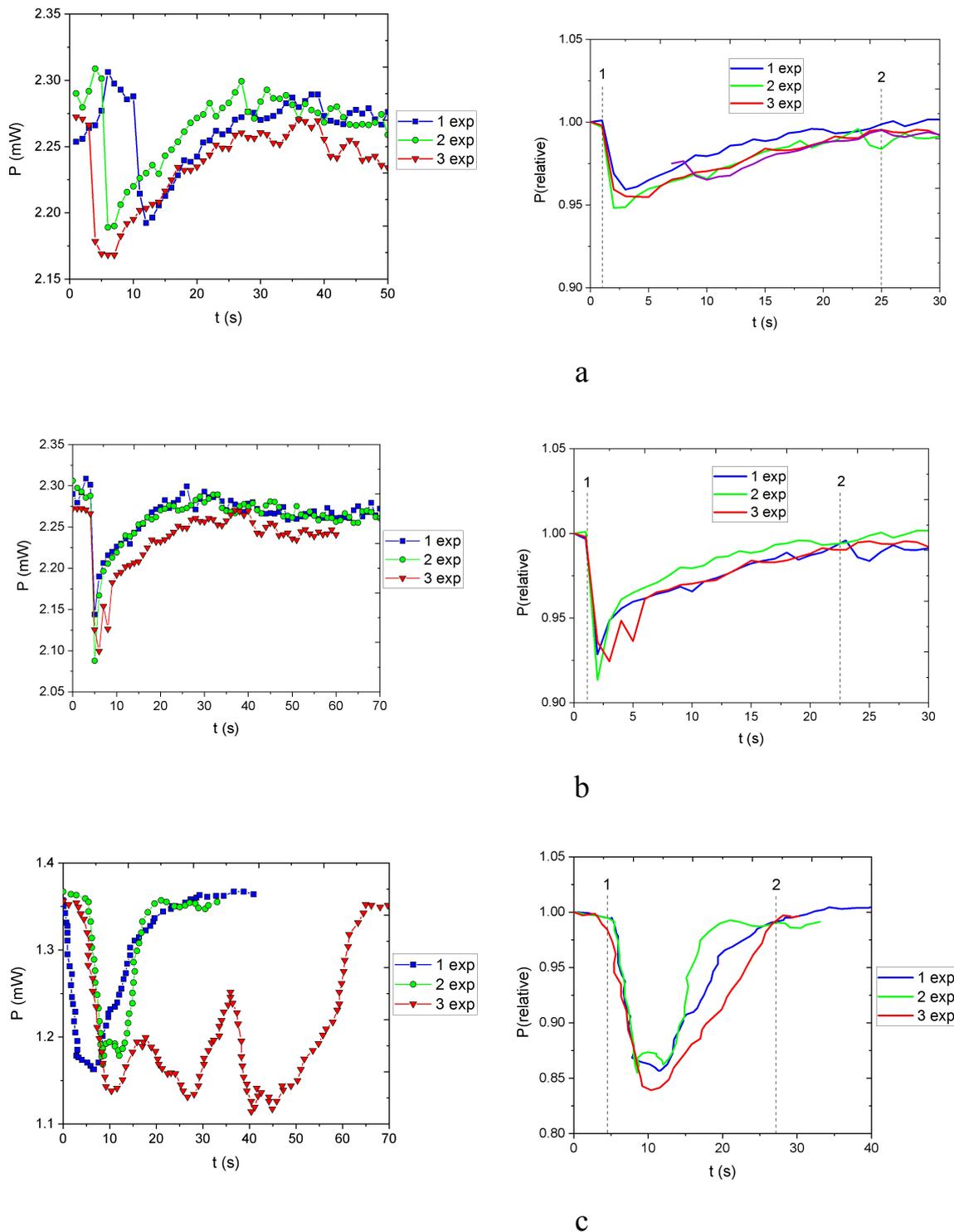
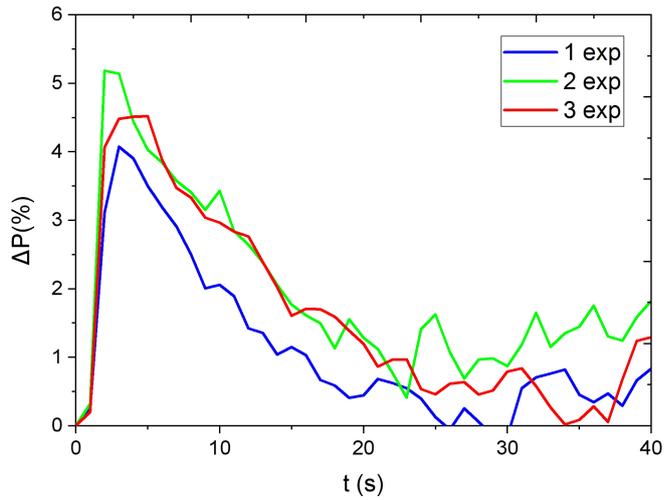


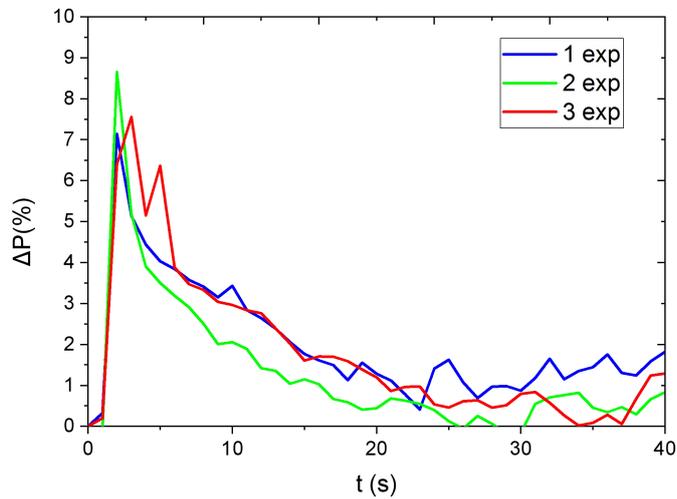
Рисунок 2.5 – Графики зависимостей изменения мощности в абсолютных (слева) и в относительных (справа) единицах в выделенном ИК диапазоне (820...960 nm) с течением времени для  $h = 16$  mm (a);  $h = 46$  mm (b);  $h = 70$  mm (c)

На рисунке 2.5 цифрой 1 обозначен момент, в который капля достигает дна разогретой кюветы и начинает испаряться [17]. Цифра 2 соответствует достижению кривыми значения начальной мощности.

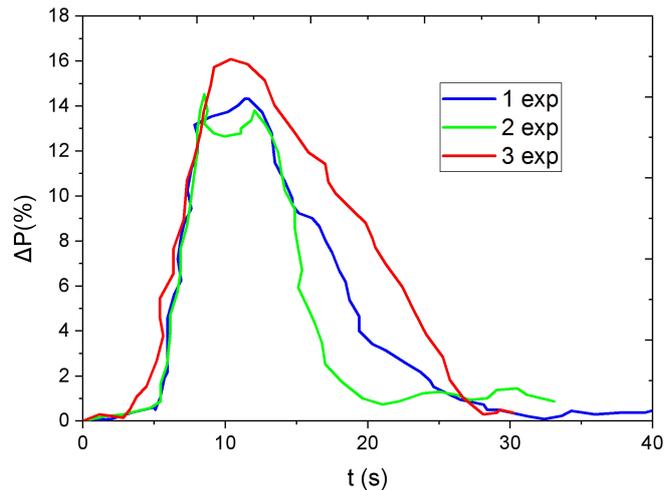
Рисунок 2.6 демонстрирует просадку мощности в процентах, после прохождения светового потока с начальной мощностью  $P$  через паровой слой с толщиной  $h$  в определенные моменты времени  $t$ .



a



b

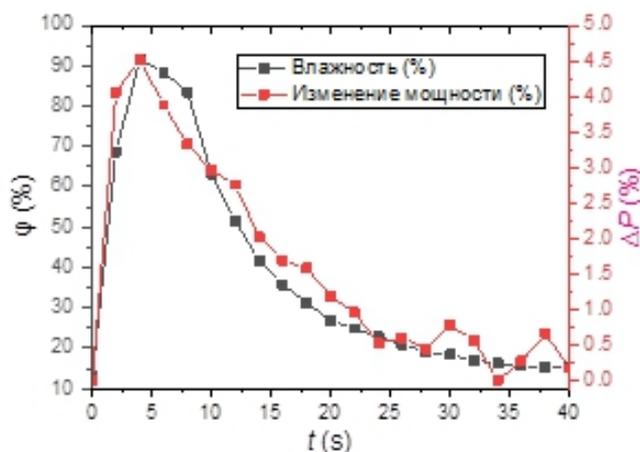


с

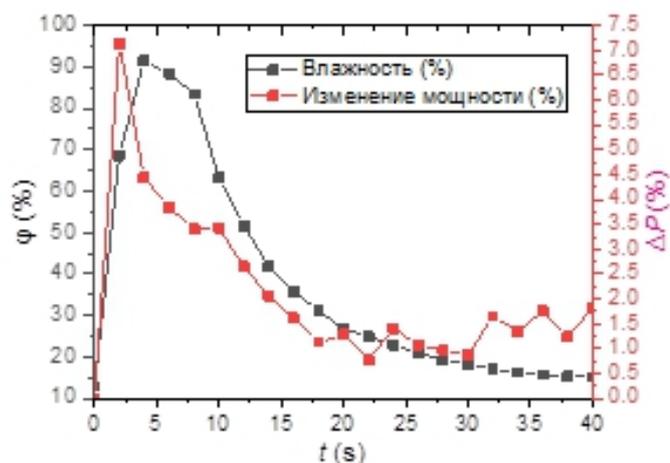
Рисунок 2.6 – Графики зависимостей изменения просадки мощности в процентах в выделенном ИК диапазоне (820-960 нм) с течением времени для  $h = 16$  мм (а);  $h = 46$  мм (b);  $h = 70$  мм (с)

Из графиков рисунков 2.6 видно, что с увеличением толщины парового слоя прямо пропорционально изменяется просадка мощности. В среднем максимальный перепад мощности при  $h = 16$  мм равен 4,5%, при  $h = 46$  мм – 7,5% и при  $h = 70$  мм – 14 %.

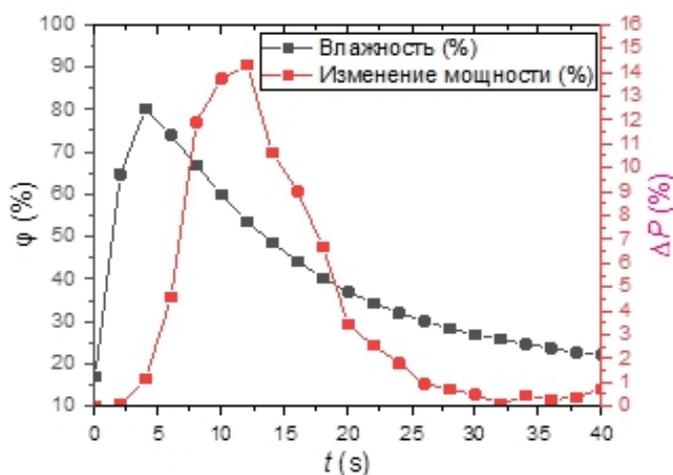
На рисунке 2.7 приведены совмещенные зависимости изменения влажности ( $\psi$ ) в кювете и просадки мощности излучения ( $\Delta P$ ) в ИК диапазоне (820...960 нм) от времени.



а



b

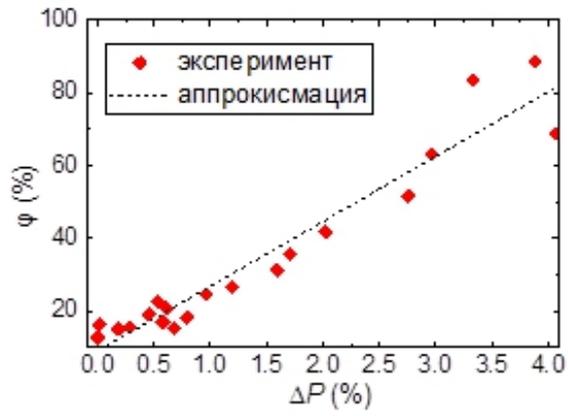


c

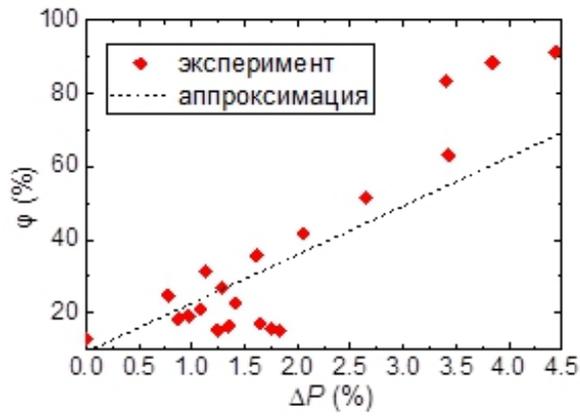
Рисунок 2.7 – Совмещенные зависимости изменения влажности ( $\psi$ ) в кювете и просадки мощности излучения ( $\Delta P$ ) в ИК диапазоне (820...960 нм) от времени при  $h = 16$  мм (a);  $h = 46$  мм (b);  $h = 70$  мм (c)

На приведенном графике отчетливо прослеживается одинаковый характер поведения кривых. То есть, при росте концентрации паров внутри кюветы наблюдается увеличение перепада мощности излучения.

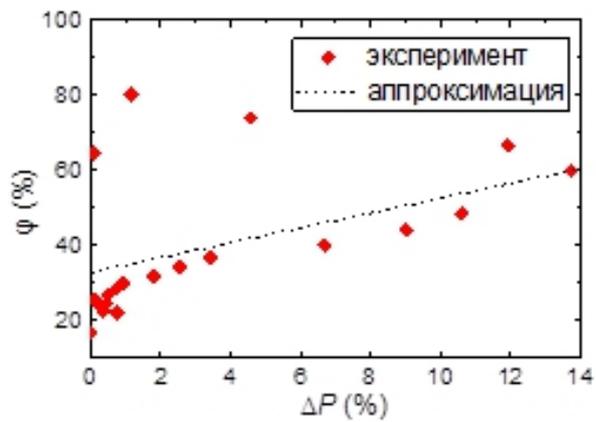
По результатам экспериментов построены калибровочные кривые рисунке 2.8, позволяющая косвенно по изменению мощности ИК излучения определять концентрацию водяных паров в исследуемой области [18].



а



б



с

Рисунок 2.8 – Калибровочная кривая, позволяющая косвенно по изменению мощности ИК излучения (820...960 нм) определять концентрацию водяных паров в исследуемой области при  $h = 16$  мм (а);  $h = 46$  мм (б);  $h = 70$  мм (с)

Полученные результаты дают возможность построить калибровочную поверхность, представленную на рисунке 2.9.

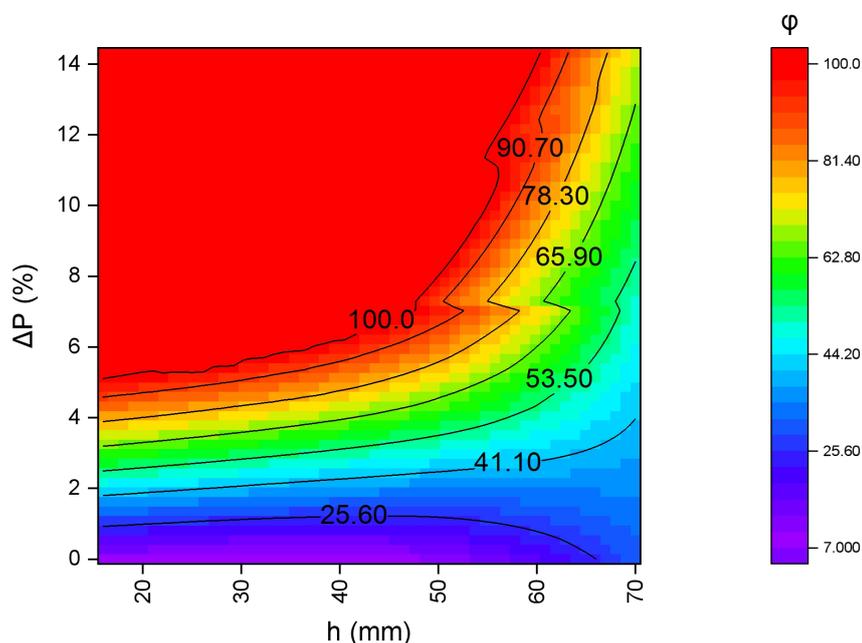


Рисунок 2.9 – Калибровочная поверхность, позволяющая косвенно по изменению мощности ИК излучения (820...960 нм) определять концентрацию водяных паров при различной толщине парового слоя

### 2.3 Расчет погрешностей измерений

В ходе выполнения исследовательской работы необходимо было определить погрешность измерений для зависимости изменения мощности в выделенном ИК диапазоне (820...960 нм) с течением времени для  $h = 16$  мм (а),  $h = 46$  мм (б) и  $h = 70$  мм (с), и дать оценку выполненной работы.

В данной научно-исследовательской работе все измерения относятся к косвенным, поэтому для определения погрешностей будем использовать ошибки систематических и случайных измерений.

Так на рисунке 2.10 определим уравнение калибровочной кривой оно описывается уравнением  $\varphi = f(\Delta P)$ .

1. Определить уравнение калибровочной кривой для 16 мм:

$$\varphi = 20 \cdot \Delta P, \quad (2.1)$$

где,  $\Delta P = \frac{P_H - P^*}{P_H} \cdot 100\%$ .

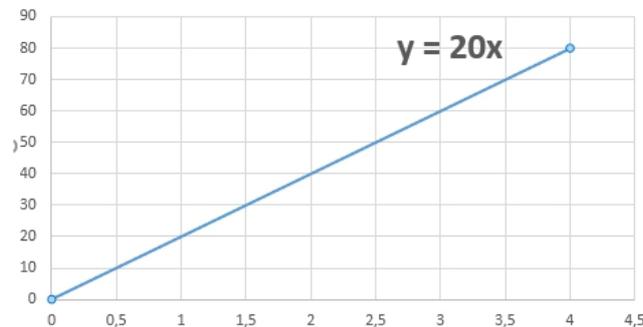


Рисунок 2.10 – Уравнение для толщины парового слоя 16 мм

## 2. Оценка систематической погрешности измерений:

$$\varphi = 20 \Delta P = 20 \left(1 - \frac{P^*}{P_H}\right) 100\% = 2000 - 2000 \frac{P^*}{P_H},$$

$$\delta\varphi = \left| \frac{\partial\varphi}{\partial P^*} \right| \partial P^* + \left| \frac{\partial\varphi}{\partial P_H} \right| \partial P_H = \delta P \left| \frac{\partial\varphi}{\partial P^*} \right| + \left| \frac{\partial\varphi}{\partial P_H} \right|, \quad (2.2)$$

$\partial P = \partial P^* = \partial P_H$  – систематическая погрешность измерения мощности,  
где,  $\partial P_H = 0,002$  мВт.

$$d\varphi = \delta P \left( \frac{2000}{P_H} + \frac{2000 \cdot P^*}{P_H^2} \right) = 0,002 \cdot \left( \frac{2000}{2,28} + \frac{2000 \cdot 2,2}{2,28^2} \right) = 3,45\%,$$

где,  $d\varphi = 3,45\%$  – абсолютное значение систематической погрешности для влажности.

## 3. Оценка случайной погрешности измерений:

$$d\varphi = \sqrt{\left| \frac{\partial\varphi}{\partial P^*} \right|^2 \partial P^{*2} + \left| \frac{\partial\varphi}{\partial P_H} \right|^2 \partial P_H^2} = \partial P \sqrt{\left| \frac{\partial\varphi}{\partial P^*} \right|^2 + \left| \frac{\partial\varphi}{\partial P_H} \right|^2}, \quad (2.3)$$

$\partial P = \partial P^* = \partial P_H$  – случайная погрешность измерения мощности,  
где,  $\partial P_H = 0,01$  мВт.

$$d\varphi = 0,01 \cdot \sqrt{\frac{2000^2}{P_H^2} + \frac{2000^2 \cdot P^{*2}}{P_H^4}} = \frac{0,01 \cdot 2000}{P_H} \cdot \sqrt{1 + \frac{P^{*2}}{P_H^2}} = \frac{0,01 \cdot 2000}{2,28} \cdot \sqrt{1 + \frac{2,2^2}{2,28^2}} = 12,19\%,$$

где,  $d\varphi = 12,19\%$  – абсолютное значение случайной погрешности.

Далее рассчитываем аналогичным образом для 46 мм и 70 мм и сводим в таблицу 2.11.

