

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО КОТЛА С КИПЯЩЕМ СЛОЕМ

УДК 681.51:621.182.2-66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Павлова Кристина Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель специализации ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	К.Т.Н.		

Томск – 2021 г.

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией
ПК(У)-2	Способность проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-3	Способность участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок энергообъектов и их элементов по стандартным методикам
ПК(У)-8	Готовность к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования

ПК(У)-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по освоению, доводке и сопровождению технологических процессов

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

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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Павловой Кристине Андреевне

Тема работы:

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО КОТЛА С КИПЯЩЕМ СЛОЕМ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 29-59/с от 29.01.2021 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2021 года
--	------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом автоматизации в работе является паровой прямоточный котел типа Пп-1000-24,5-565 АКТФ. Параметры работы котлоагрегата:</p> <ul style="list-style-type: none"> – номинальная нагрузка 1000 т/ч; – давление свежего пара 24,5 МПа; – температура свежего пара 565 °С. <p>Котел установлен на тепловой электрической станции с поперечными связями с возможностью организации блочной компоновки. Котел может нести как базовую, так и регулируемую нагрузку.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Современное состояние исследований процесса сжигания топлива в ЦКС; 2. Анализ объекта автоматизации; 3. Разработка проектной документации; <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Выбор и обоснование структуры АСР; 3.2. Разработка функциональной схемы АСР; 3.3. Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации; 3.4. Разработка принципиальной электрической схемы АСР; 3.5. Разработка монтажной схемы АСР; 3.6. Разработка общего вида щита управления; 4. Расчет сужающих устройств; 5. Коррекция результатов измерений; 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7. Социальная ответственность; <p>Заключение.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная; 2. Схема функциональная; 3. Схема принципиальная электрическая; 4. Схема монтажная; 5. Общий вид щита управления.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Клемашева Елена Игоревна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ассистент ООД ШБИП Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>29.01.2021 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>Ю.К. Атрошенко</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>29.01.21</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5Б7В</p>	<p>Павлова Кристина Андреевна</p>		<p>29.01.21</p>

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 103 с., 3 рисунка, 34 таблицы, 4 приложения, 74 источника, 10 листов графического материала.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, паровой котел, нагрузка парового котла, сжигание в кипящем слое, циркулирующий кипящий слой.

Объектом автоматизации является паровой котел, установленный на энергоблоке №9 Новочеркасской ГРЭС.

Цель работы – разработка автоматической системы регулирования нагрузки парового котла с применением современных технических средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проведен анализ современного состояния исследований в этой области, выбрана структура системы регулирования нагрузки, подобраны технические средства автоматизации, разработана проектная документация, включающая в себя функциональную и электрическую схемы, схему соединений и общий вид щита управления.

Итогом данной работы является разработанная автоматическая система регулирования нагрузки парового котла с использованием современных технических средств автоматизации, в работе определены параметры сужающих устройств, выполнен расчет коррекции результатов измерений технологических параметров.

Оглавление

Введение.....	10
1 Современное состояние исследований процесса сжигания топлива в ЦКС	12
2 Анализ объекта автоматизации	16
3 Разработка проектной документации.....	19
3.1 Выбор и обоснование структуры АСР.....	19
3.2 Разработка функциональной схемы АСР	22
3.3 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации.....	24
3.3.1 Средства измерения давления	24
3.3.2 Программируемый логический контроллер	27
3.3.3 Исполнительный механизм.....	34
3.3.4 Пусковое устройство	35
3.4 Разработка принципиальной электрической схемы.....	36
3.5 Разработка монтажной схемы АСР	39
3.6 Разработка общего вида щита управления.....	40
4 Расчет сужающих устройств.....	42
5 Коррекция результатов измерения технологических параметров.....	43
5.1 Методика расчета.....	43
5.2 Пример расчета параметров.....	44
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 48	
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	48
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	48
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	48
6.1.3 SWOT-анализ	51
6.2 Планирование научно-исследовательских работ	52
6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	52
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	53
6.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	55

6.3.1	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	55
6.3.2	Основная заработная плата исполнителей проекта.....	56
6.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	58
6.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	58
7.3.5	Услуги сторонних организаций.....	59
6.3.6	Накладные расходы	59
6.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского.....	60
	проекта	60
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	60
6.4.1	Определение ресурсоэффективности проекта.....	60
	Вывод по разделу	63
7	Социальная ответственность	66
7.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	66
7.1.1	Специальные трудовые нормы правового законодательства	66
7.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	67
7.2	Производственная безопасность	68
7.2.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	68
7.2.2	Обоснование мероприятий по снижению воздействия	73
7.3	Экологическая безопасность.....	73
7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	74
	Вывод по разделу	76
	Заключение	77
	Список используемых источников.....	78
	Приложение А Расчет сужающих устройств	87
	Приложение Б Матрица SWOT анализа	97
	Приложение В Временные показатели проведения научного исследования..	99
	Приложение Г Диаграмма Ганта	101
	Графический материал:	На отдельных листах
	ФЮРА.421000.016 С1 Схема структурная	

ФЮРА.421000.016 С2 Схема функциональная

ФЮРА.421000.016 Э3 Схема принципиальная электрическая

ФЮРА.421000.016 С4 Схема монтажная

ФЮРА.421000.016 ВО Общий вид щита управления

Введение

На сегодняшний день Россия занимает лидирующие позиции в рейтинге стран по запасам угля в мире, которая при этом в качестве основного топлива для энергетической промышленности использует природный газ (доля сжигаемого газа более 70 %) [1]. Природный газ – самый дешевый вид топлива, легко транспортируется и является более экологически чистым топливом. Однако запасы твердого топлива в России кратно превосходят запасы природного газа и его использование может принести немалую выгоду. Обладать огромными запасами твердого топлива и не использовать его по назначению – представляется не целесообразным [1].

Ужесточение норм на вредные выбросы в окружающую среду стимулирует твердотопливную энергетическую промышленность к переходу на новую технологию экологичного сжигания топлива [1]. Такая технология должна соответствовать двум условиям: во-первых, сжигание должно быть максимально полным, а значит экономичным; во-вторых, выбросы вредных веществ должны быть минимальными. С этой точки зрения технология с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) имеет хорошую перспективу.

Сжигание в ЦКС – технология, которая стремительно развивается во всем мире. На сегодняшний день в мире эксплуатируется более 3000 твердотопливных котлов [2] с применением технологии ЦКС.

Основная задача эксплуатации паровых котлов заключается в обеспечении их длительной надежной работы с максимальной экономичностью при соблюдении диспетчерского графика нагрузки, характеризующегося суточной и сезонной неравномерностью. В связи с этим энергетические котлы могут нести переменную нагрузку.

Целью настоящей работы является разработка автоматической системы регулирования нагрузки прямоточного парового котла.

Разработка данной системы позволит решить следующие задачи:

- сбор, хранение, обработку и передачу информации о ходе технологического процесса и состоянии оборудования;
- автоматический контроль и регулирование параметров, обеспечивающих заданный режим функционирования в соответствии с утвержденным регламентом работы.

Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ объекта автоматизации, выбрать структуру системы регулирования, разработать проектную документацию и выбрать технические средства автоматизации.