1. Определить уравнение калибровочной кривой для 46 мм:

$$\varphi = 14,444 \cdot \Delta P;$$

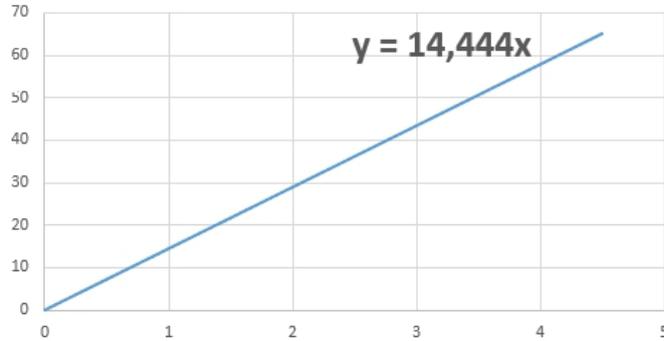


Рисунок 2.11 – Уравнение для толщины парового слоя 46 мм

2. Оценка систематической погрешности измерений:

$$d_{\text{ц}} = 0,002 \cdot \frac{1444,4}{2,29} + \frac{1444,4 \cdot 2,07}{2,29^2} = 2,4 \%,$$

где,  $d_{\text{ц}} = 2,4 \%$  – абсолютное значение систематической погрешности для влажности.

3. Оценка случайной погрешности измерений:

$$d_{\text{ц}} = \frac{0,01 \cdot 1444,4}{2,29} \cdot \sqrt{1 + \frac{2,07^2}{2,29^2}} = 8,5 \%,$$

где,  $d_{\text{ц}} = 8,5 \%$  – абсолютное значение случайной погрешности.

1. Определить уравнение калибровочной кривой для 70 мм:

$$\varphi = 6,3636 \cdot \Delta P,$$

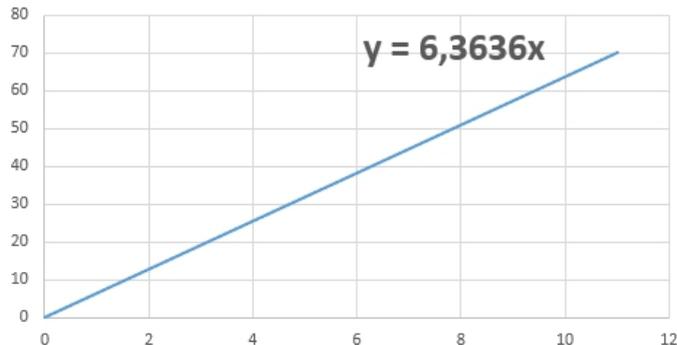


Рисунок 2.12 – Уравнение для толщины парового слоя 70 мм

2. Оценка систематической погрешности измерений:

$$d_{\text{ц}} = 0,002 \cdot \frac{636,36}{1,37} + \frac{636,36 \cdot 1,18}{1,37^2} = 1,73 \%,$$

где,  $d_{\text{ц}} = 1,73 \%$  – абсолютное значение систематической погрешности для влажности.

3. Оценка случайной погрешности измерений:

$$d_{\text{ц}} = \frac{0,01 \cdot 636,36}{1,37} \cdot \sqrt{1 + \frac{1,18^2}{1,37^2}} = 6,12 \%,$$

где,  $d_{\text{ц}} = 6,12 \%$  – абсолютное значение случайной погрешности.

Оценка погрешностей косвенных измерений для зависимости изменения мощности в выделенном ИК диапазоне приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Оценка погрешностей косвенных измерений для зависимости изменения мощности в выделенном ИК диапазоне (820...960 nm)

Абсолютное значение систематической и случайной погрешности, %	L – толщина парового слоя, мм		
	16	46	70
$\delta\varphi$	3,45	2,4	1,73
$d\varphi$	12,19	8,5	6,12

В рамках выполнения научно-исследовательской работы был представлен сравнительный обзор существующих методов регистрации паров воды. Показано, что наиболее оптимальным для регистрации концентрации паров воды, может являться метод бесконтактной лазерной спектроскопии.

Получены навыки планирования и организации научно-исследовательской работы. Проведены экспериментальные исследования, что позволило подобрать комбинацию оптических стекол марок ИКС7 и СЗС26, также это позволило выделить необходимую область инфракрасного спектра видимого света. Полученная зона поглощения располагается между 820 nm и 960 nm. Были построены графики зависимостей изменения мощности в

абсолютных и в относительных единицах в выделенном ИК диапазоне (820...960 нм) с течением времени для толщины парового слоя  $h=16$  мм,  $h=46$  мм и  $h=70$  мм.

Построены калибровочные кривые, позволяющая косвенно, по изменению мощности ИК излучения, определять концентрацию водяных паров в исследуемой области.

Для обработки результатов измерений было рассчитано абсолютное значение систематической и случайной погрешности для применение бесконтактных методов контроля концентрации паров воды в герметичных емкостях. Погрешность метода зависит от колебаний датчика мощности, которые составляют около 0,01 мВт, что соответствует изменению концентрации паров в диапазоне 6...12 %.

Разработанная методика может быть использована для измерения концентрации любых компонентов паров воды и других жидкостей. Данный метод может быть использован на производстве в качестве сигнализации максимального-минимального уровня в барабане парового котла.

### 3 Разработка структуры технических средств АСУ

#### 3.1 Перечень функций реализуемых АСУ

Функции АСУ определяются в соответствии с видом подсистемы, ее местом в иерархической структуре, перечнем возлагаемых на подсистему функций, зафиксированных в техническом задании на создание конкретной АСУ на основе анализа целей управления технологическим объектом, заданных ресурсов для их достижения, а также ожидаемого эффекта от автоматизации [19].

При создании АСУ должны быть определены конкретные цели функционирования системы и ее назначение в общей структуре управления предприятием.

Функции АСУ в общем случае должны включать следующие элементы (действия): сбор, накопление, систематизация, отображение информации; учет, контроль, анализ, прогнозирование, координация, управление, регулирование, сигнализация.

Основные функции АСУ регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4:

- сбор, обработка и отображение данных о ходе технологических процессов в барабане парового котла;
- контроль режимов работы основного и вспомогательного оборудования;
- передача рекомендуемых заданий и управляющих воздействий на нижестоящий уровень (оперативное управление) в соответствии с режимными заданиями;
- документирование и протоколирование хода технологических процессов;
- мониторинг выполнения режимных заданий;
- мониторинг состояния основного технологического оборудования;
- контроль и учет ресурсов;

- противоаварийная защита технологического оборудования (локальные системы);
- выявление аварийной ситуации при поступлении от датчиков аварийной сигнализации предельных значений параметров и положений исполнительных механизмов;
- взаимодействие с АСУ вышестоящего уровня и смежными системами управления.

### 3.2 Разработка структуры технических средств подсистемы АСУ

Состав и структура технических средств в значительной степени зависят от специфики конкретной системы автоматизированного проектирования. Такие факторы, как объем и характер информации, циркулирующей в системе, способы взаимодействия оператора или пользователя с системой, вид промежуточной и конечной продукции, количество, уровень «интеллекта» терминальных устройств и их удаленность от центрального процессора, время реакции на запросы и быстродействие системы в целом, целесообразность организации фоновой работы центрального вычислителя, необходимость связи с другими автоматизированными системами и другие факторы во многом определяют архитектуру и характеристики комплексов технических средств, предназначенных для автоматизированного проектирования.

Разработанная структура технических средств АСУ регулирования уровня в барабане парового котла на основе микропроцессорной техники построена по топологии типа «Звезда».

В помещении ГРЦУ-1 на специально отведенной площадке установлен шкаф контроллера (ШК) с программируемым логическим контроллером (ПЛК).

ПЛК состоит из контроллерной корзины, блока питания, процессорного модуля, а также модулей аналоговых входов/выходов и дискретных входов/выходов.

Для приема дискретных сигналов в контроллерную корзину установлены модули входных дискретных сигналов, позволяющие принимать сигналы напряжением 24 VDC.

Для выдачи управляющих дискретных сигналов на объекты управления используются модули вывода дискретных сигналов. Каналы с групповой изоляцией, на 24 VDC.

Для приема аналоговых сигналов используются модули ввода аналоговых сигналов. Сконфигурирован для работы с токовыми входными сигналами 4...20 мА. Модуль имеет изоляцию между каналами и шиной.

Для выдачи управляющих аналоговых сигналов используются модули вывода аналоговых сигналов. Сконфигурирован для работы с токовыми входными сигналами 4...20 мА. Модуль имеет изоляцию между каналами и шиной.

Для подключения входных и выходных сигналов к аналоговым модулям и основного контроллера используются разделитель-усилитель аналоговых сигналов Phoenix Contact. Разделительный усилитель предназначен для гальванической развязки, усиления и фильтрации нормированных аналоговых сигналов.

В помещении серверной расположен сетевой шкаф (ШС), входящий в структуру АСУ, используется для связи ПЛК с верхним уровнем АСУ. В комплектацию ШС входит следующее оборудование: сервер приложений №1, 2 для обеспечения резервирования, сервер историй №1, 2, КВМ-консоль, Ethernet коммутаторы и кроссовые коробки.

На уровне оперативного персонала в помещении ГРЩУ-1 осуществляется сбор технологических параметров и состояний с технологического уровня по унифицированному промышленному протоколу передачи данных, отображение данных параметров на автоматизированном рабочем месте дежурного персонала в виде мнемосхем, трендов, ввод и передачу уставок регулирования в контроллер технологического уровня, а также выбор режима управления

оборудованием технологического уровня. Кроме того, уровень оператора выполняет функции формирования оповещений об аварийных ситуациях.

Уровень оперативного персонала включает в свой состав промышленный дисплей оператора со встроенной системой обработки данных, программные и технические средства информационного обмена с нижестоящим технологическим уровнем и в перспективе с вышестоящим информационно-аналитическим уровнем (АРМ-оператора). Также для контроля за состоянием технологических параметров в кабинет главного инженера установлен дополнительно АРМ-главного инженера.

Структурная схема подсистемы АСУ регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4 на основе микропроцессорной техники представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.008 С1.

### 3.3 Составление технического задания на проектирование и разработку подсистемы АСУ

Согласно ГОСТ 34.602-89 техническое задание на создание АСУ [5]. Настоящий стандарт распространяется на автоматизированные системы (АС) для автоматизации различных видов деятельности (управление, проектирование, исследование и т.п.), включая их сочетания, и устанавливает состав, содержание, правила оформления документа "Техническое задание на создание (развитие или модернизацию) системы" (далее - ТЗ на АС).

Общие положения:

1. ТЗ на АС является основным документом, определяющим требования и порядок создания (развития или модернизации - далее создания) автоматизированной системы, в соответствии с которым проводится разработка АС и ее приемка при вводе в действие.

2. ТЗ на АС разрабатывают на систему в целом, предназначенную для работы самостоятельно или в составе другой системы.

Дополнительно могут быть разработаны ТЗ на части АС:

- на подсистемы АС, комплексы задач АС и т.п. в соответствии с требованиями настоящего стандарта;
- на комплектующие средства технического обеспечения и программно-технические комплексы в соответствии со стандартами ЕСКД и СРПП;
- на программные средства в соответствии со стандартами ЕСПД;
- на информационные изделия в соответствии с ГОСТ 19.201 и НТД, действующей в ведомстве заказчика АС.

3. Требования к АС в объеме, установленном настоящим стандартом, могут быть включены в задание на проектирование вновь создаваемого объекта автоматизации. В этом случае ТЗ на АС не разрабатывают.

4. Включаемые в ТЗ на АС требования должны соответствовать современному уровню развития науки и техники и не уступать аналогичным требованиям, предъявляемым к лучшим современным отечественным и зарубежным аналогам.

Задаваемые в ТЗ на АС требования не должны ограничивать разработчика системы в поиске и реализации наиболее эффективных технических, технико-экономических и других решений.

5. ТЗ на АС разрабатывают на основании исходных данных, в том числе содержащихся в итоговой документации стадии "Исследование и обоснование создания АС", установленной ГОСТ 34.601.

#### 1.1 Требования к системе в целом:

Разрабатываемая система управления должна соответствовать стандартам АО «Томская Генерация». Систем должна состоять из двух независимых подсистем:

- подсистемы контроля и управления (PCY);
- подсистемы противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ).

#### 1.2 Требования к структуре и функционированию системы:

Система должна создаваться на базе микропроцессорной управляющей техники.

Разрабатываемая система должна быть распределенной и иметь трехуровневую структуру:

- уровень операторского интерфейса;
- уровень автоматического контроля и регулирования, включающий также систему защиты и блокировки;
- уровень средств низовой автоматики, сформированной из датчиков контроля;
- состояния технологического процесса и необходимого набора исполнительных механизмов.

Режим работы системы – круглосуточный, в реальном масштабе времени. Система должна обладать высоким быстродействием и живучестью.

В системе должна быть обеспечена полная совместимость (техническая и системная) между ее элементами и отдельными уровнями.

### 1.3 Требования к численности и квалификации персонала:

Пользователями системы управления являются в первую очередь операторы КТЦ, начальник смены, дежурный инженер станции (ДИС), а также административно-управленческий персонал производства. Управление должно осуществляться операторам КТЦ.

Перед вводом системы в эксплуатацию весь технологический и эксплуатационный персонал должен пройти предварительное обучение и проверку знаний в установленном на предприятии порядке.

### 1.4 Требования к надежности:

Показатели надежности системы должны отвечать требованиям ГОСТ 24.701-86. Для обеспечения безотказной работы системы предусмотреть необходимый уровень резервирования элементов:

- резервирование центральных процессоров подсистемы контроля и управления;
- горячее резервирование модулей ввода-вывода подсистемы;
- резервирование блоков питания подсистемы контроля и управления;
- резервирование внутрисетевых шин обмена данными;

– резервирование архивов, баз данных процесса.

Автоматическое переключение на резервные устройства должно быть безударным.

Регулирующий клапан при исчезновении (отключении) управляющего сигнала будет занимать безопасное для технологического процесса положение в соответствии с требованиями технологического регламента.

В системе должна быть предусмотрена возможность хранения базы данных и файлов конфигурации системы на внешнем носителе информации и оперативной загрузки их в систему.

Сеть управления системой должна быть резервирована.

Система должна обеспечивать диагностику своих технических средств, КИП и средств автоматизации в режиме нормальной работы:

- отказ микропроцессорного контроллера;
- обрыв одного из проводов резервируемой сети;
- отказ рабочих станций, как оборудования, так и программного обеспечения;
- отказ источников питания;
- отказ датчиков.

1.5 Требования к каналам ввода/вывода:

Устройства аналогового ввода/вывода должны обеспечивать:

- ввод/вывод унифицированных токовых сигналов 4...20 мА;
- питание контуров аналогового ввода/вывода напряжением 24 В, постоянного тока;
- искрозащиты полевых устройств с помощью активных барьеров искрозащиты с гальванической развязкой входных и выходных цепей и с электронной защитой от короткого замыкания.

Устройства дискретного ввода/вывода должны обеспечивать:

- ввод и вывод искробезопасных дискретных сигналов при помощи активных барьеров искрозащиты с гальванической развязкой по питанию (с электронной защитой от короткого замыкания);

- питание напряжением 24 В, постоянного тока (световой и звуковой сигнализации);

- ввод и вывод неискрозащищенных дискретных сигналов через промежуточные реле.

#### 1.6 Требования к функциям системы:

- оперативный контроль значений технологических параметров с заданной частотой сканирования;

- автоматическое регулирование технологического процесса;

- автоматическое управление технологическим процессом;

- дистанционное управление с пульта операторской станции;

- звуковая и световая сигнализация о состоянии технологического процесса;

- индикация технологической и системной информации на экранах операторских станций;

- накопление массивов технологической информации;

- автоматическая защита технологического оборудования при нарушении норм технологического регламента;

- обмен технологической и системной информацией через информационную сеть.

Вся разрабатываемая документация оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 34.201-89 «Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем» и РД 50-34.698-90 «Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов».

#### 1.7 Нормативные документы:

При создании АСУ необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

- ГОСТ 34.602-89. Техническое задание на создание АС [5].

- ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания [20].

- ГОСТ 24.701-86. Надежность АСУ. Основные положения [5].

- ГОСТ 8.437-81. ГСИ. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения [21].
- ГОСТ 21958-76. Общие эргономические требования к расположению рабочих мест [22].
- ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Защитное заземление, зануление [23].
- ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [24].
- правила устройства электроустановок (ПУЭ) [25].

## 4 Проектирование схемы автоматизации полевого уровня АСУ на основе микропроцессорной техники

### 4.1 Проектирование функциональной схемы

Функциональные схемы автоматизации (ФСА) является основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники) [26].

Она представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматики. Вспомогательные устройства не показывают [26].

При разработке функциональной схемы АСУ регулирования уровня в барабане парового котла решены следующие задачи [26]:

- 1) получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- 2) непосредственное воздействие на технологический процесс для управления им;
- 3) стабилизация технологических параметров процесса;
- 4) контроль и измерение технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

На технологических трубопроводах показана только та регулирующая и запорная арматура, которая непосредственно участвует в работе системы автоматизации или необходима для определения относительного расположения отборных устройств и первичных измерительных преобразователей.

В процессе разработки функциональной схемы, опираясь на структурную схему, была изучена технологическая схема автоматизируемого объекта и определены точки отбора измерительной информации – температуры, давления, расхода и уровня.

Разработанная функциональная схема АСУ регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4 представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.008 С2.

На функциональной схеме представлены измерительные каналы 1...9 и каналы регулирования 10-11. В верхней части листа размещается технологическая схема, которая позволяет отображать точки регулирования, первичные преобразователи, а также нумерацию измерительных и управляющих каналов. В нижней части чертежа располагается щит управления.

Регулирование подачи расхода питательной воды в барабан осуществляется регулирующим питательным клапаном РПК посредством подачи управляющего сигнала на исполнительный механизм по каналу 10б, расход перегретого пара от котла измеряется по каналу 6. Контроль давления в барабане передается по каналу 4, давление пара в паропроводе по каналу 3, давление в трубопроводе питательной воды к котлу по каналу 5. Уровень воды в барабане передается по каналу 9. Расход непрерывной продувки по каналу 7. Значение температуры перегретого пара от котла и питательной воды на котел поступает по каналам 1 и 2 от термопреобразователей сопротивления ТС.

Схема управления мощностью РПК включает несколько способов управления исполнительным механизмом, а именно: местное управление от штурвала, дистанционное управление через АРМ и основной автоматический режим управления от контроллера.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403-80 [27], условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785-70 [28], первичные и функциональные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.404-85 [29].

## 4.2 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации ТСА

В ходе проектирования АСУ регулирования уровня в барабане парового котла, отдавалось предпочтение оборудованию и средствам автоматизации, которые выпускаются серийно отечественными предприятиями. Это упрощает закупку оборудования, обеспечивает наиболее полную поддержку со стороны производителя. Кроме того, предпочтение отдавалось унифицированным техническим средствам, так как это обеспечивает взаимозаменяемость, упрощает подключение друг с другом и формирование комплекта запасного имущества и принадлежностей.

При выборе первичных преобразователей необходимо учитывать предельные значения измеряемых параметров, а также условия, в которых возможна эксплуатация выбираемого оборудования. Кроме того, важно учитывать характеристики выходных сигналов выбранных технических средств. Кроме этого необходимо ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций.

### 4.2.1 Выбор преобразователя температуры

В разрабатываемой системе регулирования уровня в барабане котла Е-160-2,4 измеряется температура в трубопроводе питательной воды к котлу после сниженного узла питания (СУП) и температура в паропроводе перегретого пара от котла.

При измерении температуры на ТЭЦ в качестве первичных преобразователей используют термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические преобразователи. При выборе необходимо учитывать наличие выходного сигнала, пределы измерения, метрологические характеристики, доступность и цена. В настоящее время на отечественном рынке существует огромный выбор первичных преобразователей температуры.

В проектируемой системе будем рассматривать термопреобразователи сопротивления, т.к. датчику температуры в данной системе не будет требоваться измерение высоких температур.

Термопреобразователи сопротивления обладают рядом преимуществ:

- имеют высокую точность измерений;
- при использовании трех и четырехпроводной схем подключения исключается влияние изменения сопротивлений линий связи на результат измерения;
- имеют практически линейную характеристику зависимости температуры от сопротивления.

Рассмотрим наиболее популярных и зарекомендованных отечественных компаний, промышленная группа «Метран» (г. Челябинск) и научно-производственное предприятие «Элемер» (г. Зеленоград).

Термопреобразователи сопротивления с медными Метран-254, и платиновыми чувствительными элементами серии Метран-256 предназначены для измерения температуры жидких, газообразных, сыпучих сред в различных отраслях промышленности. Схемы соединений чувствительного элемента двухпроводная, трехпроводная или четырехпроводная по ГОСТ 6651-2009 [30]. Номинальная статическая характеристика преобразования по ГОСТ 6651. Технические характеристики термопреобразователей сопротивления фирмы «Метран» представлены в таблице 4.1, 4.2 [31,32].