1 Современное состояние исследований процесса сжигания топлива в ЦКС

Теме исследования процессов сжигания топлива в ЦКС посвящено большое количество работ. В частности, в [3] представлен принцип работы котлов с технологией ЦКС.

Кипящий слой – это двухфазная псевдогетерогенная система «твердое-газ», которая образуется путем превращения слоя твердого топлива в псевдожидкость под действие восходящего напора воздуха [3].

Принцип работы котла, использующего технология ЦКС, представлен на рисунке 1 [3]. На колосниковую решетку помещается слой твердого топлива и подается небольшой напор воздуха, после чего уголь разогревается и начинает гореть (рисунок 1, а).

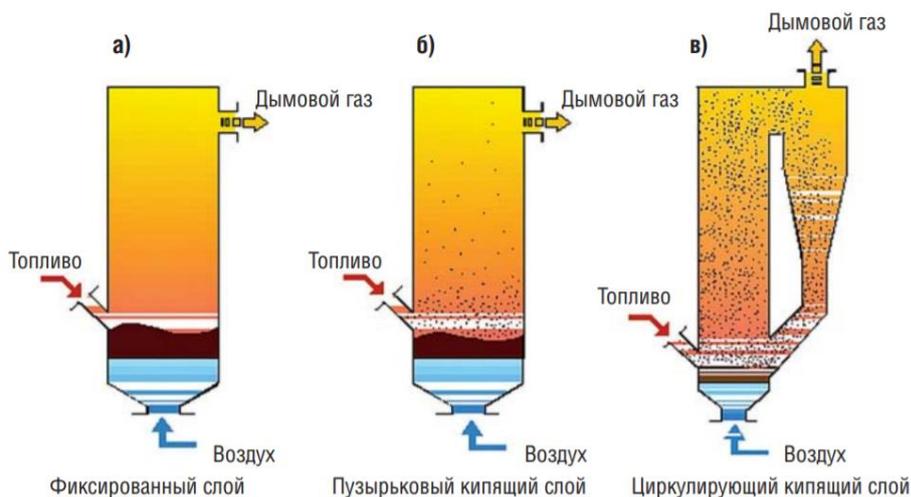


Рисунок 1 – Принцип работы котла с ЦКС

С увеличением скорости потока восходящего воздуха в определенный момент времени скорость потока превзойдет силу тяжести твердых частиц, и они окажутся во взвешенном состоянии. При дальнейшем увеличении напора воздуха толщина горящего слоя увеличивается, и образуются пузырьки газа – пузырьковый кипящий слой (рисунок 1, б). При достижении наибольшего

напора воздуха твердые частицы не успевают полностью сгореть в горящем слое и выскакивают из него. После этого они попадают в циклон, который сортирует сгоревшие и недогоревшие частицы и последние возвращаются обратно в топку (рисунок 1, в). Отсюда название «циркулирующий кипящий слой».

Эффективность котлов с ЦКС [4-6] опирается на многократную циркуляцию топливной смеси в топочной камере и небольшое количество подводимого нового топлива. При этом интенсифицируется процесс сжигания и обеспечивается серо- и азотоочистка.

Целесообразности использования данной технологии посвящены работы исследователей Южно-Уральского университета (Иванова А.М., Шашкин В.Ю. [4]), Всероссийского теплотехнического научно-исследовательского института «ВТИ» [2, 5-6], Института угольных энерготехнологий НАН и Минтопэнерго Украины (Рохман Б.Б. [7]) и многих исследователей зарубежных стран [8-10].

Первый опыт работы котлов с ЦКС на угольном топливе получен на энергоблоке №9 Новочеркасской ГРЭС в г. Новочеркасск Ростовской области [11]. В качестве опытного образца использовался прямоточный, газоплотный котел с уравновешенной тягой, П-образной компоновки.

Исходным материалом слоя служит песок с заданными физическими и химическими свойствами. Очень важным параметром является его фракционный состав: слишком крупные или слишком мелкие частицы не подходят для формирования слоя. Растопочное топливо для парогенератора – природный газ. Основным топливом служит антрацитовый штыб с переменной зольностью. В котле с ЦКС предъявляют жесткие требования к фракционному составу твердого топлива: размеры частиц поступающего в котел угля должны находиться в диапазоне от 0,2 до 0,6 мм [11].

Однако, несмотря на очевидные преимущества такой технологии, эксплуатация котлов с ЦКС сопровождается рядом трудностей [12-16]. Основные проблемы, которые возникают в результате эксплуатации, это

загрязнение поверхностей нагрева, повреждение футеровки, коррозия и эрозия поверхностей, неоднородность фракционного состава топлива, повреждение колпачковой решетки, отсутствие охлаждения донной золы. Несмотря на возникающие проблемы, при эксплуатации котлов удается достичь высоких значений КПД котлоагрегата (более 90 %), сопоставимых с эффективностью работы газовых котлов.

В [2] предложены научные и методические основы для разработки котлов с ЦКС, обеспечивающих эффективное сжигание различных твердых топлив совместно с биомассой. В [5] отмечено, что доля биомассы в топливной смеси снижает выбросы оксидов серы и диоксида углерода. На эффективность сжигания топлива также влияют условия эксплуатации, геометрия топки, газодинамика, теплопроводность и способы подачи топлива в топку [8-9].

В работах [17-21] описываются примеры использования технологии кипящего слоя для сжигания различных видов биомассы. Результаты исследований показывают, что КПД таких установок достигает более 90 %. Это может стать одним из достоинств, которое позволит получать из отходов промышленности энергоэффективное сырье. Одним из направлений исследований являются вопросы получения пеллетов из отходов деревообрабатывающей промышленности, которые могут послужить топливом для котлов с кипящим слоем. Также в качестве одного из топлив в [18] предложено использовать твердые бытовые отходы (ТБО) [18-19].

Ряд работ [22-27] посвящен анализу выбросов вредных веществ при использовании технологии ЦКС для различных видов топлива. Для достижения более низкой концентрации серы и азота [23] применяется низкий перепад давления в слое, за счет чего увеличивается энергоэффективность и не требуется изменение гранулометрического состава топлива. Небольшая концентрация выбросов вредных веществ объясняется технологией сжигания топлива [26]. За счет полного сжигания и температуры слоя, поддерживаемой на уровне 850 °С, достигается низкий уровень

образования оксидов азота. Низкий уровень концентрации серы обусловлен ее высокой степенью связывания в топке за счет добавления известняка. В работе [27] было проведено сравнение сжигания различных видов топлива для пылевидного сжигания и сжигания в циркулирующем кипящем слое. Результаты представлены в таблице 1 [27].

Таблица 1 – Выбросы в атмосферу при сжигании различных видов топлива

Выбросы	Показатель загрязнения, мг/МДж			
	Обычные сланцевые котлы	Новые сланцевые котлы с кипящим слоем	Топка с нижней подачей топлива, дерево и древесные отходы	Природный газ
<i>CO</i>	18	17	43	10
<i>NO_x</i> (в виде <i>NO₂</i>)	98	58	137	60
<i>SO₂</i>	860	< 2	< 3	0
Твердые частицы	20	12	69	< 5
<i>CO₂</i>	113 000	100 000	110 000	59 000
<i>HCl</i>	30	< 5	-	-

По данным таблицы 1 видно, что при сгорании топлива в кипящем слое выделение вредных веществ значительно меньше, чем у обычных котлов и по некоторым значениям ниже, чем у газовых котлов.

Перспективы внедрения технологии ЦКС и ее использования для сжигания твердого топлива описаны в [28-35]. Для повышения эффективности существующих котлоагрегатов [35] одним из перспективных направлений отмечают переход на технологию с ЦКС. В работе [28] приведены основные проблемы, которые возникают в результате эксплуатации котлов с ЦКС в России, которые связаны с несовершенством соответствующих методик и исследований. В [29] рассмотрены возможные методические подходы и результаты исследований применения технологии ЦКС.

2 Анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации выбран паровой котел марки Пп-1000-24,5-565 АКТФ номинальной мощностью 330 МВт. Котел изготовлен Таганрогским котлостроительным заводом «Красный котельщик» и установлен на энергоблоке №9 Новочеркасской ГРЭС.

Котел с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС), прямоточный, газоплотный с уравновешенной тягой, П-образной компоновки. Технические данные котла Пп-1000-24,5-565 АКТФ приведены в таблице 2 [11, 35].

Таблица 2 – Технические данные котла Пп-1000-24,5-565 АКТФ

Параметр	Значение
Мощность энергетического блока, МВт	330
Расход свежего пара, т/ч	1000
Давление свежего пара, МПа	24,5
Температура свежего пара, °С	565
Расход пара промперегрева, т/ч	850
Давление пара после промперегревателя, МПа	4,4
Температура пара после промперегревателя, °С	565
Температура питательной воды, °С	280
Температура горячего воздуха, °С	299
Температура уходящих газов, °С	130
Топливо	Антрацит (АШ), Кузнецкий тощий уголь (ТР), Шлам
КПД брутто, %	91

На рисунке 2 [36] приведена технологическая схема котла с ЦКС Пп-1000-24,5-565 АКТФ.

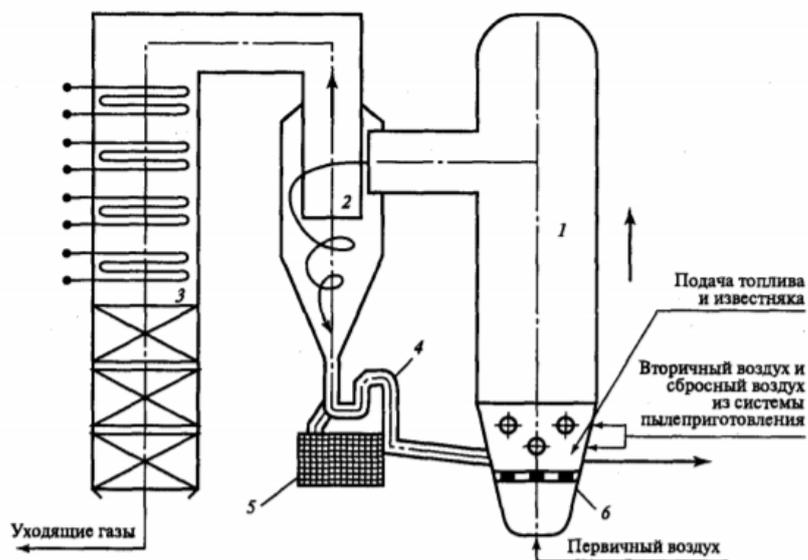


Рисунок 2 – Продольный разрез парового котла с ЦКС:
 1 – топочная камера; 2 – циклон; 3 – опускная конвективная шахта; 4 – золовый затвор; 5 – золовый теплообменник; 6 – распределительная воздушная решетка

Топочное устройство котла выполнено в виде двух модулей, состоящих из топочной камеры, двух циклонов и золовых теплообменников, в которых зола охлаждается паром или питательной водой. Продукты сгорания топочных модулей направляются обратно в общую конвективную шахту [36]. Главным отличием рассматриваемого котлоагрегата от традиционных является наличие ЦКС.

В топочной камере процесс горения частиц топлива протекает с высокой интенсивностью с относительно низкой температурой (до 900 °С). Вместе с угольной пылью в топку вводится известняк. Поток воздуха и топочных газов поднимает угольную пыль и обеспечивает ее горение во взвешенном состоянии. Циклоны используются для возврата недогоревших частиц вместе с золой и недоиспользованным известняком вниз топки. При этом создается циркулирующий поток этой смеси [36].

Стенки топочной камеры экранированы. Подача воздуха в топочную камеру осуществляется ступенчато [36].

Регулирование подачи угольной пыли в топку парового котла осуществляется в соответствии с требуемой паропроизводительности, а подача известняка в зависимости от содержания серы в топливе [36]

Перечень регулируемых и контролируемых параметров и их диапазоны измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень регулируемых и контролируемых параметров

Наименование	Значение
Регулируемые параметры	
Расход твердого топлива, должно быть не более	136 т/ч
Расход питательной воды, должно быть не более	1000 т/ч
Контролируемые параметры	
Расход питательной воды, должно быть не более	1000 т/ч
Расход пара, должно быть не более	1000 т/ч
Давление пара, должно быть не более	24,5 МПа
Скорость изменения давления пара	-

Для регулируемых параметров входными регулирующими воздействиями являются степень открытия регулирующего органа подачи воды и производительность питателя подачи топлива, а возмущающими воздействиями – температура и давление питательной воды, а также фракционный состав топлива.

3 Разработка проектной документации

3.1 Выбор и обоснование структуры АСР

Особенностью прямоточных котлов является отсутствие четкой границы между экономайзерной, испарительной и перегревательной зонами. При постоянстве расхода и характеристик топлива снижение расхода питательной воды будет вызывать снижение паропроизводительности (нагрузки) котла. Экономайзерная и испарительная зоны будут сокращаться (по водопаровому тракту), а перегревательная зона увеличится, что вызовет рост температуры пара в пакетах пароперегревателя. В связи с этим, проектирование и наладка АСР подачи топлива и подачи питательной воды выполняется совместно, с учетом регулирования температуры пара в первичном тракте. Схемы регулирования изображены на рисунке 3 [37].