Таблица 4.1 – Технические характеристики термопреобразователей сопротивления фирмы «Метран»

Тип преобразователя	ТСМ-254	ТСП-256
Диапазон измеряемых температур	-50...180 °С	-50...500 °С
НСХ	50М; 100М	50П; 100П

Продолжение таблицы 4.1 – Технические характеристики термопреобразователей сопротивления фирмы «Метран»

Тип преобразователя	ТСМ-254	ТСП-256
Цена	2000	8000
Степень защиты от пыли и воды	IP55	

Таблица 4.2 – Технические характеристики термопреобразователей сопротивления фирмы «Элемер»

Тип преобразователя	ТС-1088	ТС-1187
Диапазон измеряемых температур	-180...200 °С	-196...600 °С
НСХ	50М; 100М	50П; 100П
Цена, руб.	2400	7500
Степень защиты от пыли и воды	IP55	

Выбираем для измерения температуры питательной воды выбираем ТСМ-254-01-100 с НСХ типа 100М класс допуска В, нижний и верхний предел измерения от минус 50 до плюс 180 °С соответственно, условное давление 10 МПа, материал защитной арматуры сталь 12Х18Н10Т 08Х13. Для измерения температуры перегретого пара выбираем термопреобразователи сопротивления ТСП-256-01-120 с НСХ типа 50П класс допуска В, нижний предел измерения и верхний предел измерения от минус 50 до плюс 500 °С соответственно, условное давление 10 МПа, материал защитной арматуры сталь 12Х18Н10Т 08Х13 [2].

#### 4.2.2 Выбор преобразователя давления

Датчики давления предназначены для непрерывного преобразования абсолютного давления, дифференциального давления, избыточного давления,

избыточного давления-разряжения и разности давлений в унифицированный токовый сигнал или цифровой сигнал в стандарте протокола HART.

Рассмотрим два датчика избыточного давления промышленной группы «Метран» Сапфир-22 ДИ, Метран-150 TG и научно-производственное предприятие «Элемер». Технические характеристики представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Технические характеристики датчиков давления [33-35]

Наименование датчика	Сапфир-22 ДИ	Метран-150 TG	АИР-10L
Назначение	Измерение избыточного давления	Измерение избыточного давления	Измерение избыточного давления
Диапазон температур окружающей среды	-30...65 °С	-40...85 °С	-40...85 °С
Верхний предел измерения	10·10 <sup>6</sup> Па	13,8·10 <sup>6</sup> Па	6·10 <sup>6</sup> Па
Питания постоянного тока	15...42 В	12...42 В	9...36 В
Выходные сигналы	0...5 мА; 4..20 мА	4..20 мА; HART	4..20 мА
Стоимость, руб.	22000	35000	9000
Средний срок службы, лет	12	15	12
Степень защиты от пыли и воды	IP65	IP66	IP65

Для измерения давления в барабане котла, в трубопроводе перегретого пара и трубопроводе питательной воды выбираем измерительный преобразователь избыточного давления: Метран 150TG5-(0-60) МПа-2G-2-1-А-М5-ЕМ-2F-2-В4-Q4-С1-J5-ML, соответственно, выходной сигнал аналоговый токовый 4...20 мА.

Питание преобразователей Метран-150 TG осуществляется от защитного преобразователя MINI-MCR-SL-RPSS-I-I напряжением 24 В, постоянного тока.

Характеристики измерительных преобразователей выбирались по каталогу в соответствии с диапазоном измерения, ближе к нашей измеряемой величине, чтобы не допустить высокой погрешности измерения.

#### 4.2.3 Выбор технических средств измерения расхода

Измерение расхода пара и питательной воды осуществляется методом переменного перепада давления.

Принцип измерения расхода методом переменного перепада давления основан на том, что в зависимости от расхода вещества изменяется перепад давления на неподвижном сужающем устройстве, установленном в трубопроводе или элементе трубопровода (колено).

Измерение расхода методом переменного перепада давления осуществляется по структуре, приведенной на рисунке 4.1.

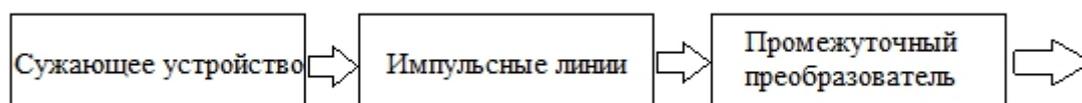


Рисунок 4.1 – Система измерения расхода методом переменного перепада давления

В качестве сужающего устройства в измерительном канале расхода пара используем ДКС по ГОСТ 8.586-2005 [36] – диафрагма камерная стандартная типа ДКС-6,3-250. Для расхода питательной воды выбираем в качестве сужающего устройства диафрагму ДКС типа ДКС-6,3-100.

Рассмотрим несколько вариантов преобразователей разности давлений отечественных и зарубежных производителей:

- 1) преобразователь разности давлений фирмы ЗАО ПГ «Метран» типа Метран 150CD;
- 2) преобразователь разности давлений фирмы «Yokogawa» серии EJX-110A.

3) преобразователь разности давлений фирмы «Элемер» серии 100 ДД.

Технические характеристики преобразователей разности давлений представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические характеристики датчиков дифференциального давления [37-39]

Наименование датчика	Метран-150 CD	Yokogawa-110A	Элемер-100 ДД
Верхний предел измерений	$25 \cdot 10^6$ Па	$14 \cdot 10^6$ Па	$16 \cdot 10^6$ Па
Питания постоянного тока	12...42 В	10,5...42 В	12...36 В
Выходные сигналы	4..20 мА; HART	4..20 мА; HART	4..20 мА; HART
Стоимость, руб.	35000	45000	35000
Средний срок службы, лет	15	15	15
Степень защиты от пыли и воды	IP65	IP67	IP65

Проведя анализ технических характеристик преобразователей расхода делаем вывод о том, что преобразователь дифференциального давления Метран-150 CD подходит для нашей системы по диапазону рабочих температур и классу точности. Для присоединения датчика к импульсным линиям используем трехвентильный блок модели 0104 МТЗ производственной группы «Метран». Причинами выбора данного датчика послужили отзывы по рейтингу на отечественных предприятиях и импортозамещение.

#### 4.2.4 Выбор преобразователя уровня

Измерения уровня воды в барабане парогенератора происходит с помощью гидростатического метода. Гидростатический способ измерения уровня основан на том, что в жидкости существует гидростатическое давление, пропорциональное глубине, т. е. расстоянию от поверхности жидкости. Поэтому для измерения уровня гидростатическим способом могут использоваться приборы для измерения давления или перепада давлений – дифференциальный манометр, который состоит из уравнительного сосуда, служащий для создания постоянного давления в камере дифманометра [40].

Для правильной работы системы измерения уровня существует множество минусов. Так, например, необходимо обеспечить одинаковую плотность воды в импульсных линиях на протяжении от датчика перепада до измерительной колонки, которые находятся на больших расстояниях друг от друга. Что в итоге может послужить к накоплению пробок и необходимости продувать импульсные линии. Также при растопке котла необходимо подстраивать уровень по водоуказательной колонке (ВУК), что в свою очередь приводит к отключению защит по уровню в барабане и дополнительному времени для подстройки датчика.

Поэтому в качестве модернизации для измерения уровня в барабане рассмотрим поплавковый магнитострикционный датчик LLT-MS с выносной уровнемерной камерой производства ООО «РивалКом». Датчик уровня предназначен для непрерывного контроля уровня жидких сред в резервуарах, технологических аппаратах, с максимальной точностью в условиях экстремальных температур до плюс 450 °С. Уровнемер LLT-MS в зависимости от исполнения может иметь различную конструкцию [41].

Принцип действия един для всех уровнемеров LLT-MS: уровнемер состоит из волновода (чувствительного элемента в защитной трубке) и электронного блока (головы уровнемера). Волновод смонтирован на выносную камеру указателя уровня для определения положения поплавка указателя

уровня, по волноводу передвигается собственный поплавок с постоянным магнитом. Из электронного блока по сигнальному кабелю с определённой частотой (частота опроса) подаётся импульс, создающий перпендикулярное магнитное поле по всей длине сигнального кабеля. От начала этого импульса начинается отсчёт времени измерения. Из-за магнитострикционного эффекта магнитное поле поплавок, расположенное параллельно сигнальному кабелю, создаёт механическую деформацию сигнального кабеля. Отражившись в обе стороны от этой деформации, механическая волна поступает по сигнальному кабелю в преобразователь, а на противоположном конце гасится. На приёмном конце сигнального кабеля находится пьезокерамический преобразователь, преобразующий механические колебания сигнального кабеля, возникшие в результате прохождения волны, в электрический сигнал. В момент преобразования сигнала механической волны пьезокерамическим сенсором заканчивается отсчёт времени измерения. По этому времени судят о высоте расположения поплавок, а значит и об уровне жидкости в резервуаре [41]. В таблице 4.5 приведены технические характеристики магнитострикционного датчика.

Таблица 4.5 – Технические характеристики магнитострикционного датчика

Температура измеряемой среды	-45...+ 450 °С
Температура окружающей среды	-45...+85 °С
Плотность измеряемой среды	$\geq 330$ кг/м <sup>3</sup>
Номинальное давление	-0,1...20 МПа
Диапазон измерения, мм	до 6000 мм
Присоединение к процессу	Фланцы: ГОСТ 12815-80
Выходной сигнал датчика	4-20 мА, HART
Наличие дисплея	Опционально
Класс защиты	IP 66-68
Взрывозащита	Общепромышленное
Стоимость, руб.	65000

На рисунке 4.2 приведен показан поплавковый магнитострикционный датчик LLT-MS с выносной уровнемерной камерой производства ООО «РивалКом», г. Набережные Челны.

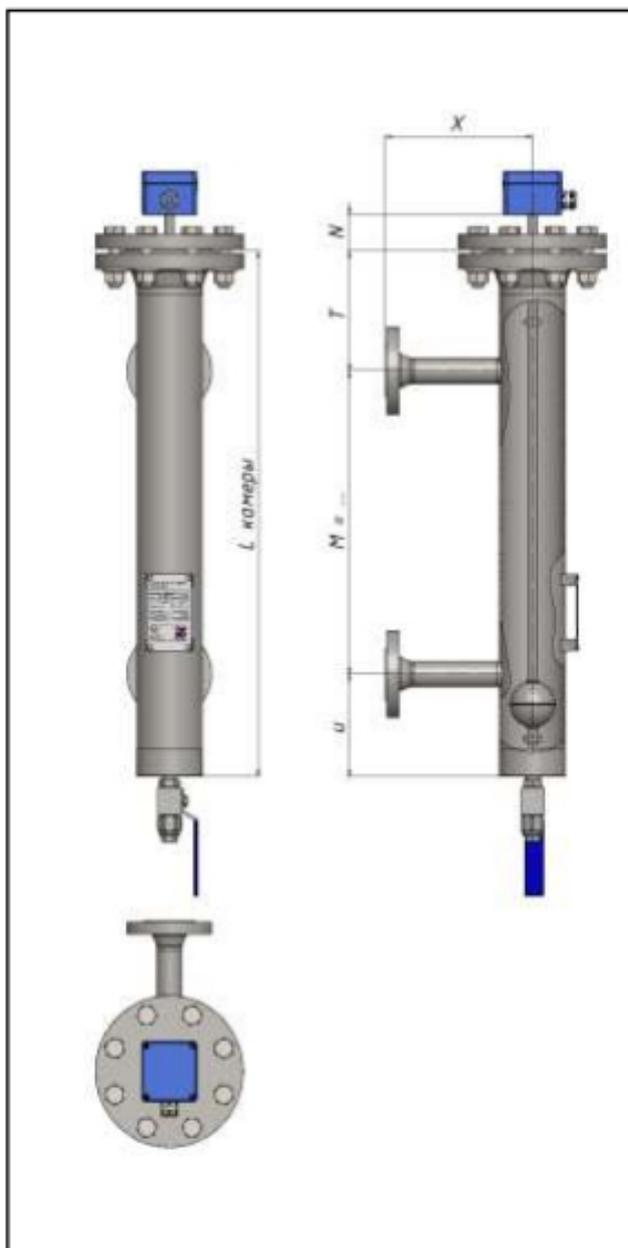


Рисунок 4.2 – Поплавковый магнитострикционный датчик LLT-MS с выносной уровнемерной камерой

#### 4.2.5 Выбор программируемого логического контроллера

Важным этапом разработки АСУ ТП является выбор программируемого логического микропроцессорного контроллера (ПЛК). Поскольку

микропроцессорный контроллер выполняет ряд сложных вычислений и осуществляет управление исполнительными механизмами и соответственно является регулирующим устройством. Поэтому к нему предъявляются жесткие требования, особенно, это касается работы контроллера в условиях данного технологического процесса.

В настоящее время на рынке средств автоматизации имеется большой выбор ПЛК, как отечественного, так и зарубежного производства. В выпускной квалификационной работе рассмотрим три контроллера от разных производителей: компании «Прософт» REGUL R600; «ОВЕН» ПЛК-210; «Siemens» Simatic S7-1200.

1. REGUL R600 инженерной компании «Прософт-Системы» [42].

Контроллер REGUL R600 предназначен для построения сложных и ответственных систем управления технологическими процессами.

Функциональные возможности:

- поддержка «горячего» резервирования центральных процессоров (ЦП) и источников питания;
- различные схемы резервирования контроллеров (полное «зеркальное» – резервирование, резервирование только основных компонентов и пр.);
- «горячая» замена всех модулей контроллера (без отключения питания и прерывания прикладной программы);
- удаленное конфигурирование, обновление программ (по интерфейсам Ethernet/RS-232/RS-485, в резервированной конфигурации без прерывания прикладной программы);
- подключение станций удаленного ввода/вывода к центральному процессору по топологии «двойное резервируемое кольцо»;
- дублированная высокоскоростная внутренняя шина;
- поддержка 5 языков программирования стандарта МЭК 61131-3.

В таблице 4.6 приведены технические характеристики ПЛК REGUL R600.

Таблице 4.6 – Технические характеристики ПЛК REGUL R600

Параметры	Характеристики
Входное напряжения	220 AC/DC; 24 DC
Выходное напряжение	5 / 24 DC
Потребляемая мощность	13,5 Вт
Температура эксплуатации	-40...+60 °С
Объем ОЗУ	1 Гб
Объем ПЗУ	4 Гб
Интерфейсы	RS-232; RS-485; Ethernet; USB; VGA; GPS/GLONASS
Протоколы	Ethernet TCI/IP; Modbus RTU
Среднее время безотказной работы модуля контроллера	>150 000 ч
Стоимость, руб.	240000

2. Контроллер для средних и распределенных систем автоматизации Овен типа ПЛК-210 [43].

Моноблочный контроллер с расширенными коммуникационными возможностями и дополнительными функциями надежности. Основным коммуникационным интерфейсом ПЛК210 является Ethernet. Контроллер имеет 4 порта Ethernet, 3 из которых объединены в управляемый коммутатор. Это позволяет использовать различные сетевые топологии, а также применять контроллер в качестве шлюза между промышленной сетью и сетью предприятия. Контроллер поддерживает все языки программирования стандарта МЭК 61131-3, среда программирования CODESYS V3.5. Технические характеристики ПЛК-210 представлены в таблице 4.7.

Таблице 4.7 – Технические характеристики ПЛК-210

Параметры	Характеристики
Напряжения питания	24 DC
Потребляемая мощность	16 Вт
Количество входов	24
Количество выходов	16

Продолжение таблице 4.7 – Технические характеристики ПЛК-210

Параметры	Характеристики
Температура эксплуатации	-40...+60 °С
Объем ОЗУ	256 МБ
Интерфейсы	RS-232; RS-485; Ethernet; USB
Протоколы	Ethernet TCI/IP; Modbus RTU
Среднее время безотказной работы модуля контроллера	>60 000 ч
Стоимость, руб.	32000

3. SIMATIC S7-1200 – это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации высокой степени сложности. Модульная конструкция, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы, удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения рентабельных решений для построения систем автоматического управления в различных областях промышленного производства [44].

Эффективному применению контроллеров способствует возможность использования нескольких типов центральных процессоров различной производительности, наличие широкой гаммы модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров. Технические характеристики SIMATIC S7-1200 представлены в таблице 4.8.

Таблице 4.8 – Технические характеристики SIMATIC S7-1200

Параметры	Характеристики
Входное напряжения	220 AC/DC; 24 DC
Выходное напряжение	5,1 / 24 DC
Потребляемая мощность	6 Вт
Температура эксплуатации	-40...+60 °С

Продолжение таблицы 4.8 – Технические характеристики SIMATIC S7-1200

Параметры	Характеристики
Рабочая память	15 МБ
Языки программирования	STEP 7 (LAD, FBD, STL), S7-SCL, S7-GRAPH, S7- HiGraph, CFC
Интерфейсы	RS-232; RS-485; Ethernet
Протоколы	Ethernet TCI/IP; MPI/PROFIBUS DP
Среднее время безотказной работы модуля контроллера	>150 000 ч
Стоимость, руб.	247000

Проанализировав технические характеристики и ценовую категорию контроллеров можно сделать вывод, что контроллеры компаний Siemens и Прософт отвечает всем современным требованиям для системы регулирования уровня воды в барабане парового котла. Однако контроллер компании «Прософт» REGUL R600 отлично зарекомендовал себя на отечественном рынке энергетических промышленных объектах, одним из последних проектов было внедрение АСУ ТП на Сочинской ТЭС.

#### 4.2.6 Выбор исполнительного механизма

Механизмы исполнительные электрические однооборотные МЭО предназначены для приведения в действия и перемещение различных регулирующих органов (задвижек, заслонок, клапанов и т.п.) в системах автоматического регулирования технологическими процессами, в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств. МЭО исполняют функции автоматического, дистанционного или местного открытия и закрытия арматуры, указания степени открытия арматуры на шкале местного указателя, позиционирование рабочего органа арматуры в любом промежуточном положении, формируют дискретные сигналы о промежуточных и конечных положениях рабочего органа арматуры. По

защищенности от попадания внутрь механизма пыли и воды механизмы имеют степень защиты IP54 по ГОСТ 7192-89 [45].

Для регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4 используется трубопровод питательной воды основной  $D_y=200$  мм.

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

Выбираем ИМ компании «АБС ЗЭИМ Автоматизация» г. Чебоксары, общепромышленного исполнения типа МЭО-1600/25-0,25-Е-07К. Данный исполнительный механизм снабжен датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Питание данного ИМ осуществляется от трехфазной сети переменного тока 380 В. Потребляемая мощность не более 320 Вт [46].

Для управления ИМ был выбран интеллектуальный блок КИМ1, устанавливаемый непосредственно на электроприводе. Данный блок позволяет реализовывать местное и дистанционное управление.

На основании функциональной схемы и выбранных технических средств автоматизации составляем заказную спецификацию приборов и средств автоматизации. Спецификация представлена в приложении А.

#### 4.2.7 Составление перечней входных и выходных сигналов

Перечень входных и выходных сигналов представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Перечень входных/выходных сигналов

Наименование параметра	Поз.	Тип сигнала	AI	AO	DI	DO
Температура питательной воды	1	4...20 мА	+			
Температура перегретого пара	2	4...20 мА	+			
Давление питательной воды на котел	3	4...20 мА	+			

Продолжение таблицы 4.9 – Перечень входных/выходных сигналов

Наименование параметра	Поз.	Тип сигнала	AI	AO	DI	DO
Рабочее давление в барабане	4	4...20 мА	+			
Давление перегретого пара на выходе из котла	5	4...20 мА	+			
Расход питательной воды	6	4...20 мА	+			
Расход пара от котла	7	4...20 мА	+			
Расход непрерывной продувки	8	4...20 мА	+			
Расход воды на впрыск	9	4...20 мА	+			
Уровень воды в барабане котла	10	4...20 мА	+			
Предупредительная сигнализация повышения уровня в барабане	10	24 VDC			+	
Аварийная сигнализация повышения уровня в барабане	10	24 VDC			+	
Предупредительная сигнализация понижение уровня в барабане	10	24 VDC			+	
Состояние. Степень открытия регулирующего питательного клапана	11	24 VDC	+			
Состояние. РПК включен	11	24 VDC	+		+	
Состояние. РПК отключен	11	24 VDC			+	
Управление. Задать процент открытия РПК	10	24 VDC		+		
Управление. Пуск РПК	10	24 VDC				+
Управление. Останов РПК	10	24 VDC				+

## 5 Разработка щита управления

### 5.1 Разработка принципиальной электрической схемы щита автоматизации

Принципиальная электрическая схема щита управления определяет полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Принципиальные схемы служат основанием для разработки других документов проекта [47].

В ходе разработки принципиальной схемы были выполнены следующие задачи:

1) основываясь на ранее выбранной структурной схеме и опираясь на ранее выбранные технические средства, изучены их принципиальные схемы и схемы подключений, а также их принцип действия;

2) изучены аналоги принципиальных схем и разработаны различные варианты их представления, после чего выбран наиболее пригодный для реализации;

3) базируясь на заказной спецификации и функциональной схеме, подобрано наиболее удачное расположение технических средств на принципиальной схеме;

4) оформлена текстовая документация, поясняющая перечень элементов разработанной принципиальной электрической схемы шкафа автоматизации.

На первом листе изображаем схему обеспечения питанием всех элементов, размещенных в шкафу. Шкаф автоматизации питается от однофазной цепи переменного тока с напряжением 220 В. Для обеспечения безопасной работы оборудования в шкаф устанавливаются автоматические выключатели QF1...QF3 и штекерный модуль для защиты от перенапряжений Z01. Блок источника бесперебойного питания G1 – EF A UPS 1AC/24 DC, выполняет функции трансформации переменного тока сети с напряжением

220 В, в постоянный с напряжением 24 В. Аккумуляторной батареей G2 – UPS BAT/VRLA/24DC/12AH для источника бесперебойного питания G1 при недостатке или отсутствии напряжения. Контроллер AC1 и вторичные измерительные разделительные преобразователи UY1...UY11, расположенные в шкафу, питаются через блоки бесперебойного питания 24 В. В шкафу установлена розетка XS1 на ~220 В, для удобства обслуживания оборудования. Также в шкафу установлена компактная лампа дневного света EL1, которая автоматически загорается при открывании двери шкафа в результате срабатывания концевого выключателя SQ1. Для поддержания температуры эксплуатации оборудования в шкафу установлен фильтрующий вентилятор M, приводимый в действие термореле КК1.

На втором листе изображаем ввод на модули программируемого логического контроллера полевых измерительных сигналов – унифицированных аналоговых сигналов. Для обеспечения гальванического разделения непрерывных сигналов предполагается применение преобразователей измерительных разделительных – MINI-MCR-2-RTD-UI-PT, MINI-MCR-SL-RPSS-I-I производства ООО "Феникс Контакт РУС". Каждый унифицированный сигнал 4...20 мА и 0...10 В, заведем на отдельный токовый ввод преобразователя измерительного разделительного по одному сигналу на одно устройство, т.к. преобразователи – одноканальные. От выходов измерительных преобразователей сигнал направляется на модуль аналогового ввода контроллера А3, который подключен к общей корзине S1 вместе с другими модулями.

На следующем листе показана разработанная принципиальная электрическая схема подсистемы управления исполнительным механизмом регулирующих органов – регулирующего питательного клапана. Разработанная система обеспечивает ввод дискретных сигналов состояния на модуль дискретного ввода А5 контроллера и вывод управляющих воздействий с модуля дискретного вывода А6, а регулирующих – с модуля аналогового вывода А4 этого же контроллера. Для обеспечения безопасности контроллера

произведем гальваническую развязку входных и выходных дискретных сигналов с помощью контактно-релейной схемы, а выходных аналоговых сигналов с помощью реверсивного подключения измерительных разделительного преобразователя UY11.

От исполнительного механизма регулирующего органа на расположенные в шкафу замыкающие реле K1 и K2, приходят сигналы состояния +24 В: «Включен», «Отключен». Данные сигналы работают по принципу подачи напряжения или обрыва цепи. В целях обеспечения безопасности оборудования установим на клемму вывода напряжения +24 В, в поле для питания цепей управления и сигнализации от шкафа плавкий предохранитель FU1. В модуль контроллера А5 информация о состоянии поступает после коммутации соответствующего реле посредством сигнала типа "сухой контакт", поэтому с клеммника питания ХТ01 на соответствующие вводы замыкаемых контактов реле приходит напряжение +24 В, а на общий вход модуля контроллера – 0 В.

Тем же образом для вывода на задвижку управляющих воздействий «Включить», «Отключить» предусмотрена аналогичная гальваническая развязка цепей. С модуля вывода дискретных сигналов А6 сигналы будут подаваться на группу реле 1–K1 и 1–K2, которые в свою очередь должны коммутировать группу контактов, выдающих воздействие на исполнительный механизм в поле. Данные управляющие воздействия могут подаваться оператором вручную с помощью нажатия соответствующих кнопок SH1 и SH2 на двери шкафа. Информация о состоянии исполнительного механизма сигнал «Включен» подается также на средства индикации на двери шкафа – на подсветку SH1.

Схема электрическая соединений щита автоматизации представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.008 ЭЗ.

Совместно с разработкой чертежей электрической схемы соединений системы автоматизации в общем случае должны составляться перечни

элементов. Перечень элементов для шкафа автоматизации АСУ регулирования уровня в барабане парового котла представлен на листе ФЮРА.421000.008 ПЭ.

## 5.2 Проектирование схемы внешних проводок

На схемах внешних электрических и трубных проводок изображают прокладываемые вне щитов электрические провода, кабели, импульсные, командные, питающие, защитные трубы, короба, лотки и металлорукава с указанием их номера, типа (марок) и длин [48].

В верхней части листа схемы расположена таблица с обозначениями измеряемых параметров, измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения измерительных приборов. Ниже расположены условно изображенные датчики, от которых отходят кабели, обозначенные на чертеже линиями, прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также протяженность. От каждого датчика температуры, давления, расхода или уровня каждый измеряемый параметр передается в виде унифицированного аналогового сигнала 4...20 мА по двухпроводной схеме. Линии, проведенные от датчиков, соединены с прямоугольником, обозначающим шкаф автоматизации, через клеммные соединительные коробки КС-30. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков. В правой части чертежа изображен щит силового управления (ЩСУ), обеспечивающий питанием 220 В, шкаф автоматизации и исполнительный механизм, предназначенные непосредственно для регулирования технологического параметра, путем подачи на них дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики. Для организации разводки сети питания внешних устройств предполагается использовать кабель КВВГЭ 3х2,5 так как данный тип кабеля предназначен для соединения электрических устройств и оборудования при номинальном переменном напряжении до 660 В, частоте до 100 Гц.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами. В цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т.п., в том числе в цепях телемеханических устройств допускается применять провода и кабели с медными жилами [48].

Для прокладки в пластмассовых и стальных защитных трубах (в металлических рукавах) должны применяться провода с сечением медных жил не менее 1-1,5 мм<sup>2</sup>, алюминиевых – 1,5-2 мм<sup>2</sup>, обладающих достаточной механической прочностью, необходимой для выполнения затяжки этих проводов в трубы.

Для организации герметичной прокладки кабельных линий и их защиты от механических повреждений расключенные кабели от измерительных и регулирующих устройств предполагается прокладывать в герметичном металлорукаве DN 15 мм в ПВХ изоляции.

Помимо требований к материалу проводников медь, алюминий и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей особое внимание должно уделяться соответствию их технических данных условиям окружающей среды. Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покровы проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки. При выборе проводов и кабелей необходимо учитывать резерв жил [48].

Монтажная схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.008 С4.

### 5.3 Разработка сборочного чертежа щита управления

Сборочный чертеж щита управления поясняет принцип его работы, показывает его конструкцию и как взаимодействуют его части. Сборочный чертеж щита представлен на листе с шифром ФЮРА.42100.008 СБ.

В щитах систем автоматизации размещают средства контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительные приборы, сигнальные устройства, аппаратуру управления, автоматического регулирования, защиты и блокировки линий связи между ними [48].

Щиты систем автоматизации устанавливают в производственных и специализированных помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.д. Общие виды щитов должны быть выполнены в объеме, позволяющем изготовить оборудование на специализированных заводах со всеми вырезами и креплениями, необходимыми для установки приборов, средств автоматизации и вводов проводок [48].

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации. Учитывая конструктивные особенности, а также степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы управления климатом, выберем щит Rittal SE 5830.680. Щиты Rittal предназначены для размещения аппаратуры управления, сигнализации и автоматики. Конструкция щитов представляет собой металлический сборный корпус напольного исполнения. Подвод кабелей осуществляется снизу. Степень защиты щита: IP66.

## 6 Разработка фрагментов программного и информационного обеспечения

### 6.1 Разработка программного обеспечения АСУ

Программирование реализовано средствами специализированного программного обеспечения Siemens STEP 7 [49]. Написание алгоритмов работы реализовано на языке FBD (Function Block Diagram).

На рисунке 6.13 представлен контур управления уровнем в барабане.

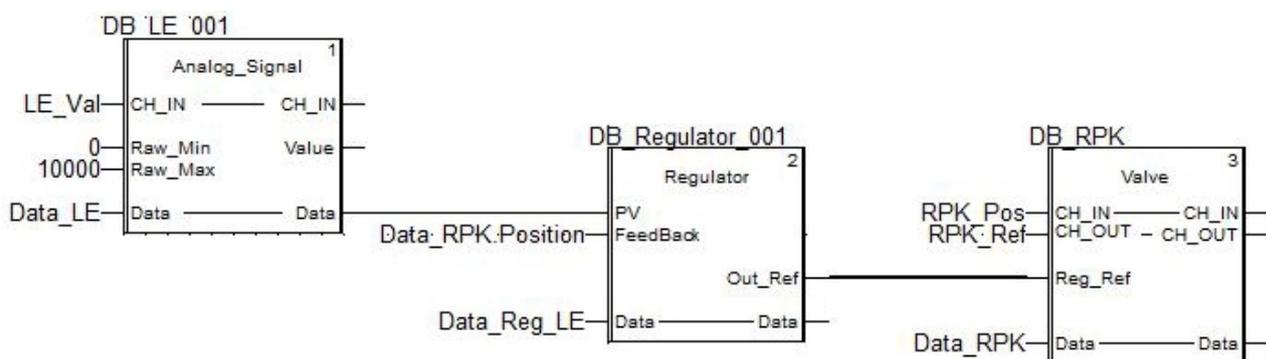


Рисунок 6.13 – Контур управления уровнем в барабане

Пояснения к рисунку 6.13:

Значения с аналогового датчика уровня воды в барабане LE в коде АЦП (от 0 до 10000) LE\_ACP масштабируется в диапазоне измерения физической величины (0-630 мм) и процентах от 0-100% функциональным блоком “Analog\_Signal”. Также этим блоком реализуется фильтрация (сглаживание) реального сигнала, маскирование (имитация показаний датчика) и реализуется предупредительная и аварийная сигнализация. Масштабированное значение уровня в процентах поступает на вход PV блока ПИД-регулятора “Regulator”.

Функциональный блок “Regulator” предназначен:

- 1) контроля задания уставки в пределах измерения уровня 0-630 мм;
- 2) масштабирования уставки в процентах 0-100%;
- 3) обеспечения безударного перехода из ручного в автоматический режим управления и обратно посредством контроля текущего положения клапана RPK\_Position.

4) вызов библиотечного функционального блока ПИД-регулятора.

В блоке “Valve” реализованы обработка аналогового сигнала RPK\_Pos текущего положения РПК, выдача аналогового сигнала задания RPK\_Ref на РПК и два режима управления: ручной и автоматический. В ручном режиме клапан управляется оператором нажатием соответствующих кнопок открыть/закрыть на мнемосхеме, а в автоматическом режиме оператор водит уставку задания уровня в барабане в соответствующее окно. На вход блока Reg\_Ref поступает сигнал задания положения клапана 0-100% от блока “Regulator” по ПИД-закону управления, который учитывается только в автоматическом режиме.

Переменные Data\_LE, Data\_Reg\_LE, Data\_RPK являются структурами данных необходимых для отображения соответствующих параметров аналогового сигнала, клапана РПК на мнемосхеме SCADA-системы.

## 6.2 Разработка мнемосхем SCADA-системы

Мнемосхемы предназначены для визуального отображения технологической схемы и хода технологического процесса. Информация на мнемосхемах отображается в виде условных графических изображений технологических участков с представлением состояния технологических параметров в графическом и алфавитно-цифровом виде [50].

Для наблюдения за ходом технологического процесса, оператор вызывает на экран компьютера различные мнемосхемы, содержащие приближенные к реальным объектам графические изображения. При отображении используются графические представления объектов, обладающие динамическими свойствами: изменения цвета, вращения, мерцания и др.

Оператор имеет возможность перемещаться по иерархии мнемосхем последовательно, т.е. от одного уровня вложенности к другому, либо вызывать непосредственно необходимую ему мнемосхему.

Мнемосхема должна выполнять следующие функции:

- наглядно отображать все измеряемые параметры в реальном времени;
- отображать состояния параметров (включено/выключено);
- возможность переключения режима управления (ручное/автоматическое);
- возможность ввода необходимых технологических уставок;
- отображение трендов измеряемых величин;
- выдача сообщений о неисправностях и авариях;
- печать протоколов и отчетов;
- обработка команд оператора.

Мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом. Отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления объектом, на мнемосхеме должны выделяться формой, размерами, цветом или другими способами. Части мнемосхемы, соответствующие автономно управляемым узлам объекта, могут быть выделены в блоки.

Разработка мнемосхемы осуществлялась при помощи специализированного программного обеспечения Simatic WinCC (Windows Control Center). Программное обеспечение предназначена для создания человека-машинного интерфейса (HMI).

WinCC – это открытая система визуализации, предоставляющая возможность подключения широкого спектра различных ПЛК.

SCADA-система представляет собой схематичное изображение установки с узлами и управляемыми элементами. На SCADA отображается информация о технологическом процессе, включая параметры питательной воды, перегретого пара, уровня в барабане парового котла и др. С помощью SCADA-системы возможно ручное управление вентилями, однако основное её назначение – визуализация процесса автоматического управления. Разработанная мнемосхема представлена на рисунке 6.14

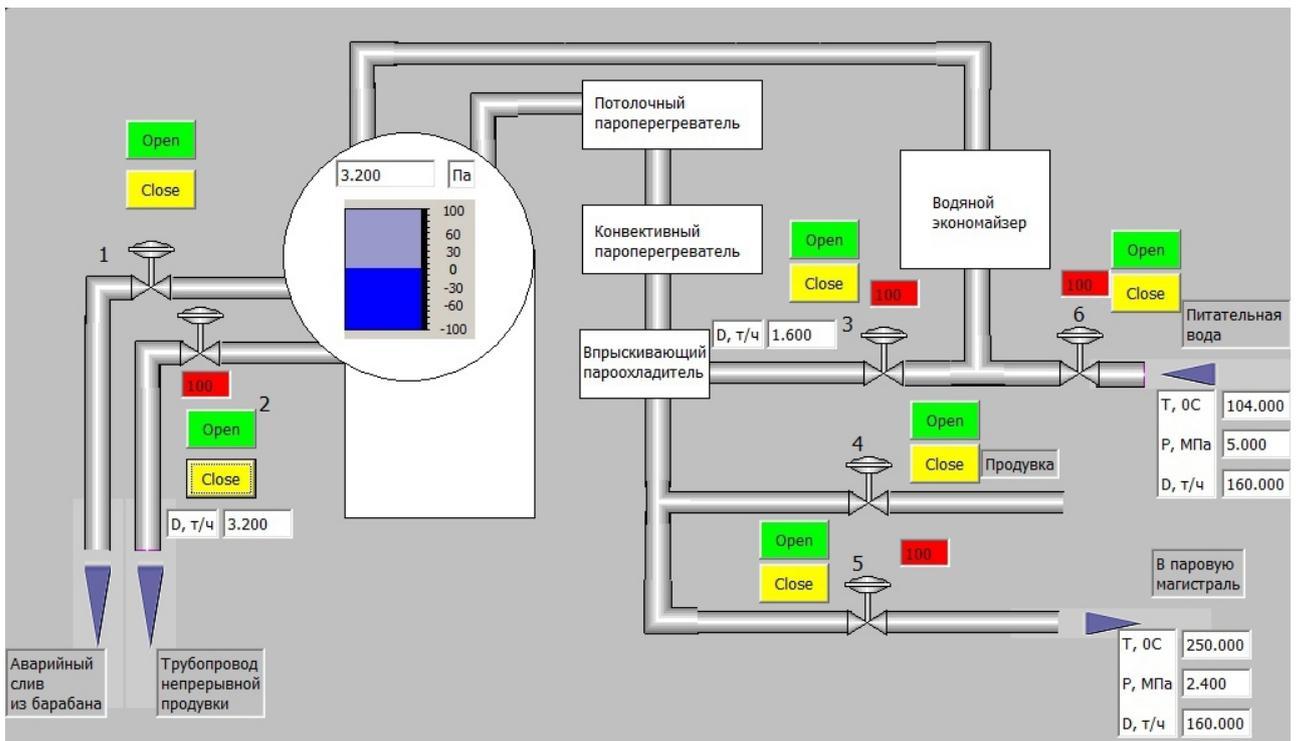


Рисунок 6.14 – Мнемосхема

Для обеспечения связи между СКАДА и контроллером используется таблица тэгов, где тэги – переменные в которые пишутся данные, передаваемые с контроллера по выбранному каналу связи. В таблице тэгов задается имя тэга, канал связи, тип данных, адрес ячейки памяти контроллера, время опроса, комментарий. Таблица тэгов представлена на рисунке 6.15.

Name	Display name	Connection	Data type	Address	Array elements	Acquisition cycle	Comment
b_l		Connection_1	Real	DB 1 DBD 50	1	1 s	b - boiler - котел, l - уровень воды
b_p		Connection_1	Real	DB 1 DBD 46	1	1 s	b - boiler - котел, p - давление
cb_d		Connection_1	Real	DB 1 DBD 38	1	1 s	cb - continuous blowdown - непрерывная продувка, d - расход
fw_d		Connection_1	Real	DB 1 DBD 22	1	1 s	fw - feed water - питательная вода, d - расход
fw_p		Connection_1	Real	DB 1 DBD 18	1	1 s	fw - feed water - питательная вода, p - давление
fw_t		Connection_1	Real	DB 1 DBD 14	1	1 s	fw - feed water - питательная вода, t - температура
i_d		Connection_1	Real	DB 1 DBD 42	1	1 s	i - injection - впрыск, d - расход
open_fm_1		Connection_1	Int	DB 1 DBW 10	1	1 s	степень открытия вентиля в %
open_fm_2		Connection_1	Int	DB 1 DBW 2	1	1 s	степень открытия вентиля в %
open_fm_3		Connection_1	Int	DB 1 DBW 4	1	1 s	степень открытия вентиля в %
open_fm_4		Connection_1	Int	DB 1 DBW 12	1	1 s	степень открытия вентиля в %
open_fm_5		Connection_1	Int	DB 1 DBW 0	1	1 s	степень открытия вентиля в %
open_fm_6		Connection_1	Int	DB 1 DBW 8	1	1 s	степень открытия вентиля в %
ss_d		Connection_1	Real	DB 1 DBD 34	1	1 s	ss - superheat steam - перегретый пар, d - расход
ss_p		Connection_1	Real	DB 1 DBD 30	1	1 s	ss - superheat steam - перегретый пар, p - давление
ss_t		Connection_1	Real	DB 1 DBD 26	1	1 s	ss - superheat steam - перегретый пар, t - температура
valve_1		Connection_1	Bool	DB 1 DBX 0.0	1	1 s	состояние вентиля открыт/закрыт
valve_2		Connection_1	Bool	DB 1 DBX 2.0	1	1 s	состояние вентиля открыт/закрыт
valve_3		Connection_1	Bool	DB 1 DBX 2.1	1	1 s	состояние вентиля открыт/закрыт
valve_4		Connection_1	Bool	DB 1 DBX 2.2	1	1 s	состояние вентиля открыт/закрыт
valve_5		Connection_1	Bool	DB 1 DBX 2.3	1	1 s	состояние вентиля открыт/закрыт
valve_6		Connection_1	Bool	DB 1 DBX 2.4	1	1 s	состояние вентиля открыт/закрыт

Рисунок 6.15 – Таблица тэгов

Информация из тэгов визуализируется средствами СКАДА, например, уровень в барабане парового котла – в виде цветного бара-индикатора приведены на рисунке 6.16 и 6.17.