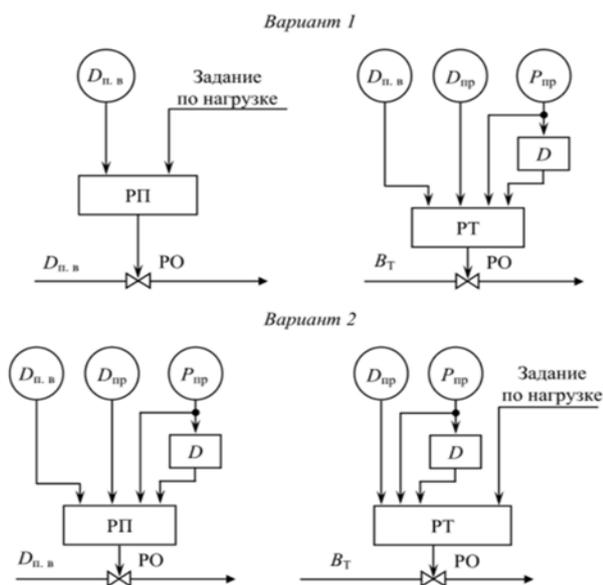


Рисунок 3 – Схемы регулирования тепловой нагрузки:

1 вариант – по соотношению вода-тепло; 2 вариант – по соотношению тепло-вода; $D_{п.в.}$ – расход питательной воды; $D_{пр}$ – расход пара; $P_{пр}$ – давление пара; B_T – расход топлива; D – дифференциатор; РП – регулятор питания; РТ – регулятор топлива; РО – регулирующий орган

В первом варианте регулятор питания – ведущий, регулятор топлива – ведомый. На регулятор топлива поступает два импульса, один из которых

импульс по расходу питательной воды, который также является сигналом задания. Вторым импульсом является импульс «по теплу», поступающий по каналу отрицательной обратной связи и образованный в виде суммы двух сигналов, один из которых сигнал по расходу пара и второй по скорости изменения давления в сечении парового тракта. Так как плотность пара зависит от давления пара, импульс по давлению пара предназначен для компенсации воздействия изменения давления пара на измерения расхода острого пара.

Во время изменения нагрузки оба регулятора вступают в действие и одновременно изменяют расход питательной воды и топлива в паровой котел. Так как регулятор топлива поддерживает соотношение воды и тепла, то это обеспечивает первичное регулирование температуры острого пара. Во время появления внутритопочных возмущений регулятор топлива обеспечивает их устранение.

Во втором варианте (рисунок 3) регулятор топлива является регулятором тепловой нагрузки парового котла. На регулятор топлива поступает два импульса, один из которых задание по нагрузке от корректирующего регулятора давления пара на выходе из котла и второй импульс «по теплу» по каналу отрицательной обратной связи. Импульс «по теплу» формируется таким же образом, что и в первом варианте.

С помощью регулятора питания поддерживается температура пара в промежуточном сечении водопарового тракта. При возникновении внутритопочных возмущений, регуляторы топлива и питания одновременно вступают в работу. Регулятор топлива обеспечивает устранение возникающих возмущений, в то время как регулятор питания устраняет воздействие этих возмущений на температуру острого пара. Согласованная работа регуляторов топлива и питания во время возникновения внутритопочных возмущений позволяет обеспечить наименьшие отклонения температуры пара по сравнению с первым вариантом.

Во втором варианте при изменении нагрузки регуляторы вступают в работу не одновременно. В первую очередь регулятор топлива изменяет расход твердого топлива в парогенератор. После этого с некоторой задержкой изменяется расход питательной воды в котел. В этом случае отклонение по температуре пара больше, чем во втором варианте.

Сопоставим приведенные варианты схем регулирования питания и топлива [38]:

1) в первом варианте контур регулирования топлива не оказывает существенного влияния на контур регулирования питания. Во втором – связь прослеживается в большей степени;

2) для поддержания необходимого температурного режима первичного тракта требуется, чтобы существовал достаточный диапазон регулирования топлива в первом варианте и питания – во втором;

3) динамическая точность поддержания температуры в промежуточной точке тракта при возмущениях нагрузкой в первом варианте выше, чем во втором, при внутритопочных возмущениях – наоборот;

4) с точки зрения аппаратной реализации второй вариант несколько сложнее первого, так как требует дополнительных приборов для формирования сигнала по теплоте для двух регуляторов. Сложнее он и в настройке.

Основываясь на вышеприведенных выводах, в работе выбран первый вариант схемы АСР.

Структурная схема автоматической системы регулирования нагрузки парового котла приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.016 С1.

Учитывая возможности современных программируемых логических контроллеров, которые способны выполнять множество вычислительных функций, в том числе извлечение корня и дифференцирование, структурная схема упрощается.

С помощью датчиков расхода пара ДР1 и питательной воды ДР2 информация о текущих значениях расходов пара и питательной воды

передается на ПЛК. Датчик давления ДД передает информацию о текущем значении давления в паропроводе на ПЛК, который в том числе выполняет операцию дифференцирования для установления скорости изменения давления. ПЛК обрабатывает поступающие сигналы и при изменении нагрузки котла вырабатывает управляющие воздействия, передаваемые к пусковым устройствам ПУ1 и ПУ2. Пусковые устройства ПУ1 и ПУ2 приводят в действие исполнительные механизмы ИМ1 и ИМ2. Валы каждого из исполнительных механизмов вращаются и изменяют положения регулирующих органов РО1 и РО2, тем самым изменяя расход топлива и питательной воды. Информация о положении регулирующих органов РО1 и РО2 поступает на ПЛК.

3.2 Разработка функциональной схемы АСР

Функциональная схема – это основной технический документ, определяющий взаимосвязи между отдельными узлами автоматической системы и комплектацию приборов и технических средств автоматизации.

В настоящей работе выделены следующие участки контроля параметров пароводяного тракта: участок перед подачей питательной воды в котел и участок парового тракта между выходом пара из котла и главной паровой задвижкой. На этих участках расположены точки отбора измерительной информации.

Точки воздействия на регулируемые параметры находятся на топливном тракте и пароводяном тракте на участке подачи питательной воды в котел.

Перечень регулируемых и контролируемых параметров, диапазоны их изменения приведены в таблице 3.

Функциональная схема АСР нагрузки парового котла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.016 С2.

Каналы 1, 2, 3, 5, 7 – предназначены для определения расходов питательной воды и пара, давления пара и положений регулирующих органов; 4, 6 – каналы управления, предназначены для регулирования расходов питательной воды и топлива. Функции контроля реализуются с помощью измерительных преобразователей, посредством которых определяется значение параметра и передается на сигнальный модуль ПЛК в виде унифицированного токового сигнала. Функции сигнализации реализуются с помощью ПЛК: в случае достижения технологическим параметром значений уставки осуществляется автоматическая подача светового сигнала на сигнальные лампы НЛ1...3.

Информация о значениях регулируемых параметров поступает от датчиков и преобразователей давления 1а, 2в, 3б. В данной схеме измерение расхода питательной воды и пара осуществляется методом переменного перепада давлений с использованием сужающих устройств – сопел (позиции 2а и 3а). В состав канала измерения 2 включен конденсационный сосуд 2б для поддержания постоянства и уровня конденсата в системе. Для измерения скорости изменения давления используется функция дифференцирования, которую выполняет контроллер. На входной аналоговый модуль контроллера поступают унифицированные сигналы (4...20 мА) от датчиков давления, установленных на трубопроводе питательной воды и паропроводе. С модуля выходных сигналов контроллера на пусковое устройство, входящее в состав исполнительного механизма 4а, подается регулирующее воздействие о необходимости изменения расхода питательной воды. Исполнительный механизм 4а, изменяя положение регулирующего органа, вызывает изменение расхода питательной воды. С модуля выходных сигналов контроллера на пусковое устройство исполнительного механизма питателя ба подается регулирующее воздействие о необходимости изменения производительности питателя, таким образом, изменяя расход топлива. Информация о состоянии регулирующего органа и производительности питателя передается по каналам 5 и 7 от датчика положения и датчика

частоты вращения вала питателя, входящих в состав исполнительных механизмов.