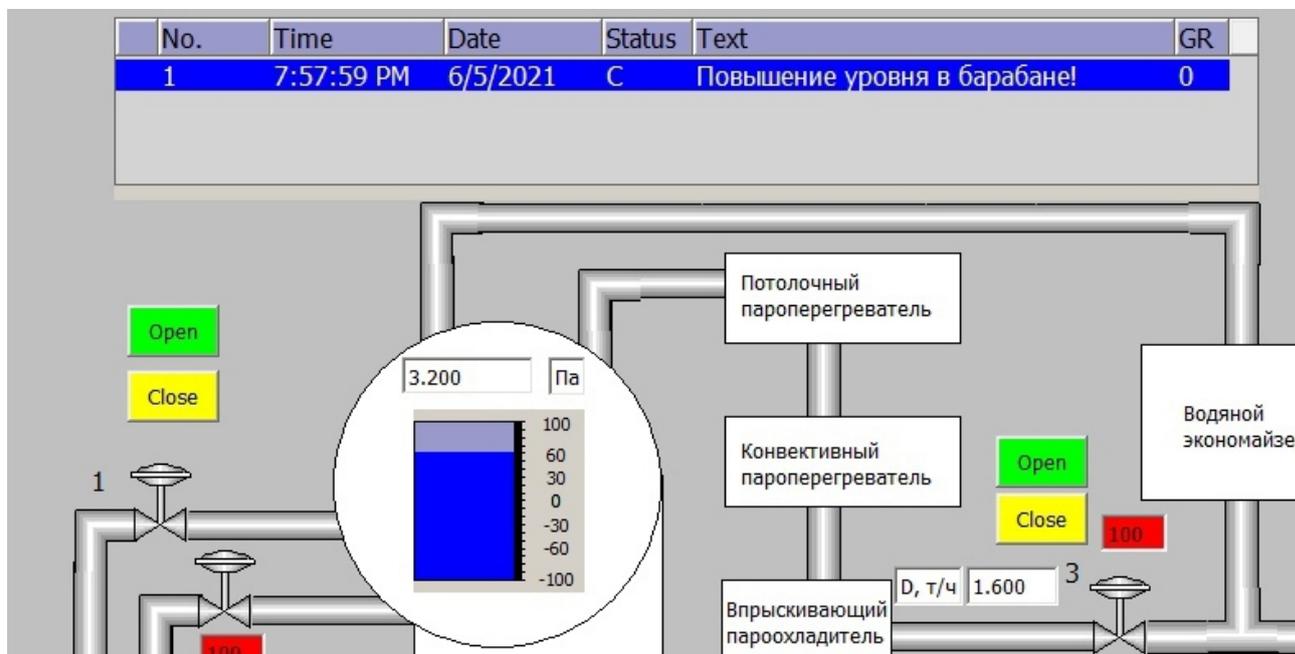


Рисунок 6.16 – Сигнал по повышению уровня в барабане парового котла

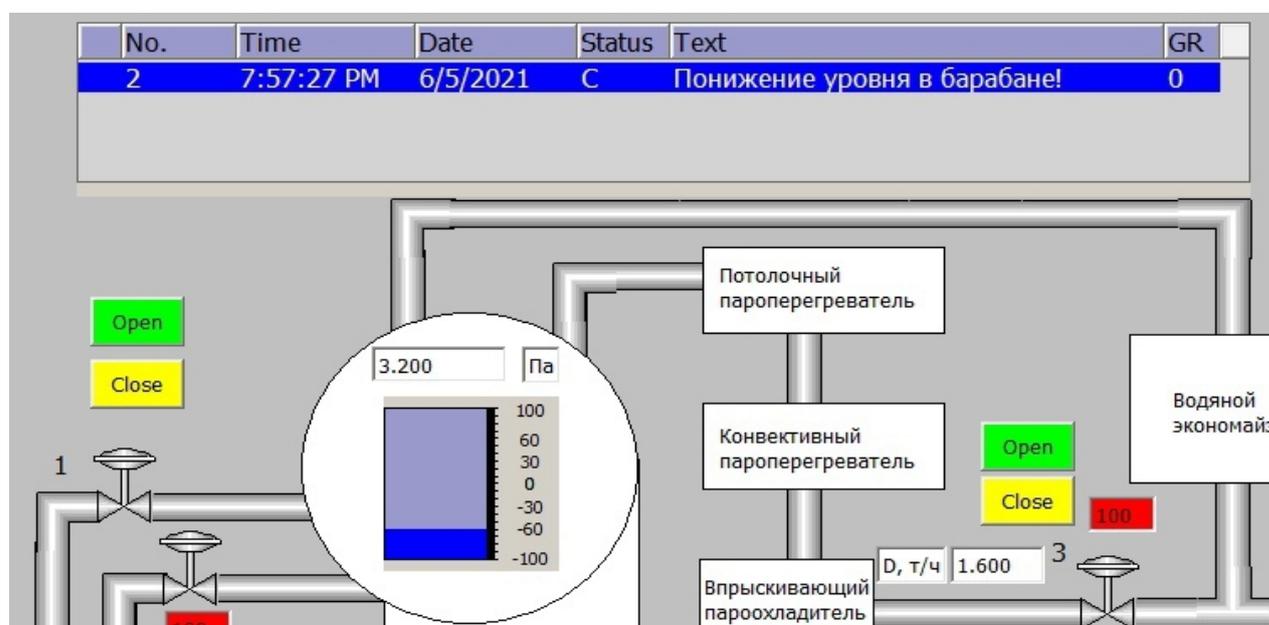


Рисунок 6.17 – Сигнал по понижению уровня в барабане парового котла

Также SCADA-система обеспечивает вывод предупреждений, аварийных сигналов и прочих необходимых сообщений.

При изменениях технологических параметров во времени удобным средством для реализации функций контроля, наблюдения и настройки являются тренды. Программное обеспечение, устанавливаемое на рабочих станциях, обеспечивает два типа трендов:

- тренды реального времени;
- исторические тренды.

На трендах реального времени одновременно могут отображаться данные по нескольким параметрам, каждый из которых отображает значения определенного технологического параметра. Значения берутся из базы данных реального времени.

Исторические тренды позволяют получить «снимок» данных, зафиксированных в прошлом на определенную дату и время. Они не являются динамическими. Исторический тренд также может содержать значения одновременно по нескольким параметрам. Значения для этих типов трендов поступают из исторической базы данных (Historian).

Исторический тренд снабжен специальным маркером (визир), перемещая который по тренду, оператор получает числовые значения тегов, относящиеся к текущему положению маркера.

Для оповещения оперативного персонала о наступлении нештатной или аварийной ситуации в ходе технологического процесса используются журнал тревог.

В системе действуют два вида оповещений, информирующих оператора о протекании процесса: сигнализации процесса и сообщения о событии. Сигнализации процесса представляют собой предупреждения об аварийных условиях протекания процесса, которые могут вызвать аварийную ситуацию и требуют отклика оператора. При определении тега в базе данных задаются условия срабатывания предупредительной или аварийной сигнализации.

Каждая сконфигурированная в базе данных сигнализация имеет определенное для нее значение приоритета. Приоритет обозначает степень критичности (важности) сигнализации и может варьироваться в пределах от 1 до 999, причем 1 соответствует наибольшей важности.

Все сигнализации процесса выводятся в специальном окне на экране монитора станции оператора. В сообщении указывается источник сигнализации, дата и время возникновения, ее приоритет, тип и др.

Сигнализации регистрируются в сводке тревог АРМ, с возможностью вывода на печать.

События представляют собой сообщения о нормальном состоянии системы и не требуют отклика оператора. Имеются следующие категории событий:

- сгенерирована предупредительная или аварийная сигнализация;
- сигнализация квитирована (подтверждена);
- возвращение значения из аварийного состояния в нормальное состояние;
- системное сообщение;
- регистрация оператора или любое его действие в системе.

### 6.3 Разработка информационного обеспечения АСУ

Информационное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом уровня в барабане парового котла Е-160-2,4 является средством для решения следующих задач:

- оперативно-диспетчерского контроля и управления в реальном масштабе времени регулирования уровня в барабане парового котла;
- сигнализации и оперативного отображения информации о нештатных и аварийных режимах, срабатывании блокировок и защит;
- ведения архива ретроспективной информации о работе оборудования и режимных параметрах технологического процесса;

– непрерывного диагностирования оборудования и программно-технических средств АСУ ТП для обеспечения непрерывного технологического процесса.

Информационное обеспечения системы включает в себя внутримашинное и внешнее информационное обеспечение.

Внешняя информационная база представляет собой совокупность сигналов, поступающих на сервер АСУ от ПЛК, установленного в шкафу автоматизации.

Внутримашинное информационное обеспечение содержит массивы данных, формирующие информационную базу данных системы на машинных носителях, а также систему программ организации, накопления, ведения и доступа к информации этих массивов.

Основным источником информации для АСУ служат:

- 1) данные о состоянии основного и вспомогательного оборудования, данные о состоянии электротехнического оборудования, значения измеряемых величин и т.д. получаемые в автоматическом режиме от ПЛК;
- 2) данные о действиях оператора и подаваемые с АРМ команды.

Передача данных осуществляется по коммуникационным сетям Ethernet и Modbus TCP.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ93	Кадуркину Ивану Васильевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>им. И.Н. Бутакова</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>1. Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования;</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>2. Норматив заработной платы</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициенты для расчета заработной платы</i>
	<i>Отчисление в социальные фонды 30,2 % от ФОП</i>

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

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Расчет конкурентоспособности</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>SWOT-анализ</i>
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Цели и результат проекта</i>
	<i>Организационная структура проекта</i>
	<i>Ограничения и допущения проекта</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
	<i>Структура работ в рамках научного исследования</i>
	<i>Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования</i>
	<i>Интегральный финансовый показатель</i>
	<i>Интегральный показатель ресурсоэффективности</i>
	<i>Интегральный показатель эффективности</i>

**Перечень графического материала:**

<i>1. «Портрет» потребителя результатов НТИ</i>	
<i>2. Оценка конкурентоспособности технических решений</i>	
<i>3. Матрица SWOT</i>	
<i>4. График проведения и бюджет НТИ</i>	
<i>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>	
<i>6. Потенциальные риски</i>	

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

--	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ93	Кадуркин Иван Васильевич		

## 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является анализ и расчет основных параметров для реализации конкурентоспособной разработки, которая в перспективе принесет выгоду и позволит сократить издержки производства, а также будет отвечать требованиям ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Целью данного раздела работы является оценка проектирования АСУ ТП регулирования уровня воды в барабане парового котла Е-160-2,4, путем модернизации технических средств автоматизации с позиции ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать конкурентные технические решения проекта;
- провести SWOT-анализ;
- выполнить планирование и организацию научного исследования;
- создать диаграмму или график Гантта;
- определить бюджет затрат на проведение проектной работы;
- провести планирование проектно-конструкторских работ;
- определить ресурсоэффективность проекта.

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

С целью определения потенциальных потребителей результатов исследований рассматривается целевой рынок и проводится его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция.

Сегментировать рынок услуг по выработке электрической энергии и подаче горячего водоснабжения можно по следующим критериям: выработка электрической энергии, осуществление горячего водоснабжения.

Услуги по выработке электрической энергии: теплоэнергетические предприятия к ним относятся ТЭС, ТЭЦ, АЭС. Услуги по осуществлению горячего водоснабжения: ТЭЦ; модульные котельные.

В ходе выполнения работы была разработана автоматизированная система регулирования уровня в барабане парового котла и подобраны технические средства автоматизации, соответствующее требованиям процесса. Потенциальными потребителями результатов данной разработки являются коммерческие организации теплоэнергетических отраслей. Для проведения качественного анализа потребителей результатов разработки необходимо рассмотреть целевой рынок и сегментировать его. Карта сегментирования рынка приведена в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Карта сегментирования рынка по актуальности научного исследования

		Направления деятельности		
		Настройка регулирования уровня	Подбор и анализ работы	Модернизация барабана парового котла
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Таким образом по приведенной карте сегментирования можно сделать вывод о том, что основными потребителями являются крупные теплоэнергетические компании, для которых важен расчет и модернизация барабана парового котла, ввиду того что параметры установки должны рассчитываться индивидуально для каждого парового котла.

## 7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для проведения данного анализа необходимо составить оценочную карту, в которой будут отображены сравнительные характеристики проектируемой АСУ ТП регулирования уровня в барабане парового котла (индекс «ф») и существующие системы АСУ ТП. К наиболее вероятным конкурирующим компаниям в г. Томске можно отнести АО «ЭлеСи» (индекс «к1»), АО «ТомскНИПИнефть» (индекс «к2»). Для проведения наиболее эффективного анализа должна быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках, такая, как технические характеристики разработки, ее конкурентоспособность, уровень завершенности научного исследования, финансовое положение конкурентов и перспектива развития созданной установки.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum(B_i * B_i), \quad (7.1)$$

где, K – конкурентоспособность разработки;  $B_i$  – вес показателя;  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Оценочная карта представлена в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки эффективности</b>							
Актуальность исследования	0,1	4	1	1	0,4	0,1	0,1
Надежность	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3
Безопасность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Удобство эксплуатации	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,4
Качество интеллектуального интерфейса	0,2	5	4	4	0,5	0,4	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Конкурентоспособность	0,12	3	4	4	0,36	0,48	0,48
Уровень проникновения на рынок	0,1	0	2	3	0	0,2	0,3
Цена	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>3,08</b>	<b>3</b>	<b>3,02</b>

Таким образом проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

### 7.3 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.

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Надежность.</p> <p>С2. Простота эксплуатации.</p> <p>С3. Экономичность за счет использования оборудования от отечественных производителей.</p> <p>С4. Высокая степень автоматизации.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Длительный срок внедрения в систему.</p> <p>Сл2. Необходимость обучения персонала при работе с системой.</p> <p>Сл3. Отсутствие возможности в производстве разрабатываемых установок «под ключ».</p> <p>Сл4. Отсутствие опыта при работе с реальными прототипами.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В2. Сотрудничество с изготовителями необходимого оборудования.</p> <p>В3. Появление спроса на новую разработку.</p> <p>В4. Использование оборудования отечественных производителей.</p>	<p>Создание конкурентоспособного проекта. Использование доступного современного оборудования, способного повысить качество и производительность работы установки.</p>	<p>Замена необходимого оборудования на схожее по функциональности.</p> <p>Проведение вводного инструктажа по эксплуатации установки на предприятии заказчика.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на начальном этапе.</p> <p>У2. Высокая конкуренция в выбранной отрасли.</p> <p>У3. Увеличение цен необходимого оборудования.</p> <p>У4. Появление более качественных аналогов.</p>	<p>Улучшение качества работы системы.</p> <p>Выявление преимуществ новой системы над существующей.</p> <p>Применение разработки на внутреннем рынке.</p>	<p>Осуществление поиска и закупки оборудования заблаговременно.</p> <p>Совершенствования установки с учетом существующего оборудования.</p>

В ходе проведения SWOT-анализа выявлены возможности и угрозы для развития автоматизированной системы управления в будущем. Также по результатам проведенного SWOT-анализа можно сделать вывод о преимуществах разрабатываемой системы: надежность установки, простота эксплуатации, экономичность. Помимо преимуществ выявлены и недостатки:

длительный срок поставки оборудования, отсутствие возможности собирать установки «под ключ». Для устранения слабых сторон и минимизации последствий в случае возникновения угроз необходимо регулярно совершенствовать установку с использованием современных технологий и оборудования, а также заранее осуществлять закупку необходимого оборудования. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 7.4...7.7.

Таблица 7.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	0	+	+	+
	B2	0	0	+	+
	B3	+	0	+	+
	B4	+	+	+	+

Таблица 7.5 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности проекта	B1	-	+	+	-
	B2	-	+	+	-
	B3	+	0	-	+
	B4	-	-	+	0

Таблица 7.6 – Интерактивная матрица проекта СУ

Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4
Угрозы проекта	У1	-	-	+	+
	У2	+	+	0	+
	У3	0	0	+	+
	У4	-	-	+	-

Таблица 7.7 – Интерактивная матрица проекта СЛУ

Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы проекта	У1	+	0	-	+
	У2	0	0	+	-
	У3	0	-	+	0
	У4	+	-	+	-

После анализа полученной интерактивной матрицы представим итоговую матрицу SWOT-анализа в виде таблицы 7.8.

Таблица 7.8 – Итоговая таблица Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Надежность.</p> <p>С2. Простота эксплуатации.</p> <p>С3. Экономичность за счет использования оборудования от отечественных производителей.</p> <p>С4. Высокая степень автоматизации.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Длительный срок внедрения в систему.</p> <p>Сл2. Необходимость обучения персонала при работе с системой.</p> <p>Сл3. Отсутствие возможности в производстве разрабатываемых установок «под ключ».</p> <p>Сл4. Отсутствие опыта при работе с реальными прототипами.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В2. Сотрудничество с изготовителями необходимого оборудования.</p> <p>В3. Появление спроса на новую разработку.</p> <p>В4. Использование оборудования отечественных производителей.</p>	<p>В1В2В3В4С3С4</p>	<p>В1В2Сл2Сл3</p>

Продолжение таблицы 7.8 – Итоговая таблица Матрица SWOT

У3. Увеличение цен необходимого оборудования. У4. Появление более качественных аналогов.	B1B2B3B4C3C4	B1B2Cл2Cл3
---	--------------	------------

Таким образом в результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии явно преобладают над ее недостатком, заключающимся с наибольшим количеством возможностей со стороны проекта.

#### 7.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки готовности проекта к коммерческой реализации разработки заполняется форма, содержащую ответы на типичные вопросы о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Форма представлена в виде таблицы 7.9.

Таблица 7.9 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4

Продолжение таблицы 7.9 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	4
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	4
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
Итого баллов	55	52

Таким образом сумма баллов от 59 до 45 соответствует перспективности коммерциализации выше среднего. Для повышения степени необходима работа с теоретическим и практическим материалом, а также взаимодействие с консультантами в слабо проработанных областях листа оценки.

#### 7.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

1) Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

2) Передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3) Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.

4) Франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5) Организация собственного предприятия.

6) Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

7) Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8) Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как комплексный инжиниринг. В данном случае предполагается использование разработки в качестве технического решения для снижения стоимости приобретения оборудования, разработку проектной документации, проведении пуско-наладочных работ, запуск оборудования в производство, гарантийное и послегарантийное обслуживание. Для этого необходимо, чтобы заказчик обратился с соответствующим запросом на внедрение разработанной системы на своем объекте.

## 7.6 Инициация проекта

На стадии инициации проекта определяются начальные цели и доступные ресурсы для выполнения проекта. Определяются заинтересованные в проекте стороны. Эти участники проекта оказывают совместное влияние на его развитие и успех. Информация заносится в Устав проекта.

Устав проекта магистерской работы включает следующие пункты:

### 1. Цели и результат проекта.

В данном разделе приводится необходимая информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей. К числу заинтересованных сторон относятся лица или организации, участвующие в процессе выполнения проекта или интересы которых проект он затрагивает. Информация о заинтересованных сторонах проекта представлена в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчик	Готовая система АСУ ТП для регулирования уровня в барабане парового котла

Продолжение таблицы 7.10 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Энергетические компании	Выработка тепловой и электрической энергии с наименьшими затратами
Спонсоры	Возврат вложенных средств и извлечение прибыли
Руководитель	Опыт в разработке и реализации проектов, финансовое вознаграждение, выполнение показателей эффективного контракта
Учебное заведение	Реклама ВУЗа, новые партнерские отношения с предприятиями

В таблице 7.11 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 7.11 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка АСУ ТП регулирования уровня в барабане парового котла
Ожидаемые результаты проекта:	Разработан пакет конструкторской документации и программного обеспечения для управления системой
Критерии приемки результата проекта:	Проведены научные изыскания по теме проекта Выполнен расчет технической части системы Подготовлен расчет экономической проекта
Требования к результату проекта:	Требование:
	Оригинальность проекта не менее 75 %
	Завершение работы над проектом до 3.06.2020
	Документация проекта выполнена в соответствии с ЕСКД
	Защищена магистерская диссертация по проекту

## 2. Организационная структура проекта.

В этом разделе определяются основные участники проекта и их роли. Каждому участнику прописываются его функции и обязанности, а также

трудозатраты в рамках проекта. Информация представляется в табличной форме таблица 7.12.

Таблица 7.12 – Рабочая группа проекта

	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
1	Кац М.Д., НИ ТПУ	Руководитель проекта	Координация и проверка деятельности исполнителя	62
2	Кадуркин И.В., НИ ТПУ	Исполнитель по проекту	Проведение экспериментальных исследований, разработка конструкторской документации и защита проекта	544
3	Киселева Е.С., НИ ТПУ	Эксперт проекта	Проверка раздела «Финансовый менеджмент»	16
Итого:				622

### 3. Ограничения и допущения проекта.

К ограничениям проекта относятся все факторы, ограничивающие свободу исполнителей проект и условные границы, отсекающие то, что в рамках проекта не должно быть реализовано. Ограничение проекта представлена в таблице 7.13.

Таблица 7.13 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	Не более 2000000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	АО «Томская Генерация»
3.2. Сроки проекта:	4 месяцев
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2021
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

### 7.7 Планирование работ и оценка времени выполнения

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 7.14.

Таблица 7.14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

## 7.8 План проекта

Для оценки времени выполнения проекта необходимо составить перечень всех выполняемых работ и время, затраченное на выполнения работ.

В таблице 7.15 представлены все виды выполняемых работ и время, затраченное на их выполнение.

Таблица 7.15 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	4	1.02.21	4.02.21	Кац М.Д., Кадуркин И.В.
2	Обзор литературы по теме исследования	11	5.02.21	16.02.21	Кадуркин И.В.
3	Проведение экспериментальных исследований	30	17.02.21	17.03.21	Кац М.Д., Кадуркин И.В.
4	Анализ результатов исследования и обработка данных	7	18.03.21	25.03.21	Кац М.Д., Кадуркин И.В.
5	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	11	26.03.21	5.04.21	Кадуркин И.В.
6	Разработка принципиальной электрической схемы	9	6.04.21	14.04.21	Кадуркин И.В.
7	Разработка монтажной схемы и щита управления	6	15.04.21	20.04.21	Кадуркин И.В.

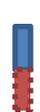
Продолжение таблицы 7.15 – Календарный план проекта

Код ра-боты	Название	Длите-льность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
8	Разработка схемы взаимодействия уровней управления	1	21.04.21	21.04.21	Кадуркин И.В.
9	Проектирование мнемосхемы	8	22.04.21	30.04.21	Кадуркин И.В.
10	Оформление пояснительной записки ВКР	10	1.05.21	10.05.21	Кадуркин И.В.
11	Проверка ВКР	20	11.05.21	31.05.21	Кац М.Д., Кадуркин И.В.
	Итого:	114			

Диаграмма Гантта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 7.16 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 7.16 – Диаграмма Гантта

№	Вид работ	Исп.	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ												
				февраль			март			апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Исп1 Исп2														

Продолжение таблицы 7.16 – Диаграмма Гантта

№	Вид работ	Исп.	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ									
				февраль	март	апрель	Май						
2	Обзор литературы по теме исследования	Исп1											
3	Проведение экспериментальных исследований	Исп1 Исп2			 								
4	Анализ результатов исследования и обработка данных	Исп1 Исп2					 						
5	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	Исп1											
6	Разработка принципиальной электрической схемы	Исп1											
7	Разработка монтажной схемы и щита управления	Исп1											
8	Разработка схемы взаимодействия уровней управления	Исп1											
9	Проектирование мнемосхемы	Исп1											
10	Оформление пояснительной записки ВКР	Исп1											
11	Проверка ВКР	Исп1 Исп2											

Примечание:

 – Исп. 1 (Инженер),  – Исп. 2 (Научный руководитель)

## 7.9 Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{пр} = K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл} \quad (7.2)$$

где,  $K_{мат}$  – материальные затраты;

$K_{ам}$  – амортизация компьютерной техники;

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

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

$K_{пр}$  – прочие затраты;

$K_{накл}$  – накладные расходы.

## 7.10 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на закупку материалов для построения экспериментальной установки. Величину этих затрат принимаем 100000 руб. Стоимость персонального компьютера для выполнения работ принимаем 30000 руб.

## 7.11 Затраты на амортизацию

Амортизация оборудования – процесс переноса по частям стоимости основных средств и нематериальных активов по мере их физического или морального износа на стоимость производимой продукции.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot C_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad \text{руб./год}, \quad (7.3)$$

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

$T_{кал}$  – календарное время;

$C_{кт}$  – цена компьютерной техники;

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

$$K_{ам} = \frac{98}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1611 \text{ руб./год.}$$

## 7.12 Затраты на заработную плату

Заработная плата является основным источником стимулирования и дохода работающих на предприятии. Она составляет часть общественного продукта, которая в денежной форме выдается работнику в соответствии с количеством и качеством затраченного труда.

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \quad (7.4)$$

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

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

Месячный оклад:

$$ЗП_{инж}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (7.5)$$

$$ЗП_{нр}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (7.6)$$

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

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

$ЗП_0$  – месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 30000 руб.);

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

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

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

$$ЗП_{нр}^M = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (7.7)$$

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

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

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

Инженер:

$$ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 98 = 113447 \text{ руб.}$$

Научный руководитель

$$ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{42900}{21} \cdot 9 = 18386 \text{ руб.},$$

$$K_{з/пл} = 113447 + 18386 = 131833 \text{ руб.}$$

### 7.13 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды – это элемент себестоимости продукции, работ или услуг, в котором отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством нормам государственного социального страхования в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг) по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

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

$$K_{соц/н} = K_{з/пл} \cdot 0,32, \quad (7.8)$$

$$K_{соц/н} = 131833 \cdot 0,32 = 39550 \text{ руб.}$$

#### 7.14 Прочие затраты

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

$$K_{пр} = (K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{соц/н}) \cdot 0,1, \quad (7.9)$$

$$K_{пр} = (130000 + 1611 + 131833 + 39550) \cdot 0,1 = 30299 \text{ руб.}$$

#### 7.15 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на хозяйственное обслуживание производства и управление предприятием, являющиеся дополнительными к основным затратам и наряду с ними включаемые в издержки производства.

Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{накл} = K_{з/пл} \cdot 2, \quad (7.10)$$

$$K_{накл} = 131833 \cdot 2 = 263666 \text{ руб.}$$

В таблице 7.17 представлена смета затрат на проект.

Таблица 7.17 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	130000
Амортизация компьютерной техники	1611
Затраты на заработную плату	131833
Затраты на социальные нужды	39550
Прочие затраты	30299
Накладные расходы	263666
Итого:	596959

Таким образом смета затрат на проект составило 596959 руб.

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

В таблице 7.18 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 7.18 – Смета затрат на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК REGUL R600 (компл.)	240000	1
Датчик давления Метран-150 TG	35000	3
Датчики температуры Метран ТСМ-254	35000	1
Датчики температуры Метран ТСП-255	8000	1
Датчик расхода Метран-150 CD	35000	1
Преобразователь уровня LLT-MS	65000	3
МЭО-1600/25-0,25-07	18000	1
Провод КИПЭВ 2х0,6	180	1
Провод КРВГ 4х1	1580	1
Провод КРВГ 14х1,5	2600	1
Провод АКРВБГ 4х2.5	3500	1
Компьютер	30000	1
Итого	693860	17

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

$$K_{\text{МОНТ}} = 0,2 \cdot K_{\text{ОБОР}}, \quad (7.11)$$

где,  $K_{\text{ОБОР}}$  – затраты на оборудование.

$$K_{\text{МОНТ}} = 0,2 \cdot 693860 = 138772 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения на оборудование, транспортировку и монтажные работы составили:

$$K_{итог} = K_{обор} + K_{монт} = 693860 + 138772 = 832632 \text{ руб.}$$

### 7.17 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин:

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (7.12)$$

где,  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = a_i b_i, \quad (7.13)$$

где,  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблицы 7.19.

Таблица 7.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1 (ЭлеСи)	Аналог 2 («ТомскНИПИнефть»)
1. Способствует росту производительности	0,15	5	4	4

труда пользователя				
2.Удобство в эксплуатации	0,2	4	5	4
3.Помехоустойчивость	0,3	4	3	4
4.Энергосбережение	0,2	4	3	3
5.Надежность	0,15	5	4	4
ИТОГО	1			

$$I_p = 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 4,3;$$

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 3,7;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 3,8.$$

Аналог 1=3,7;

Аналог 2=3,8.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки  $I_{исп.i}$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (7.14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 7.20 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,7	3,8
Интегральный показатель эффективности	4,4	4,2	3,8
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,16	1,13

Таким образом сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

7.18 Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Выявлены сильные и слабые стороны научно-исследовательского проекта, а также его возможности и вероятные угрозы при помощи SWOT-анализа:

Эффективность автоматизированной системе регулирования уровня в барабане парового котла зависит от результатов функционирования системы и затрат всех видов ресурсов, необходимых для проектирования ее создания и внедрения. Благодаря современным техническим средств автоматизации, в реализуемом проекте, увеличивается срок его службы, повысится надежность, экономичность и безопасность системы управления в целом. Несмотря на все сильные стороны проекта всегда есть возможность, что появится более современные проекты с улучшенными методами проектирования автоматизированной системы или уже созданными проектами. В данном случае может произойти провал проекта из-за длительных расчетов настройки АСУ ТП, а также сроков поставки технических средств автоматизации, что приведет к неактуальности автоматизированной системы регулирования уровня в барабане парового котла.

Помимо преимуществ выявлены и недостатки: длительный срок поставки оборудования, отсутствие возможности собирать установки «под ключ». Для устранения слабых сторон и минимизации последствий в случае возникновения угроз необходимо регулярно совершенствовать установку с использованием современных технологий и оборудования, а также заранее осуществлять закупку необходимого оборудования.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ93	Кадуркину Ивану Васильевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И.Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» Автоматизация теплоэнергетических процессов

Тема ВКР:

АСУ ТП регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является модернизация системы регулирования уровня в барабане парового котла. Область применения: теплоэнергетика.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя</li> <li>– Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»;</li> <li>– ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения;</li> <li>– ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ;</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</li> <li>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</li> </ul>	<b>Вредные факторы:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Электромагнитное излучение;</li> <li>– превышение уровня шума и вибрации;</li> <li>– отклонение показателей микроклимата.</li> </ul> <b>Опасные факторы:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– поражение электрическим током;</li> <li>– механическое воздействие;</li> <li>– тепловое воздействие.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<b>Атмосфера:</b> антропогенные выбросы при хранении топлива. <b>Гидросфера:</b> загрязнение сточных вод жидкими компонентами, унос отходов.

	Литосфера: тепловые выбросы при работе установки, загрязнение земель бытовыми стоками
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: возникновение пожара на объекте, прорыв топливной магистрали, пандемия. Наиболее типичная ЧС – возгорание топлива в хранилище.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>27.02.2021</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Кадуркин Иван Васильевич		

## 8 Социальная ответственность

В данной работе спроектирована автоматизированная система управления регулирования уровня в барабане парового котла для Томской ТЭЦ-3. Данная система предполагает внедрения на тепловых электрических станциях и других теплоэнергетических объектах. Режим работы осуществляется в полуавтоматическом режиме. Использование данной системы является актуальным, так как при внедрении снижаются потребление энергоресурсов, а также возможность повысить рентабельность производства, но и частично сократить рабочий персонал. Основной сферой применения системы являются теплоэнергетические предприятия, котельные и т.д. При ее внедрении вероятность аварий по причине «человеческого фактора» будет сведена к минимуму.

Для обеспечения работоспособности системы необходимы операторы, которые будут отслеживать уровень в барабане парового котла, режимы работы и осуществлять обслуживание системы. Место работы оператора находится в помещении щита управления, помещение отапливаемое. Для защиты от шума стены помещения покрыты шумоизоляцией. Поддержание микроклимата в операторной осуществляется с помощью микроклиматической системы, позволяющей регулировать температуру и влажность в помещении. Автоматизированное рабочее место (АРМ), оборудовано персональным компьютером, программным обеспечением и информационная база для выполнения его прямых обязанностей.

### 8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовую основу обеспечения безопасности и здоровья составляют Конституция РФ, гарантирующая право граждан на труд, отдых, охрану

здоровья, материальное обеспечение в старости, в случае болезни, при полной или частичной нетрудоспособности и т. д., а также законы и постановления, принятые представительными органами Российской Федерации [51, 52].

Машинист котлов блочного щита управления (БЩУ) на Томской ТЭЦ-3 предполагает для персонала специальную оценку условий труда.

Специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников. По результатам проведения специальной оценки условий труда устанавливаются классы (подклассы) условий труда. Согласно трудовому кодексу РФ и федеральному закону РФ «О специальной оценке условий труда» машинист котлов БЩУ предусматривают:

1) Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ), а также оснащения рабочих мест средствами коллективной защиты [ТК РФ Статья 221];

2) Установления работникам предусмотренных ТК РФ гарантий и компенсаций [ТК РФ г. 28];

3) Повышенный размер оплаты труда [ТК РФ Статья 147];

4) Льготное пенсионное обеспечение [ТК РФ Статья 30];

5) Предварительные и периодические медицинские осмотры [ТК РФ 213]:

Работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, связанных с движением транспорта, проходят обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (для лиц в возрасте до 21 года - ежегодные) медицинские осмотры для

определения пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний.

Основным рабочим местом машиниста котлов по управлению котлоагрегата является блочный щит управления (БЩУ), который располагается в главном корпусе на отметке +12,00 метров. Он представляет собой совокупность:

- 1) Щитовых и пультовых устройств;
- 2) Средств промышленного телевидения, телефонной, радио и громкоговорящей связи;
- 3) Помещений для размещения в них упомянутых выше устройств;
- 4) Документации и оперативного персонала, обеспеченных условиями, необходимыми для деятельности персонала и средств автоматизации;
- 5) Помещений сервисного обслуживания.

С БЩУ осуществляется управление энергоблоком во всех режимах его работы, включая проектные и запроектные аварии.

Рабочее место оператора должно быть организовано согласно требованиям, представленным в [53]:

- 1) При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами, должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м;
- 2) Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600...700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;
- 3) Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики;
- 4) Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

### 8.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Федеральный закон №125-ФЗ от 5 июля 2021 г., «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [54].

Статья 1. Задачи обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний является видом социального страхования и предусматривает:

- обеспечение социальной защиты застрахованных и экономической заинтересованности субъектов страхования в снижении профессионального риска;

- возмещение вреда, причинённого жизни и здоровью застрахованного при исполнении им обязанностей по трудовому договору и в иных установленных настоящим Федеральным законом случаях, путем предоставления застрахованному в полном объеме всех необходимых видов обеспечения по страхованию, в том числе оплату расходов на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию;

- обеспечение предупредительных мер по сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Статья 4. Основные принципы обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний (125-ФЗ Страхование от несчастных случаев на производстве):

- гарантированность права застрахованных на обеспечение по страхованию;

- экономическая заинтересованность субъектов страхования в улучшении условий и повышении безопасности труда, снижении производственного травматизма и профессиональной заболеваемости;

- обязательность регистрации в качестве страхователей всех лиц, нанимающих (привлекающих к труду) работников, подлежащих обязательному

социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

- обязательность уплаты страхователями страховых взносов;
- дифференцированность страховых тарифов в зависимости от класса профессионального риска.

### 8.1.2 Общие эргономические требования

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 рабочее место при выполнении работ сидя [55].

Настоящий стандарт устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов.

Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т. д.) 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.

Общие требования к размещению органов управления – по ГОСТ 22269-76 [56].

Общие требования к размещению средств отображения информации – по ГОСТ 22269-76 система "Человек-машина" [56].

Согласно ГОСТ 22269-76 рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места [56].

### 1. Общие требования.

При взаимном расположении элементов рабочего места необходимо учитывать:

- рабочую позу человека-оператора;
- пространство для размещения человека-оператора;
- возможность обзора элементов рабочего места;
- возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
- возможность ведения записей, размещения документации и материалов;
- используемых человеком-оператором.

### 2. Требования к размещению органов управления.

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора;
- органы управления и функционально связанные с ними индикаторы необходимо располагать вблизи друг друга функциональных групп таким образом, чтобы орган управления или рука оператора при манипуляциях с ним не закрывала индикатора. При этом органы управления должны располагаться в соответствии с последовательностью действий, выполняемых оператором.

### 3. Требования к размещению средств отображения информации

Средства отображения информации необходимо группировать и располагать группы относительно друг друга в соответствии с

последовательностью их использования или с функциональными связями элементов систем, которые они представляют. При этом средства отображения информации необходимо размещать в пределах групп так, чтобы последовательность их использования осуществлялась слева направо или сверху вниз.

Лицевые поверхности индикаторов следует располагать в оптимальной зоне информационного поля в плоскости, перпендикулярной нормальной линии взора оператора, находящегося в рабочей позе. Допускаемое отклонение от этой плоскости – не более  $45^\circ$ ; допускаемый угол отклонения линии взора от нормальной – не более  $25^\circ$  для стрелочных индикаторов и  $30^\circ$  для индикаторов с плоским изображением.

## 8.2 Производственная безопасность

Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [57]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой автоматизированной системы управления регулирования уровня в барабане парового котла представлен в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Воздействие электромагнитного поля	+	+	1.ГОСТ 12.1.019-2017 (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [1]. 2.ГОСТ 12.1.003.2014 (ССБТ) – Система стандартов безопасности труда. Шум [2]. 3.ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [3]. 4.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [4]. 5.ГОСТ 17516.1-90 – Общие требования к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации [5]. 6.Защита от тепловых воздействий ГОСТ Р 30331.4-95 [6].
2. Превышения уровня шума и вибрации		+	
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	
4. Поражение электрическим током	+	+	
5. Механическое воздействие		+	
6. Тепловое воздействие		+	

### 8.2.1 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Персональный компьютер и периферийные устройства являются потенциальными источниками электромагнитного излучения. Электромагнитные излучения оказывают негативное влияние на сердечно-сосудистую, нервную и эндокринную систему, а также могут привести к онкологическим заболеваниям.

Рабочие места с персональными электронными вычислительными машинами должны быть оборудованы защитным занулением; подача электрического тока в помещение должна осуществляться от отдельного независимого источника питания; необходима изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; должны быть предусмотрены защитное отключение, предупредительная сигнализация и блокировка. Во избежание негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным нормам, описанным в ГОСТ 12.4.306-2016 [58]. Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ представлены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 Кв/М

Для снижения воздействия электромагнитного излучения применяют следующие меры:

- расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см;
- применение экранных защитных фильтров, а также средств индивидуальной защиты.

## 8.2.2 Превышение уровня шума и вибрации

Шум ухудшает условия труда, оказывая воздействие на организм человека.

Вопрос уровня шума на рабочих местах на самом деле очень важен. Повышенный шум является причиной ухудшения слышимости, преждевременной утомляемости человека, исследования доказывают, что под влиянием шума производительность труда снижается на 10%, шум уменьшает зрительную реакцию, что вместе с утомляемостью резко увеличивает вероятность ошибок при работе. Исходя из этих данных, установлены санитарные нормы допустимого уровня шума в местах эксплуатации установок.

Воздействие шума с уровнем выше 140 дБ на организм человека приводит к разрыву барабанных перепонки и летальному исходу ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [59].

Основное рабочее место оператора – АРМ, который отдален от технологического оборудования с целью снижения негативного воздействия на организм человека. На установках генерации (ГРЭС, ТЭЦ) приняты следующие нормативы по максимальному уровню шума в местах постоянного пребывания персонала (АРМ оператора), данный норматив составляет 75 дБ. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

## 8.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Под состоянием воздушной среды понимаются метеорологические условия в рабочем помещении. Метеорологические условия определяются следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;

- 2) скорость движения воздуха на рабочем месте;
- 3) относительная влажность.

Данные показатели должны обеспечивать оптимальные и комфортные условия для человека в помещении на протяжении его рабочей смены. Нормативами приводятся оптимальные допустимые значения параметров микроклимата.

Для уменьшения влажности, а также поддержания комфортной температуры в помещении устанавливаются вентиляционные системы. Воздух, всасываемый вентиляторами из атмосферы, после очистки и подогрева поступает в специальные каналы, называемые воздуховодами, и разводится по производственному помещению. Такая вентиляция называется приточной. Нагретый воздух из помещения, содержащий водяные пары, отводится из помещения с помощью системы вытяжной вентиляции.

Опасным фактором, при использовании котла, является количество выбросов, как в атмосферу, так и в помещение, где установлен агрегат. Для уменьшения количества концентрации выбросов проводят операции: установка очистительного оборудования для дымовых газов, герметизация технологических отверстий котельного агрегата, добавление, способствующих снижению концентрации выбросов, составляющих топлива.

Так как для получения дымовых газов необходимо сжигание топлива, то в помещении котельной, нужна вентиляция, для обеспечения нормальных условий работы персонала. Также вентиляция позволит решить проблему повышенной влажности. Для защиты от высокой температуры, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда.

#### 8.2.4 Поражение электрическим током

Источниками поражения электрическим током человека являются ПЭВМ, периферийные устройства, а также технические средства автоматизации,

токоведущие элементы и элементы, находящиеся под напряжением. Последствиями поражения являются ожоги на теле, судороги, потеря сознания и даже смерть человека.

Помещение, в котором находится рабочее место, можно отнести к классу без повышенной опасности, которая соответствует условиям согласно с ГОСТ 12.1.038-82 [60]: напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц; относительная влажность воздуха 50%; температура около 24 °С; наличие полового покрытия, непроводящего ток.

#### 8.2.5 Механическое воздействие

Согласно ГОСТ 17516.1-90 [61] к возможным механическим воздействиям при работе на теплоэнергетических предприятиях ТЭС и ТЭЦ относятся: электрические машины (электродвигатели, генераторы, электронасосы, и т.д.); электрические аппараты, в том числе коммутационные аппараты распределения энергии.

#### 8.2.6 Тепловое воздействие

Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов при эксплуатации котлоагрегата всегда сопровождается высокими температурами воздуха и влажности в цеху. Для обеспечения комфортных условий для работы персонала предусматривается вентиляционная система, решающая эти проблемы. Кроме того, для защиты от высоких температур при проведении профилактических мероприятий в непосредственной близости от котлоагрегата персоналу выдается специальная экипировка. Последствиями контакта с высоко нагретыми поверхностями являются ожоги.