3.3 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации

3.3.1 Средства измерения давления

Для измерения давления в системах автоматического регулирования и контроля используют преобразователи давления различных характеристик и принципов работы.

Основные критерии выбора датчиков давления:

- тип измеряемого давления (атмосферное, избыточное и т.д.);
- тип измеряемой среды (пар, жидкость и т.д.);
- диапазон измерений;
- параметры окружающей среды;
- тип выходного сигнала датчика давления;
- способ монтажа на объекте контроля.

Для обоснования выбора рассмотрим два датчика давления и их характеристики:

1) Преобразователь давления измерительный Emerson типа 3051S-CG

Преобразователь давления – это прибор, предназначенный для измерения различных типов давления жидкости, газа и пара и дальнейшего преобразования измеряемого параметра в аналоговый или цифровой выходной сигнал [39]. Технические данные приведены в таблице 4 [39].

Таблица 4 – Технические данные преобразователя давления Emerson типа 3051S-TG

Параметр	Значение
Тип измеряемого давления	Избыточное
Тип измеряемой среды	Пар
Диапазон измерений	От 0,184 до 27,6 МПа

Продолжение таблицы 4

Параметр	Значение
Диапазон рабочих температур	От минус 40 до плюс 121 °С
Выходной сигнал	От 4 до 20 мА

2) Датчик давления Элемер типа АИР-10Н/ДИ

Компактный микропроцессорный датчик давления – это прибор, выполняющий функцию преобразования измеряемого типа давления в унифицированный выходной токовый или цифровой сигнал [40]. Технические данные датчика давления типа АИР-10Н приведены в таблице 5 [40].

Таблица 5 – Технические данные датчика давления АИР-10Н/ДИ

Параметр	Значение
Тип измеряемого давления	Избыточное
Тип измеряемой среды	Пар
Наименование	Значение
Диапазон измерений	От 0 до 40 МПа
Выходной сигнал	От 4 до 20 мА, HART

На основании технических характеристик, приведенных в таблицах 4 и 5, выбираем преобразователь давления Emerson типа 3051S-TG, так как он удовлетворяет предъявляемым требованиям: диапазону измерения, имеет унифицированный токовый сигнал.

Для измерения расхода перегретого пара используется преобразователь разности давлений, который входит в состав расходомеров переменного перепада давлений с сужающим устройством. Для повышения качества измерений вблизи сужающего устройства установлены конденсационные сосуды, предназначенные для стабилизации верхних уровней конденсата в соединительных линиях. Для обоснования выбора рассмотрим два преобразователя разности давлений и их характеристики:

1) Преобразователь давления измерительный Элемер АИР-20/М2-Н

Компактный микропроцессорный датчик давления – это прибор, выполняющий функцию преобразования измеряемого типа давления в унифицированный выходной токовый или цифровой сигнал [41]. Технические данные приведены в таблице 6 [41].

Таблица 6 – Технические данные датчика давления AIP-20/M2-N

Параметр	Значение
Тип измеряемого давления	Дифференциальное
Тип измеряемой среды	Пар
Диапазон измерений	От 0 до 60 кПа
Выходной сигнал	От 4 до 20 мА, HART
Дополнительная функция	Извлечение квадратного корня

2) Преобразователь давления измерительный Emerson типа 3051S-CD

Преобразователь давления – это прибор, предназначенный для измерения различных типов давления жидкости, газа и пара и преобразования измеряемого параметра в аналоговый или цифровой выходной сигнал [39]. Технические характеристики приведены в таблице 7 [39].

Таблица 7 – Технические данные датчика давления Emerson 3051S-CD

Параметр	Значение
Тип измеряемого давления	Дифференциальное
Тип измеряемой среды	Пар
Диапазон измерений	От 0 до 62 кПа
Температура контролируемой среды	От минус 60 до 149 °С
Выходной сигнал	От 4 до 20 мА, HART
Дополнительная функция	Извлечение квадратного корня

На основании технических характеристик приведенных в таблицах 6 и 7 выбираем преобразователь давления Emerson 3051S-CD, так как он удовлетворяет предъявляемым требованиям: диапазону измерения, имеет унифицированный токовый сигнал, а также имеет функцию извлечения квадратного корня, что позволяет не использовать дополнительно блок извлечения корня.

Для измерения расхода питательной воды на котел аналогично также используется преобразователь давления. В работе также выбран датчик давления типа 3051S-CD фирмы «Emerson», но в другом исполнении – с разделительными мембранами. Это позволит использовать преобразователь давления в условиях высокой температуры измеряемой среды, так как диапазоны температур у такого исполнения выше (-128...410 °С) и нет необходимости дополнительно устанавливать разделительные сосуды.

3.3.2 Программируемый логический контроллер

Для реализации алгоритмов управления и упрощения системы управления в системе используется программируемый контроллер.

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

Рассмотрим два контроллера различных фирм зарубежного и отечественного производителя.

1. Модульный ПЛК фирмы Siemens SIMATIC S7 300

Данный ПЛК предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Преимуществами контроллера являются: работа с естественным охлаждением, широкие коммуникационные возможности, удобство эксплуатации и обслуживания [42].

В состав ПЛК может входить до 32 модулей, состоящих из модулей центрального процессора, блоков питания, сигнальных, функциональных и интерфейсных модулей,

Выполним подбор модулей ПЛК SIMATIC S7-300.

1) Модуль центрального процессора CPU 315-2 DP

Данный модуль предназначен для скоростной обработки информации поступающей на контроллер и выработки команд управления [43]. Технические характеристики модуля приведены в таблице 8 [43].

Таблица 8 – Технические характеристики модуля центрального процессора CPU 315-2 DP

Параметр	Значение
Питание	
Номинальное значение напряжения питания	24 В
Номинальный потребляемый ток	0,85 А
Память	
Встроенная память для выполнения программы и хранения данных	256 Кбайт
Емкость энергозависимой памяти для сохранения блоков данных	128 Кбайт
Сохранение данных при перебоях в питании	Есть
Время выполнения	
Типовое время выполнения логических операций со словами	0,05/0,09 мкс
Функции времени	
Часы реального времени	Аппаратные
Встроенные интерфейсы MPI	
Типа интерфейса	RS 485
Питание интерфейса, не более	200 мА
Встроенные интерфейсы PROFIBUS DP	
Тип интерфейса	RS 485
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при вертикальной установке	0...+40 °С
Габариты и масса	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40x125x130
Масса	290 г

2) Модуль питания PS 305

Данный модуль предназначен для формирования напряжения 24 В и обеспечения питанием электроники модулей программируемого контроллера, и цепей датчиков и исполнительных устройств [43]. Технические характеристики модуля приведены в таблице 9 [43].

Таблица 9 – Технические характеристики модуля питания PS 305

Параметр	Значение
Размеры и вес	
Размеры ШхВхГ (мм)	50x125x120
Вес	420 г
Входные данные	
Номинальное значение входного напряжения	120/230 В переменного тока
Частота сети для номинального значения	50 Гц или 60 Гц
Выходные данные	
Номинальное значение выходного напряжения	24 В постоянного тока

3) Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

Данный модуль предназначен для подключения к контроллеру аналоговых датчиков, выполнения аналогово-цифрового преобразования входных аналоговых сигналов в цифровые величины [43]. Технические характеристики модуля приведены в таблице 10 [43].