### 8.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды – изменение естественного состава элементов окружающей среды (воздуха, воды, земель и лесов) в результате деятельности человека. Оно приводит к ухудшению условий жизни населения, существования животного и растительного мира.

В соответствии с ГОСТ Р 54906-2012 [62] при проектировании и эксплуатации требуется учитывать возможное негативное воздействие системы на экологию (экологические аспекты).

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания органического топлива, являются одним из основных источников загрязнения атмосферы, что может негативно отразиться на состоянии окружающей среды.

При работе парового котла, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу зависит от типа сжигания топлива. В таблице 8.3 приведены основные показатели вредных веществ с дымовыми газами котлоагрегата.

Таблица 8.3 – Удельные показатели выделения вредных веществ с дымовыми газами котлоагрегата

Вид топлива	Удельные показатели выделения вредных веществ, кг/т, кг/тыс. м <sup>3</sup>			
	твердые частицы	оксид серы	оксид углерода	оксид азота
Угли	67,6	50,4	49,0	2,21
Торф	32,6	1,8	24,0	1,25
Мазут	6,0	54,9	37,7	2,46
Газ (на 100 м <sup>3</sup> )	–	–	12,9	2,16

Из таблицы видно, что по удельному показателю выделения вредных веществ с дымовыми газами будет минимальным при сжигании природного газа.

Негативное влияние на литосферу может характеризоваться тепловыми выбросами, загрязнением почвы нефтепродуктами (мазута) и химическими реагентами, используемыми при работе котлоагрегата. Можно выделить следующие природоохранные мероприятия для этой категории загрязнений: сбор отходов, обустройство места и условия их временного хранения; вывоз для утилизации, уничтожения или захоронения остатков мазута, химреагентов и сопутствующих отходов согласно ФЗ от 24.06.1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [63].

Помимо этого, возможно оказание негативное воздействия на гидросферу при нарушении целостности установки и разливе мазута вблизи водоемов. Для исключения таких случаев объекты и трубопроводы располагают вдали от рек и озер, обеспечивают максимально возможную герметичность трубопроводов и емкостей при подготовке и транспортировки мазута на котлоагрегат.

#### 8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Под пожарной безопасностью понимается состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей.

Источниками зажигания на рабочем месте оператора автоматизированной системы регулирования уровня в барабане парового котла могут быть электронные схемы от электронных вычислительных машин, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, где в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов.

В соответствии с требованиями системы противопожарной защиты администрацией здания должны быть разработаны противопожарные мероприятия на основании СП 486.1311500.2020 [64].

Настоящий свод правил устанавливает требования пожарной безопасности, регламентирующие защиту зданий, сооружений, помещений и оборудования автоматическими установками пожаротушения (далее - АУП) и системами пожарной сигнализации (далее - СПС). При этом указанные АУП и СПС должны проектироваться в соответствии с требованиями СП 485.1311500 [65] и СП 484.1311500 [66] соответственно.

Для операторской установлена категория пожарной опасности В – пожароопасные.

Основными задачами пожарной профилактики являются: предотвращение пожаров и возгорания, локализация возникших пожаров, защита людей и материальных ценностей, тушение пожара.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования. Необходимо предусмотреть ряд мер, направленных на обеспечение тушения пожара: обеспечить подъезды к зданию; обесточивание электрических кабелей; наличие пожарных щитов и ящиков с песком в коридорах; наличие гидрантов с пожарными рукавами; телефонная связь с пожарной охраной; огнетушители: химический пенный ОХП-10 и углекислотный ОУ-2.

Ряд положений Конвенции № 155 и Рекомендации № 164 касается мер профилактики и защиты, имеющих целью минимизировать негативные последствия пандемии, подобной COVID-19, для охраны и безопасности труда.

Работодатели в целом обязаны по мере возможности обеспечивать безопасную и здоровую производственную среду, в том числе принимать меры по сдерживанию распространения вирусов, подобных COVID-19. Меры охраны труда зависят от специфики каждого предприятия и должны разрабатываться по результатам оценки рисков.

Каждое предприятие может сыграть важную роль в сдерживании распространения пандемии путем принятия мер следующего характера:

- изменение организации труда в целях снижения личных контактов между работниками на производстве, увеличение физической дистанции между ними или перевод на удаленную работу;
- регулярная дезинфекция производственных помещений;
- обеспечение надлежащей гигиены и эффективного проветривания помещений;
- обеспечение надлежащих средств защиты (например, мыла, антисептиков для обработки рук, информационно-агитационных материалов), напоминание работникам о требованиях производственной гигиены (например, о необходимости часто мыть руки и не касаться ими глаз, носа и рта);
- внедрение гигиены дыхательных путей (например, раздача защитных масок работникам, в частности, подверженным риску заражения в целях его минимизации);
- ограничение или запрещение производственных поездок без особой нужды;
- вакцинация против COVID-19 всего персонала для обеспечения коллективного иммунитета на предприятиях.

## 8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

В ходе проделанной работы по данному разделу можно сделать вывод, что поставленная задача – это формирование социальной ответственности перед обществом и природой. Существует несколько преимуществ у разработанной автоматизированной системой регулирования уровня в барабане парового котла. Автоматизированная система уменьшит количество оперативного и ремонтного персонала, необходимого для ее функционирования. С экологической и социальной точек зрения внедрение данной системы способствует уменьшению количества выбросов и расход ресурсов.

Как итог проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные 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 и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС.
- вакцинация против COVID-19 персонала на предприятии.

### Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана автоматизированная система управления технологическим процессом регулирования уровня в барабане парового котла Е-160-2,4.

Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень включает датчики измерения температуры, давления, расхода и уровня, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается контроллер, на верхнем уровне – АРМ оператора.

В ходе выполнения дипломного проекта разработана проектная документация: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая щита управления, схема внешних проводок, сборочный чертеж щита управления, составлена заказная спецификация ТСА.

Спроектирован и собран стенд для экспериментальных исследований по определению концентрации водяного пара в окрестностях испаряющейся капли, позволяющая реализовать метод внутривибраторной спектроскопии на основе инфракрасного спектра излучения, выделенного из видимого света.

Построены калибровочные кривые, позволяющая косвенно по изменению мощности ИК излучения определять концентрацию водяных паров в исследуемой области.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки конструкторской документации и мнемосхемы. Представлен фрагмент алгоритма по управлению уровнем в барабане, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В приложении Б приводится выполнение части ВКР (экспериментальные исследования) на английском языке.

## Список использованных источников

1. Асланян, А.Ш. Разработка методики оценки стоимости и эффективности модернизации АСУ ТП на электростанциях. Автореферат. Москва, 2009. –189 с.
2. Теплофикационная установка ПВК. Инструкция по эксплуатации. АО Томская генерация: 31-ИЭ 05-0136-15, 2015.
3. РД 153-34.1-30.106-00. Правила технической эксплуатации парогазовых установок тепловых электростанций. Москва: Изд. 2001.
4. Липатников, Г.А. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики. Учебное пособие, 2007.
5. ГОСТ 34.602-89. Техническое задание на создание автоматизированной системы. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006924>.
6. Буйлов, Г.П. Автоматизированные системы управления теплоэнергетическими процессами и процессами отрасли. Изд. СПбГТУ, 2001. –116 с.
7. Голдобин, Ю.М. Автоматизация теплоэнергетических установок. Учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2017. –186 с.
8. Андык, В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС. Учебник для вузов. Москва: Изд. Юрайт, 2018. –407 с.
9. Кац, М.Д. Расчет автоматической системы регулирования питания барабанного парогенератора водой. Методические указания. Томск: Изд. ТПУ, 2006. –32 с.
10. Ay Su, Fang-Bor Weng, Chun-Ying Hsu, Yen-Ming Chen, International Journal of Hydrogen Energy 31, 1031-1039 (2016).
11. Ugur Pasaogullari, C. Y. Wang, Journal of the Electrochemical Society 151(3), A399-A406 (2014).

12. Старова, И.В. Роль НИРС в системе подготовки кадров // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции SWorld. 2008. Т. 18, № 1. С. 80–81.
13. Горохов В.Г. Фундаментальные и прикладные исследования, а не фундаментальные и прикладные науки // Epistemol. Philos. Sci. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт философии, 2014. № 2 (40).
14. Ugur Pasaogullari, C. Y. Wang, Journal of the Electrochemical Society 151(3), A399-A406 (2014).
15. Michel Kruglanski, Martine De Maziere, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 94, 117-125 (2015).
16. D. T. Cassidy, "Trace gas detection using 1.3-pim InGaAsP diode laser transmitter modules," Appl. Opt. 27, 610-614 (2018).
17. C. Stanton and J. A. Silver, "Measurements in the HCL 3 - 0 band using a near-IR InGaAsP diode laser," Appl. Opt. 27, 5009-5015 (2018).
18. Y. Chang, M. D. DiRosa, D. F. Davidson, and R. K. Hanson, "Rapid tuning cw laser technique for measurements of gas velocity, temperature, pressure, density, and mass flux using NO," Appl. Opt. 30, 3011-3022 (2013).
19. Пьявченко, Т.А. Автоматизированные информационно-управляющие системы. Таганрог: Изд. ТРТУ, 2007. –271 с.
20. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006921>.
21. ГОСТ 8.437-81. ГСИ. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107589>.
22. ГОСТ 21958-76. Общие эргономические требования к расположению рабочих мест. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012833>.

23. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Защитное заземление, зануление. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200289>.
24. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>.
25. Правила устройства электроустановок. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030216>.
26. Володин, Ю.Г. Системы автоматизации технологических процессов в курсовому и помощь дипломному проектированию. Казань: Изд. КГАСУ, 2013. –42 с.
27. ГОСТ 21.403-80. Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/901706028>.
28. ГОСТ 2.785-70. Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003851>.
29. ГОСТ 21.404-85. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/901706033>.
30. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082733>.
31. Термопреобразователи сопротивления Метран. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/-200-ru-61340.pdf>.
32. Термопреобразователи сопротивления Элемер. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://www.elemer.ru/catalog/datchiki-temperature/termometry-soprotivleniya/ts/>.
33. Датчики давления Сапфир-22 ДИ. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: [https://sapfir.nt-rt.ru/images/manuals/teh\\_opis\\_22z.pdf](https://sapfir.nt-rt.ru/images/manuals/teh_opis_22z.pdf).

34. Датчики давления Метран-150 TG. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/manuals-guides--150--metran-ru-61386.pdf>.
35. Датчики давления Элемер АИР-10L. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://www.elemer.ru/catalog/datchiki-davleniya-i-manometry/datchiki-davleniya/air-10l/>.
36. ГОСТ 8.586-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047566>.
37. Датчики дифференциального давления Метран 150 CD. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: [https://emiskip.ru/pics/uploads/MA\\_metran150\\_RU\\_2008.pdf/](https://emiskip.ru/pics/uploads/MA_metran150_RU_2008.pdf/).
38. Датчики дифференциального давления Yokogawa-110A. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: [http://www.yokogawa.ru/products/kip/pressure\\_measurement/datchiki-serii-eja-e-tablitsa-datchikov/](http://www.yokogawa.ru/products/kip/pressure_measurement/datchiki-serii-eja-e-tablitsa-datchikov/).
39. Датчики дифференциального давления Метран 150 CD. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://www.elemer.ru/catalog/datchiki-davleniya-i-manometry/datchiki-davleniya/elemer-100/>.
40. Энциклопедия по машиностроению XXL. Измерение уровня воды в барабане. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://mash-xxl.info/info/414475/>.
41. Поплавковый магнитострикционный датчик LLT-MS с выносной уровнемерной камерой. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://rivalcom.ru/catalog/izmerenie-urovnya/LLT-MS.html>.
42. Программируемый логический контроллер REGUL R600. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://prosoftsystems.ru/catalog/show/promyshlennyj-logicheskij-kontroller-regul-r600>.
43. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК-210. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://owen.ru/product/plk210>.

44. Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-1200. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://simatic-s7-1200.ru/>.
45. ГОСТ 7192-89. Механизмы исполнительные электрические постоянной скорости ГСП. Общие технические условия. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://docs.cntd.ru/document/1200005017>.
46. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <https://www.zeim.ru/production/meo/position-block/>.
47. Ильина, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – Москва: Изд. АГТА, 2005. – 308 с.
48. Ключев, И.Л. Проектирование автоматизированных систем: Учебное пособие. – Москва: Изд. Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
49. Промышленное программное обеспечение SIMATIC STEP 7. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=9990284&tree3=10001340&tree4=10016227&tree5=10016236&tree6=10016237/>.
50. Громаков, Е.И. Проектирования автоматизированных систем управления нефтегазовыми производствами. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2019. – 408 с.
51. РФ Т. К. Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ //Российская газета. – 2001. – №. 256.
52. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования. – Москва: Издательство стандартов, 1976. – 8 с.
53. ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025975>.

54. Федеральный закон №125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/901713539>.
55. Федеральный закон №125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/901713539>.
56. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>.
57. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>.
58. ГОСТ 12.4.306-2016. Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200142400>.
59. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>.
60. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>.
61. ГОСТ 17516.1-90. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006969>.
62. ГОСТ Р 54906-2012. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093401>.
63. ФЗ от 24.06.1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591>.

64. СП 486.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/566348486>.
65. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/573004280>.
66. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования. Электронный ресурс: офиц. Сайт URL: <https://docs.cntd.ru/document/566249686>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Заказная спецификация приборов и ТСА

Поз.	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Кол	Прим
1	2	3	4
1а	Термопреобразователь сопротивления ТСП-256, НСХ 50П, класс допуска В, диапазон измеряемых температур -50...+500 °С. ЗАО ПГ «Метран», г. Челябинск.	1	
2а	Термопреобразователь сопротивления ТСМ-254, НСХ 50М, класс допуска В, диапазон измеряемых температур -50...+180 °С. ЗАО ПГ «Метран», г. Челябинск.	1	
3а, 4а, 5а	Преобразователь давления Метран-150 ТГ, предел основной приведенной погрешности ±0,075 %, верхний предел измерений 60 кгс/см <sup>2</sup> , выходной сигнал 4...20 мА. ЗАО ПГ «Метран», г. Челябинск.	3	
6а,	Диафрагма камерная сварная, условное давления 250 кгс/см <sup>2</sup> , условный диаметр 300 мм, ЗАО ПГ «Метран», г. Челябинск.	1	
7а	Диафрагма камерная сварная, условное давления 60 кгс/см <sup>2</sup> , условный диаметр 100 мм, ЗАО ПГ «Метран», г. Челябинск.	1	
8а	Диафрагма камерная сварная, условное давления 10 кгс/см <sup>2</sup> , условный диаметр 50 мм, ЗАО ПГ «Метран», г. Челябинск.	1	
6б, 7б, 8б	Сосуд уравнильный конденсационный. Условное давление 63 кгс/см <sup>2</sup> . Материал – Сталь 20. ООО «Манометр», г. Москва.	6	
6в, 7в, 8в	Преобразователь разности давления Метран-150 СД, предел основной приведенной погрешности ±0,075 %, верхний предел измерений 2,5 кгс/см <sup>2</sup> , выходной сигнал 4...20 мА. ЗАО ПГ «Метран», г. Челябинск.	1	
9а	Поплавковый магнитострикционный датчик LLT-MS с выносной уровнемерной камерой, верхний предел измерений 0,63 кгс/см <sup>2</sup> , диапазон измерений 0...630 мм, ООО «РивалКом», г. Набережные Челны.	3	
9б	Электронный блок/корпус D, датчик уровня LLT, предел основной приведенной погрешности ±0,25 %, выходной сигнал 4...20 мА. ООО «РивалКом», г. Набережные Челны.	3	
		<b>ФЮРА.421000.008 ЗС</b>	
		Паровой котел Е-160-2,4	
Разраб.	Кадуркин И.В	АСУ ТП регулирования уровня в барабане	Стад
Пров.	Кац М.Д.		ТРП
			Лист
			1
			Листо
			2
		Спецификация приборов и средств автоматизации	ТПУ ИШЭ Группа 5БМ93



Приложение Б  
(обязательное)

**Experimental research on laser spectroscopy method for recording the concentration of water vapor in sealed containers.**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ93	Кадуркин Иван Васильевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Кац М.Д.	к.ф.-м.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Пичугова И.Л.			

## Introduction

The development of automated production management is of great importance at the present stage of development of energy y industries. The level of automation of technological processes is a crucial factor in improving the reliability of the efficiency of thermal, electricity production, and their competitiveness in the electricity and capacity market.

The technological process of TPP and CHPP is characterized by the complexity of the relationships between a large number of units, high parameters of the working environment, requirements for the accuracy of their regulation, this led to the constant search and implementation of new methods for improving control systems based on the theory and new technical means of automatic control. The degree of efficiency of the process control system is directly dependent on the quality and accuracy of the automated management of technological processes, provided that the intervention of operational personnel is excluded as much as possible, both in the operation of the system and in the management process itself.

At the same time, the technical level of control and management systems (CMS), installed at most domestic power stations 30-40 years ago in the era of rapid development of domestic energy, is outdated physically and morally and do not meet modern requirements for the quality of technical means, the volume and level of their functionality. In this regard, there is an objective need to replace outdated automation equipment, as well as modernize the APCS of power units and TPP as a whole.

The introduction of new automated control and management leads to increased reliability and accuracy of tracking the technological process. The system approach in addressing issues of automation of technological processes, the creation and implementation of automated control systems made it possible to make the transition to integrated automation of all main and auxiliary technological processes, as maintaining fuel combustion, regulating various parameters and improving the efficiency of the boiler, implementing technological protections and locks.

This work is aimed at improving the existing system of automatic control of the steam boiler power supply based on microprocessor automation tools. In practical terms, the research is aimed at improving automation tools, developing design documentation, which includes schemes: the structure of the control system, functional, basic electrical circuit of the control panel, developing a general view of the control panel, setting up the field-level controller, developing working documentation of the SCADA system, as well as mnemonic diagrams of the SCADA system.

### Literature review

Basic scientific research is the main way to obtain new scientific knowledge through a combination of theoretical and empirical procedures. Fundamental research is aimed at strengthening the intellectual potential of society by obtaining new knowledge and using it in general education and training of specialists in almost all modern professions. Empirical and theoretical studies are distinguished in basic research. Empirical research is directed at the object of research, it is based on observational and experimental data. Theoretical research is associated with the improvement and development of the conceptual apparatus of science and is aimed at a comprehensive knowledge of objective reality in its essential connections and patterns. Both types of research are organically interrelated and assume each other in the integral structure of scientific knowledge. In turn, the results of applied research are focused on direct use in other areas of activity (technology, economics, etc.).

As part of the experimental research practice, it is planned to expand the existing and acquire new skills in measuring the humidity of steam by the measurement method.

Water vapor, due to its unique properties, is one of the most important components that affect the state of the Earth's atmosphere. The content of water vapor in the atmosphere varies from 0.5 to 4%, it depends on the temperature. Despite the relatively low content in the Earth's atmosphere, water vapor is responsible for about

70 % of the radiation absorbed by the atmosphere and contributes significantly to the greenhouse effect. Also, it should be noted that such a parameter as steam humidity is one of the basic indicators that must be controlled during the operation of a variety of technological processes implemented in various industries. Thus, the question arises about the formation and application of an approach to the measurement of humidity, which would allow to analyze such a parameter as humidity remotely and at the current time.

The existing systems for measuring steam humidity by the method of measurement can be divided into two main groups: contact and non-contact.

The moisture meters in which the contact method is implemented are given below:

1. The dielectric method is based on the fact that the dielectric permittivity of most substances is much less than the corresponding value for water.
2. The main task of the psychrometric method is to assess the characteristics of the readings of dry and wet thermometers (psychrometric difference) using psychrometric tables.
3. The dew point method is one of the main production methods of automatic air humidity control and consists in determining the temperature to which the moist air (gas) should be cooled at constant pressure to bring it to a state of saturation.
4. The sorption method is based on the absorption of moisture from the analyzed medium by some hygroscopic substance.
5. Distillation-azeotropic method. The method of azeotropic distillation of water with a solvent is that the test substance is boiled with an excess of a solvent that does not mix with water, but forms an azeotropic mixture with it.
6. Hygrometric method. Hair hygrometers are used to determine the relative humidity of the air. The principle of hair hygrometers operation is based on the dependence of the lengthening of the hair on the relative humidity: when the

humidity changes from 0 to 100 %, the relative lengthening of the hair reaches 2...2,5 %.

The above methods of contact humidity measurement are easy to implement and do not require computing systems for their implementation, both in the laboratory and in production. But it is worth noting that devices that implement contact methods for measuring humidity have a number of serious drawbacks that do not allow them to be used in a number of industries. Such disadvantages include the high inertia of these methods, the insufficient accuracy of calculating the humidity value, the need to install hygrometers on the equipment where the technological process takes place and the large size of construction of hygrometers. Thus, it can be concluded that contact hygrometers are common devices with a simple construction, but they are not accurate and cumbersome enough to connect to the technological process.

In turn, non-contact methods, namely spectroscopic methods, based on the emission of a laser beam, the subsequent measurement and control of its state after passing through the vapor, are widely used in the world industry. The main spectroscopic methods for measuring humidity include the methods briefly described below.

1. The method of intracavity laser spectroscopy is a method in which the test substance is placed inside the resonator of a laser with a wide spectral band of generation (other methods of laser spectroscopy use narrow-band lasers). In this case, the laser radiation is extinguished at the frequencies of the absorption lines of this substance. The advantage of intracavity laser spectroscopy is high sensitivity, reaching  $\sim 10^{-9} \text{ cm}^{-1}$ , high speed  $10^{-6} - 10^{-3} \text{ s}$ , and small cuvette sizes.

2. The method of radiation attenuation in a resonator (ZIR spectroscopy) is based on the measurement of the time of radiation attenuation due to the absorption of matter in an optical resonator. A typical ZIR spectrometer setup consists of a pulsed laser source, an optical resonator with matching optics, and a photodetector. A laser pulse is fired into a high-Q optical resonator containing the test substance. The pulse energy decreases due to losses due to reflection on the mirrors and absorption

by the gas located between the mirrors of the resonator for each full pass of the resonator. The decrease in the pulse energy is observed by measuring the intensity of the light transmitted through the input mirror of the resonator as a function of time.

3. Optical-acoustic spectroscopy is a method related to the previous one in that a laser with a tunable frequency is used as the radiation source. A laser beam modulated in amplitude (or a beam from a pulsed laser source) is directed into a gas cuvette, in one of the walls of which a sensitive capacitive microphone is mounted. When pulsed radiation is absorbed in the gas, the gas heats up and expands, that is, there is a pressure fluctuation recorded by the microphone.

4. The Fourier spectroscopy method is based on the use of a two-beam interferometer followed by the Fourier transform of the interferogram, which describes the change in the intensity of the radiation transmitted through the interferometer as a function of the path difference between the interfering beams. The main advantage of Fourier spectrometers is that they allow recording wide sections of the spectra, including entire vibrational-rotational bands.

As can be seen from the description of spectroscopic methods, these methods have high accuracy, have a sensitive tuning range, can be implemented in various combinations with other systems of non-contact measurement of values, and have small absolute and relative errors. The disadvantages of the presented remote methods are the complexity in the production and manufacture of lasers and highly sensitive equipment, as well as its cost. Thus, it can be concluded that the use of methods based on the spectroscopic method of measuring humidity will increase the accuracy of the obtained values and reduce the error in conducting experiments.

The aim of the experimental research is to adapt and use the laser spectroscopy method for recording the concentration of water vapor in sealed containers.

## Experimental methods and results

The absorption spectrum of water vapor has a complex rotational and vibrational-rotational structure consisting of hundreds of thousands of absorption lines. The choice of the optimal spectroscopic method depends on the spectral range under study, the permissible experimental conditions, and the set goal. In this regard, when conducting research, it was decided to use a source of visible radiation with the subsequent extraction of the IR spectrum from it (wavelengths above 800 nm).

The experimental stand in Figure 1, used during the experiments, was a table top (1), rigidly fixed on a metal base. The main and auxiliary equipment was attached to the table top with the help of threaded connections.

An experimental setup in Figure 1 was developed and installed to conduct experiments to determine the concentration of water vapor in the vicinity of an evaporating drop, this experimental setup allows implementing the method of intracavity spectroscopy based on the infrared (hereinafter-IR) radiation spectrum isolated from visible light.

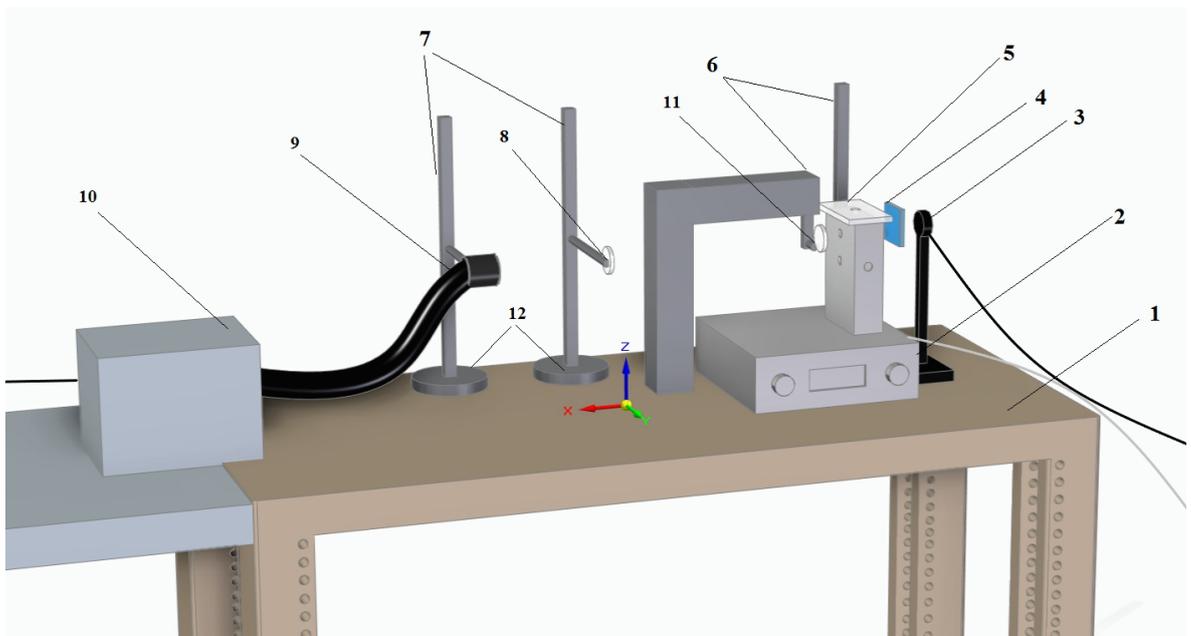


Figure 1 – Scheme of the experimental stand: 1 – table top; 2 – laboratory heating plate; 3 – sensitive element of the power sensor; 4 – set of light filters;

5 – cuvette; 6 – retainer; 7 – tripod; 8 – primary collecting lens; 9 – light guide;  
10 – light generator; 11 – secondary collecting lens; 12 – base of tripods

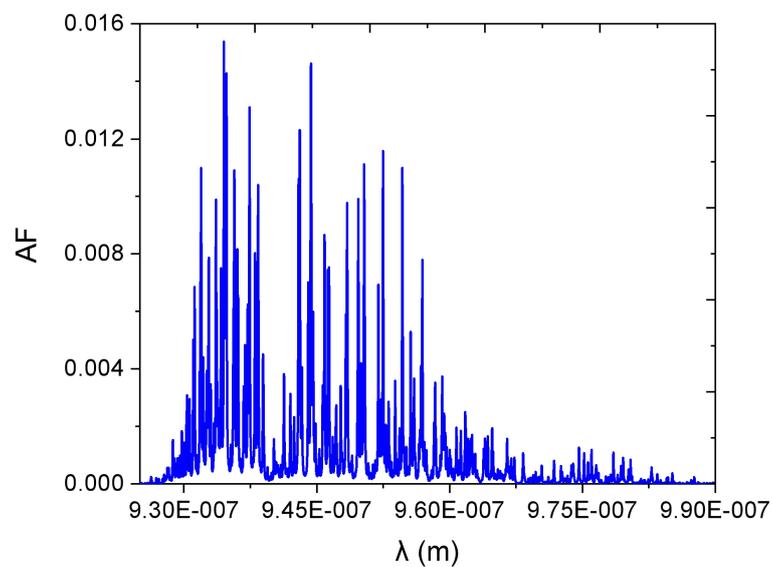
When conducting experimental studies, a coherent light flux was emitted through an optical fiber (9) using a light generator (10). The light guide was a flexible fiber-optic channel that allows to configure the directions of the light flow without loss of power. After emission, the luminous flux was focused using the first collecting lens (8) mounted on a laboratory tripod (7). After passing through the first lens, the concentrated light beam of light was directed to the second collecting lens (11), with which the light beam was focused on the cuvette (5). The focus of the light beam was located in the center of the cuvette, where at the time of light transmission, water vapor was formed (due to the evaporation of a drop inside it). After passing through the cuvette, the beam was scattered and directed to the sensitive element (3) of the power sensor, which recorded the power of the luminous flux. A set of light filters (4) was placed in front of the sensor element, which allowed to select the necessary spectrum of wavelengths. A set of light lenses and a second focusing lens were attached to the holder (6). The evaporation of the drop in the cuvette was due to the conductive heating of the substrate located at the base of the cuvette. A laboratory heating plate (2) was used for this purpose.

The choice of the experimental setup scheme is determined by a number of the following factors:

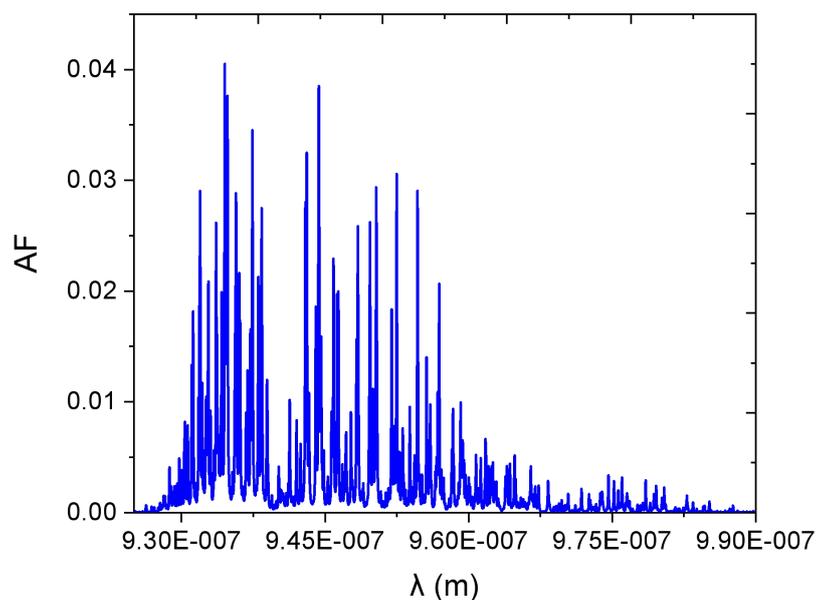
1. Simple construction;
2. Speed of experiments;
3. Visibility of experiments;
4. There are no special requirements for the operating conditions of the main and auxiliary equipment;
5. The ability to configure distances and change power to achieve optimal measurement parameters;
6. Accuracy that meets the measurement requirements.

Figure 2 shows the dependence of the fraction of power absorbed by a column of water vapor of different thickness on the wavelength of radiation obtained using the HITRAN online service. The data are calculated for the water vapor humidity  $\phi = 92\%$ .

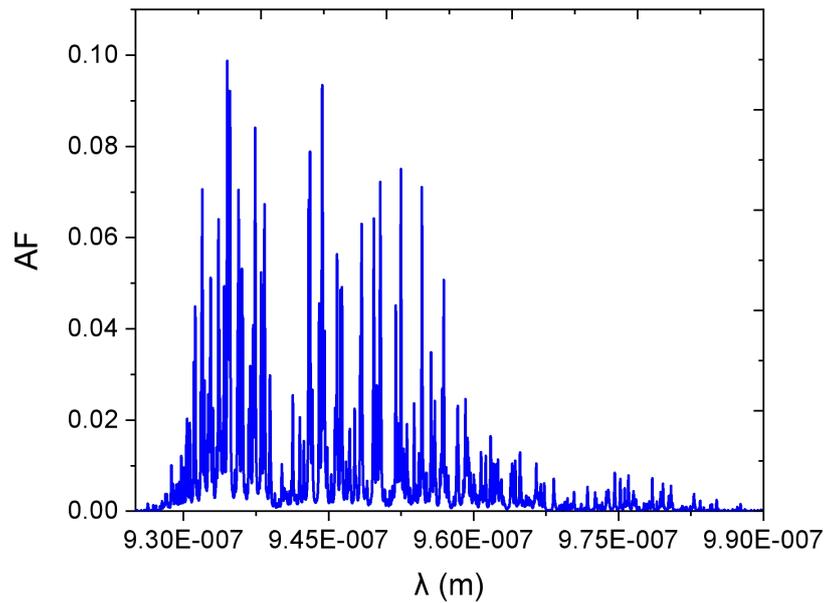
This dependence was isolated from the general spectrum of visible radiation. Figure 2 shows that there are two distinct wavelength values at which the maximum absorption of the light flux energy occurs: 935 nm and 942 nm.



a



b



c

Figure 2 – Dependence of the fraction of the absorbed power of the light flux on the wavelength at a thickness of: 0.015 m (a); 0.04 m (b); 0.1 m (c)

Accordingly, at the first stage of the experiments, the task comes down to combining different light filters in such a way that it will allow the transmission of visible light in the range identified in Figure 2.

A combination of optical glasses of the IKS7 and SZS26 brands was used in Figure 3 to select the desired band of the spectrum. This made it possible to identify the necessary area of the infrared spectrum of visible light. The resulting absorption zone is located between 820 nm (according to the first graph, 880 nm) and 960 nm.

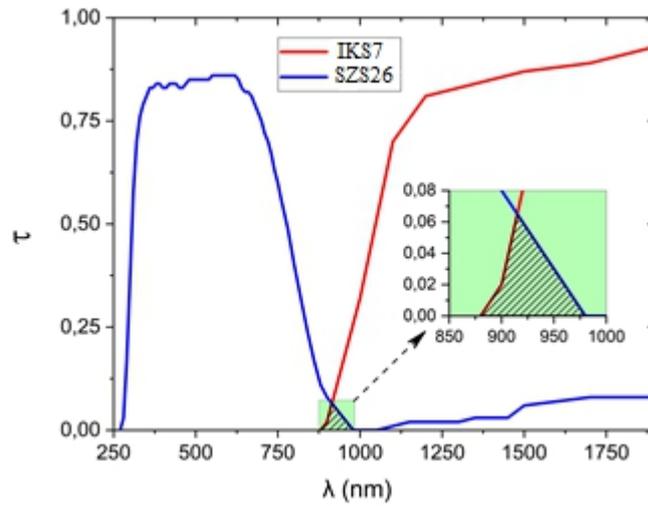
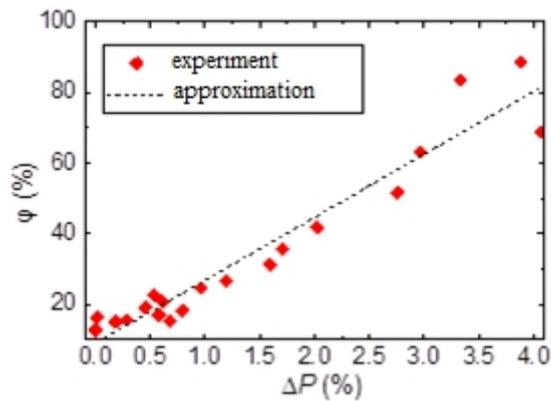
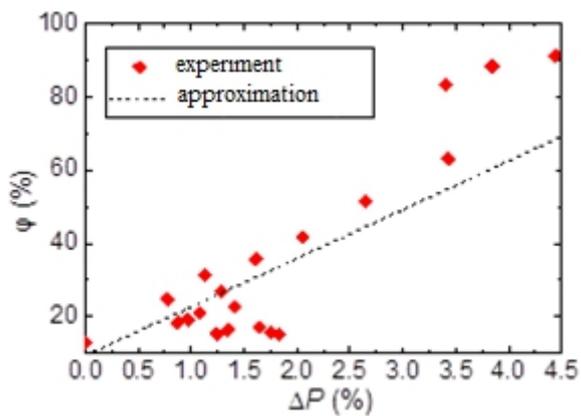


Figure 3 – Spectral curve of the transmission coefficient of a light filter made of a combination of glasses of the brands SZS26 and IKS7

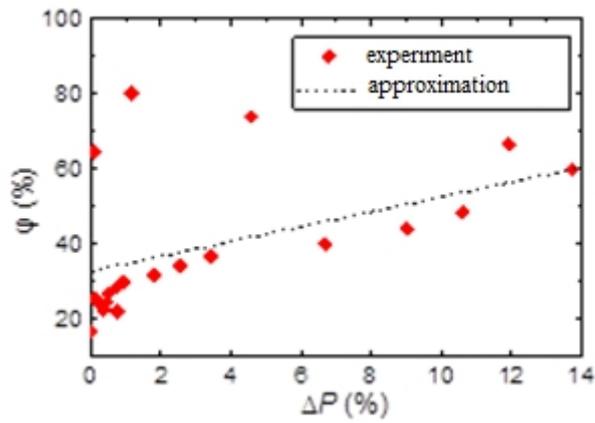
Based on the results of the experiments, calibration curves are constructed in Figure 4, which allow indirectly determining the concentration of water vapor in the studied region by changing the IR radiation power.



a



b



c

Figure 4 – Calibration curve that allows us to indirectly determine the concentration of water vapor in the study area at  $h = 16$  mm (a)  $h = 46$  mm (b) and  $h = 70$  mm (c) by changing the IR radiation power (820-960 nm)

The obtained results make it possible to construct the calibration surface shown in Figure 5.

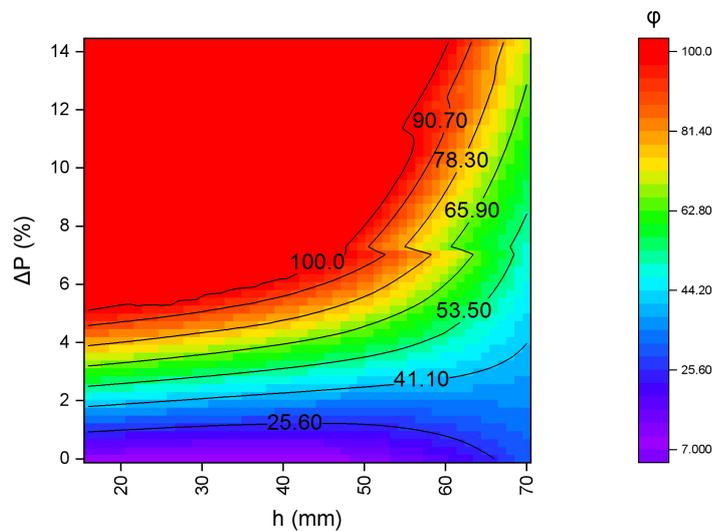


Figure 5 – Calibration surface that allows indirectly determining the concentration of water vapor at different thickness of the vapor layer by changing the IR radiation power (820-960 nm)

## Conclusion

As part of the research work, a comparative review of existing methods for registering water vapor was presented. It was shown that the method of non-contact laser spectroscopy can be the most optimal for recording the concentration of water vapor.

The skills of planning and organizing research work were obtained. Experimental studies were carried out, which made it possible to choose a combination of optical glasses of the brands IKS7 and SZS26, and it also allowed us to select the necessary area of the infrared spectrum of visible light. The resulting absorption zone is located between 820 nm and 960 nm. The graphs of the dependences of the change in power in absolute and in relative units in the selected IR range (820-960 nm) over time were plotted for the vapor layer thickness  $h = 16$  mm,  $h = 46$  mm, and  $h = 70$  mm.

Calibration curves were plotted, which allow to indirectly determine the concentration of water vapor in the investigated area from the change in the IR radiation power.

To process the measurement results, the absolute value of the systematic and random error was calculated for the use of non-contact methods for monitoring the concentration of water vapor in sealed containers. The error of the method depends on the fluctuations of the power sensor, which are about 0.01 MW, which corresponds to a change in the vapor concentration in the range of 6-12%.

The developed method can be used for the concentration of any components of water vapor, liquids. This method can be used as a maximum-minimum level alarm in the steam boiler drum.

## References

1. Ay Su, Fang-Bor Weng, Chun-Ying Hsu, Yen-Ming Chen, *International Journal of Hydrogen Energy* 31, 1031-1039 (2016).
2. Ugur Pasaogullari, C. Y. Wang, *Journal of the Electrochemical Society* 151(3), A399-A406 (2014).
3. Michel Kruglanski, Martine De Maziere, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 94, 117-125 (2015).
4. D. T. Cassidy, "Trace gas detection using 1.3-pim InGaAsP diode laser transmitter modules," *Appl. Opt.* 27, 610-614 (2018).
5. C. Stanton and J. A. Silver, "Measurements in the HCL 3 - 0 band using a near-IR InGaAsP diode laser," *Appl. Opt.* 27, 5009-5015 (2018).
6. Y. Chang, M. D. DiRosa, D. F. Davidson, and R. K. Hanson, "Rapid tuning cw laser technique for measurements of gas velocity, temperature, pressure, density, and mass flux using NO," *Appl. Opt.* 30, 3011-3022 (2013).