Таблица 10 – Технические характеристики модуля ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

Параметр	Значение
Конструктивные особенности	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40x125x117
Масса	0,23 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Характеристика модуля	
Общее количество входов	8
Напряжение, токи, потенциалы	
Напряжение питания входной электроники модуля	24 В
Выходной ток одного канала для цепи питания датчиков	30 мА
Данные для выбора датчиков	
Параметры входных сигналов для датчиков силы тока	От 0 до 20 мА; От 4 до 20 мА
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при вертикальной установке	От 0 до плюс 40 °С

4) Модуль вывода аналоговых сигналов SM 332-5HF00-0AB0

Данный модуль предназначен для цифро-аналогового преобразования цифровых величин и формирования выходных аналоговых сигналов [43]. Технические характеристики модуля представлены в таблице 11 [43].

Таблица 11 – Технические характеристики модуля вывода аналоговых сигналов SM 332-5HF00-0AB0

Параметр	Значение
Конструктивные особенности	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40x125x117
Масса	0,272 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель

Продолжение таблицы 11

Параметр	Значение
Характеристики модуля	
Общее количество выходов	8
Напряжение, токи, потенциалы	
Напряжение питания нагрузки	24 В
Данные для выбора исполнительных устройств	
Диапазоны изменения выходных сигналов для каналов силы тока	От 0 до 20 мА; От 4 до 20 мА
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при вертикальной установке	От 0 до плюс 40 °С

5) Модуль ввода-вывода дискретных сигналов SM 323-1BL00-0AA0

Данный модуль предназначен для ввода-вывода дискретных сигналов и преобразования дискретных сигналов в его внутренние логические сигналы и преобразования внутренних логических сигналов в его выходные дискретные сигналы [43]. Технические характеристики модуля представлены в таблице 12 [43].

Таблица 12 – Технические характеристики модуля ввода-вывода дискретных сигналов SM 323-1BL00-0AA0

Параметр	Значение
Конструктивные особенности	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40x125x120
Масса	0,26 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Дискретные входы и выходы	
Количество входов	16
Количество выходов	16
Напряжение, токи, потенциалы	
Номинальное значение напряжение внешних цепей	24 В
Данные для выбора датчиков	
Номинальное входное напряжение	24 В
Данные для выбора исполнительных механизмов	
Выходное напряжение высокого уровня не менее	0,8 В
Номинальное значение выходного тока высокого уровня	0,5 А
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при вертикальной установке	От 0 до плюс 40°С

2. Модульный ПЛК фирмы Элеси ЭЛСИ-ТМК

Данный ПЛК предназначен для построения систем автоматизации малого и среднего масштаба во всех секторах промышленного производства [44].

Выполним подбор модулей программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК.

1) Процессорный модуль ТС 711 А8

Данный модуль предназначен для логической обработки данных и выдачи сигналов управления, а также обмена данными между модулями [44].

Технические характеристики модуля приведены в таблице 13 [44].

Таблица 13 – Технические характеристики процессорного модуля ТС 711 А8

Параметр	Значение
Процессор	
Тип процессора	Sitara (ARM Cortex-F8)
Тактовая частота, МГц	600
Производительность	
Время выполнения 1 логической операции, нс	50
Время выполнения 1 математической операции с фиксированной точкой, нс	50
Время выполнения 1 математической операции с плавающей точкой, нс	100
Память	
Объем оперативной памяти RAM, Мб	512
Объем энергонезависимой памяти (ЭНП), Мб	512
Поддержка модулей ввода/вывода	
Количество поддерживаемых модулей	10
Режимы работы	
Переключатель режимов работы	3-х позиционный
Электрические параметры	
Потребляемая мощность, Вт	7
Эксплуатационные и конструктивные параметры	
Диапазон рабочих температур, °С	От минус 25 до плюс 60
Масса, кг	0,8
Размеры ШxВxГ, мм	50x193x143

2) Модуль дискретного ввода TD 721 16I 024DC

Данный модуль предназначен для преобразования входных дискретных сигналов и обеспечения сопряжения контроллера с датчиками, устройствами

и механизмами [44]. Технические характеристики модуля представлены в таблице 14 [44].

Таблица 14 – Технические характеристики модуля ввода дискретных сигналов TD 721 16I 024DC

Параметры	Характеристики
Дискретные входы	
Общее количество входов, шт	16
Напряжение опроса датчиков, В	24
Тип сигнала	«открытый коллектор», «сухой контакт»
Время опроса всех входов, мс	От 3 до 12
Электрические параметры	
Потребляемая мощность, Вт	3
Эксплуатационные и конструктивные параметры	
Диапазон рабочих температур, °С	От 0 до плюс 60
Масса, кг	0,8
Размеры ШхВхГ, мм	25x193x143

3) Модуль дискретного вывода TD 716 32O 024DC

Данный модуль предназначен для преобразования команд контроллера в выходные дискретные сигналы [44]. Технические характеристики модуля приведены таблице 15 [44].

Таблица 15 – Технические характеристики модуля вывода дискретных сигналов TD 716 32O 024DC

Параметры	Характеристики
Дискретные выходы	
Общее количество выходов, шт	32
Максимальное коммутируемое напряжение постоянного тока, В	30
Тип сигнала	«открытый коллектор»
Максимально коммутируемый ток, А	0,2
Электрические параметры	
Потребляемая мощность, Вт	6
Эксплуатационные и конструктивные параметры	
Диапазон рабочих температур, °С	От минус 25 до плюс 60
Масса, кг	0,8
Размеры ШхВхГ, мм	25x193x143

4) Модуль аналогового ввода TA 715 24IDC

Данный модуль предназначен для измерения и обработки сигналов постоянного тока или напряжения постоянного тока [44]. Технические характеристики модуля приведены в таблице 16 [44].

Таблица 16 – Технические характеристики модуля аналогового ввода TA 715 24IDC

Параметры	Характеристики
Аналоговые входы	
Общее количество входов, шт	24
Диапазон измерения напряжения постоянного тока, В	От минус 5 до плюс 5
Схема подключения датчиков	2-х проводная
Электрические параметры	
Потребляемая мощность, Вт	6
Эксплуатационные и конструктивные параметры	
Диапазон рабочих температур, °С	От 0 до плюс 60
Масса, кг	0,8
Размеры ШxВxГ, мм	25x193x142

5) Модуль аналогового вывода TA 714 80 DC

Данный модуль предназначен для формирования сигналов постоянного тока или напряжения постоянного тока [44]. Технические характеристики модуля приведены в таблице 17 [44].

Таблица 17 – Технические характеристики модуля аналогового вывода TA 714 80 DC

Параметры	Характеристики
Аналоговые выходы	
Общее количество выходов, шт	8
Время преобразования, мс	От 20 до 2000
Схема подключения датчиков	2-х проводная
Электрические параметры	
Диапазон рабочих температур, °С	От 0 до плюс 60
Масса, кг	0,8
Размеры ШxВxГ, мм	50x193x136

По итогам сравнения контроллеров для использования в работе выбран ПЛК производства фирмы Siemens. Контроллеры данной фирмы давно

зарекомендовали себя на рынке как одни из самых качественных и надежных продуктов. Кроме того, контроллер S7 300 наиболее подходит по техническим данным, имеет большой функционал, а конструкция модулей выгодна тем, что для подключения сигналов к контроллеру используются фронтальные соединители, которые упрощают проведение монтажных работ.

3.3.3 Исполнительный механизм

Исполнительный механизм выбираем исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента.

Подбор исполнительного механизма проведем на основе существующих проектных решений и выберем аналогичный.

Выбираем ИМ типа МЭО(Ф)-1600-Е2-08К. В состав исполнительного механизма входит датчик положения выходного вала и функция ручного управления. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети переменного тока 380 В [45]. ИМ идет в составе с интеллектуальным блоком КИМ2, который устанавливается непосредственно на электроприводе для обеспечения местного управления. Кроме того для электроприводов с интеллектуальным блоком КИМ2 применены бесконтактные цифровые датчики положения и момента, что позволяет обойтись без установки дополнительных датчиков положения. В интеллектуальном блоке КИМ2 реализован встроенный бесконтактный пускатель с функцией безударного пуска, что позволяет обойтись без самостоятельного пускового устройства [45].

Регулирование расхода топлива осуществляется двигателем питателя топлива ИРБИ8, который входит в состав пылепитателя. Пылепитатель имеет исполнение, позволяющее регулировать его производительность напрямую с контроллера. Электропривод может работать в режиме стабилизации частоты вращения при изменении момента вращения на валу двигателя или стабилизации момента на валу двигателя путем изменения частоты

вращения, а также в режиме стабилизации технологического параметра [46]. Электропривод имеет индикацию (активной составляющей тока статора) величины момента электродвигателя. Показания индикаторов в процентах, значение 100 % соответствует номинальному моменту электродвигателя [47]. Так как двигатель входит в состав питателя топлива, то выбор его не выполняется.

3.3.4 Пусковое устройство

Пускатели предназначены для бесконтактного управления электроприводами регулирующей и запорной трубопроводной арматуры в составе АСУ ТП.

Рассмотрим следующие пусковые устройства:

1) Пускатель ПБР-3И

Пускатель обеспечивает реверсивное управление электропривода (ЭП) с помощью команд «открыть», «закрыть» через дискретные входы и с помощью аналоговых входов по сигналу задания. Также управление может осуществляться с контроллера через интерфейс RS-485 по протоколу MODBUS. Возможна остановка ЭП в крайних положениях с помощью конечных и моментных выключателей, торможение реализуется методом обратного включения. Обеспечивается вывод аналогового сигнала положения вала ЭП в систему управления [48].

2) Пускатель МСТ-310Р

Это компактный полупроводниковый пускатель с микропроцессорным управлением, обеспечивает реверсивное управление ЭП с помощью дискретных сигналов «открыть», «закрыть» подаваемых на дискретные входы пускателя. Обеспечивается безударный пуск с пофазным включением обмоток и торможение противовключением с регулируемым временем торможения [49].

Так как исполнительный механизм для регулирования расхода питательной воды имеет встроенный пускатель, то для исполнительного механизма, регулирующего подачу топлива, нет необходимости в многофункциональном пускателе. Поэтому выберем пускатель МСТ-310Р, содержащий набор стандартных функций.

Решения по выбору технических средств автоматизации приведены в заказной спецификации, представленной на листе с шифром ФЮРА.421000.016 СО1.

3.4 Разработка принципиальной электрической схемы

Принципиальная электрическая схема отражает полный состав устройств и средств автоматизации, обеспечивающих решение задач контроля, измерения, управления и сигнализации, а также взаимосвязи между ними.

Электрическая схема АСР нагрузки парового котла приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.016 ЭЗ. Перечень элементов электрической схемы представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.016 ПЭЗ.

На листе 1 с шифром ФЮРА.421000.016 ЭЗ представлена электрическая схема подсистемы электрического питания и микроклимата щита управления.

Подсистема электрического питания включает себя:

- автоматические выключатели (QF1...3), предназначенные для защиты разделительных и групповых цепей;
- щитовую розетку (XS1), предназначенную для подключения электрического инструмента малой мощности во время профилактических и ремонтных работ;
- блоки зажимов (XT0, XT01, XT02), предназначенные для соединения кабелей;
- устройство защиты от перенапряжений (Z01), предназначенное

для защиты устройств от перенапряжений при протекании через сеть импульсов тока;

- модуль питания (G1), предназначенный для обеспечения устройств напряжением 24 В;

- сигнальную лампу (HL1), предназначенную для информирования о том, что питание подведено к щиту управления.

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

Подсистема микроклимата включает в себя:

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

- осветительный прибор (EL1), предназначенный для освещения;

- реле контроля температуры (КК1), предназначенное для контроля температуры в шкафу управления;

- фильтрующий вентилятор (M1), предназначенный для нагнетания холодного воздуха.

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

На листах 2-3 с шифром ФЮРА.421000.016 Э3 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых сигналов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A3);

- 20-полюсный фронтальный соединитель (XP1) для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних цепей;

- преобразователи аналоговых сигналов (UY1...4) – пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;

- п-образные соединители (S1.2, S2.1), предназначенные для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блоки зажимов (ХТ1.1...3).

Подсистема вывода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль вывода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A4);
- 40-полюсный фронтальный соединитель (ХР2) для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних цепей;
- преобразователи аналоговых сигналов (UY5..6) – пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- п-образные соединители (S2.2, S3.1), предназначенные для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блоки зажимов (ХТ2.1...2).

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

На листах 4-5 с шифром ФЮРА.421000.016 ЭЗ представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода дискретных сигналов.

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов включает в себя:

- модуль ввода-вывода дискретных сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A5);
- 40-полюсный фронтальный соединитель для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних цепей (ХР3);
- релейные модули (K1...20), предназначенные для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;
- п-образный шинный соединитель (S3.2, S4.1), предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;

- блоки зажимов (ХТ3);
- сигнальные лампы (НЛ2...4), предназначенные для световой индикации, обеспечивающие функцию сигнализации о достижении технологическим параметром верхнего или нижнего предела.

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

На листе 6 с шифром ФЮРА.421000.016 Э3 представлена электрическая схема подключения питания к модулю питания контроллера (А1) и обеспечение питанием модуля сигнального процессора (А2).

3.5 Разработка монтажной схемы АСР

Монтажная схема (схема внешних соединений) – это комбинированная схема, на которой отражено территориальное расположение всех щитов, приборов и средств автоматизации, а также все электрические и трубные связи между ними [50].

Монтажная схема АСР нагрузки парового котла представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.016 С4.

В верхней части монтажной схемы в виде контуров изображены силовой щит ХТ8, в нижней части щит управления и его клеммные блоки ХТ0...3. В средней части в виде условных изображений показаны внешние соединения преобразователей (Rosemount 3051), исполнительных механизмов (МЭОФ-1600, ИРБИ8) и пускателя (МСТ-310Р) со щитом управления. Для соединений применены изолированные провода. В цепях измерения, управления, питания применены провода и кабели с медными жилами. В маркировке кабеля указан тип кабеля, количество и сечение жил, длина кабеля.

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительные коробки (КС24-2 УХЛ2, КС36-2 УХЛ2).

3.6 Разработка общего вида щита управления

Общий вид щита управления отражает взаимное расположение всех элементов, входящих в щит. Компоновка и расположение приборов и аппаратуры на щитах и панелях выполняется в соответствии с ходом технологического процесса. Принимаются во внимание вопросы эстетического порядка, а затем соблюдаются условия удобного обзора приборов.

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.016 ВО. Перечень составных частей щита управления представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.016 ПВО.

Внутри шкафа управления в виде условных графических обозначений изображена система контроля и регулирования, а также вспомогательная аппаратура. В верхней части шкафа расположен осветительный прибор (EL1) и концевой выключатель (SQ1). В верхнем ряду расположен контроллер Siemens SIMATIC S7-300 (AC1), во втором ряду расположены средства защиты системы питания и управления, а именно автоматические выключатели (QF1...3), разделительные преобразователи (UY1...6), устройство защиты от перенапряжений (Z01), блок питания (G1) и щитовая розетка (XS1). В третьем ряду расположена вспомогательная аппаратура – реле (K1...23, KK1). В нижней части шкафа вертикально в несколько рядов расположены групповые оборки зажимов (XT0, XT01, XT02, XT1, XT2, XT3). На лицевой стороне двери расположена сигнальная аппаратура (HL1...4) и показано расположение фильтрующего вентилятора (M1).

Для размещения оборудования выбран компактный шкаф AX 1181.000 производителя Rittal. Размеры шкафа 800x1000x400 мм. Оборудование размещено на монтажных шинах с перфорацией NS 35/7,5 производителя Phoenix Contact. Для прокладки силовых проводов используются перфорированные короба 40x40 производителя Phoenix Contact.

В перечень составных частей входит документация, на основании которой разработан общий вид щита управления – функциональная схема, монтажная схема, принципиальная электрическая схема; сборочные единицы, в состав которых входят модули контроллера; стандартные и прочие изделия и материалы.

4 Расчет сужающих устройств

Расчет сужающих устройств выполнен по методике, представленной в [51] с учетом рекомендаций, содержащихся в [52]. Порядок расчета представлен в Приложении А.

Сужающие устройства установлены на трубопроводе питательной воды и паропроводе острого пара. Исходные данные для расчета представлены в таблице 18, а результаты расчета в таблице 19.

Таблица 18 – Исходные данные для расчета сужающих устройств

Исходные данные	Сужающее устройство	
	Сопло FLC-FN-PIP-116-29	Сопло FLC-FN-PIP-178-24,5
1 Измеряемая среда	питательная вода	пар
2 Температура измеряемой среды, °С	280	565
3 Избыточное давление перед сужающим устройством, МПа	29	24,5
4 Внутренний диаметр трубопровода, мм	201	205
5 Верхний предел измерения измерительного прибора, т/ч	1200	1100
6 Материал трубопровода	сталь 15ГС	сталь 12Х1МФ
7 Материал сужающего устройства	сталь 15ГС	сталь 12Х1МФ

Таблица 19 – Результаты расчета сужающих устройств

Параметры		Сужающее устройство	
Название	Обозначение	Сопло FLC-FN-PIP-116-29	Сопло FLC-FN-PIP-178-24,5
1 Коэффициент истечения	C	84,958	239,1
2 Предел номинального перепада давления дифманометра, кгс/см ²	ΔP_n	6,3	6,3
3 Коэффициент шероховатости	$K_{ш}$	1,0004	1,009
4 Коэффициент расхода	α_1	1,024	1,319
5 Коэффициент линейного расширения, °С ⁻¹	α'_t	$15,30 \cdot 10^{-6}$	$13,65 \cdot 10^{-6}$
6 Расчетный диаметр отверстия, мм	d_{20}	115,1	177,5
7 Расход, т/ч	$Q'_{мвп}$	1201,773	1100,55

5 Коррекция результатов измерения технологических параметров

5.1 Методика расчета

Расчет коррекции результатов измерения технологических параметров проводим по методике, изложенной в [53].

В общем случае без учета динамики измерительного преобразователя (ИП) связь между сигналами на его входе и выходе описывается статической характеристикой вида:

$$x_1 = f(x, z), \quad (1)$$

где f – функция непрерывная и дифференцируемая по всем аргументам;
 z – вектор влияющих величин.

Однозначное соответствие между сигналом измерительной информации и измеряемой величиной соблюдается только при постоянных значениях влияющих величин. Для каждого ИП эти номинальные значения Z_j^0 указывают в его паспорте. Подставив их в уравнение (1), получим номинальную (паспортную) статическую характеристику ИП:

$$x_1 = f(x, z^0) = f_0(x). \quad (2)$$

Операцию аналитической градуировки выполняют с использованием градуировочной характеристики ИП, представляющей собой функцию, обратную его номинальной статической характеристике (2).

$$x^\Gamma = f_0^{-1}(x_1), \quad (3)$$

где x^Γ – значение измеряемой величины, соответствующее по градуировочной характеристике ИП значению x_1 сигнала измерительной информации.

Операция аналитической градуировки ИП позволяет определить действительное значение x измеряемой величины по сигналу x_1 измерительной информации только в том случае, если x преобразовано в x_1 в соответствии с номинальной статической характеристикой ИП (2), т.е. при выполнении условия:

$$Z = Z^0. \quad (4)$$

Однако в производственных условиях невозможно стабилизировать значения всех влияющих величин на номинальном уровне, что приводит к нарушению условия (4). Возникает так называемая дополнительная погрешность измерения, которая, очевидно равна:

$$\Delta x^\Gamma = f_0^{-1}(\widetilde{x}_1) - x, \quad (5)$$

где $\widetilde{x}_1 = f(x, z^0 + \Delta z)$; Δz – вектор отклонений влияющих величин от номинальных значений.

Истинное значение x при нарушении условия (4) находят при расчете по функции, обратной полной статической характеристике ИП:

$$x = f^{-1}(\widetilde{x}_1). \quad (6)$$

Его можно найти, умножая значение x^Γ , полученное по формуле (3), на некоторый поправочной коэффициент k_Π :

$$x = x^\Gamma \cdot k_\Pi. \quad (7)$$

С учетом (3), (6), (7) получим:

$$k_\Pi = \frac{f^{-1}(\widetilde{x}_1)}{f_0^{-1}(\widetilde{x}_1)}. \quad (8)$$

5.2 Пример расчета параметров

Рассмотрим коррекцию результатов измерения массового расхода перегретого пара и воды на изменение давления в трубопроводе.

Данные для расчета представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Данные для расчета коррекции результатов измерения

Параметр, среда	Номинальные значения влияющих параметров	Текущие значения влияющих параметров
Расход, перегретый пар	Давление пара: $P_n = 24,5$ МПа Температура пара: $t_n = 565^\circ\text{C}$	Давление пара: $P = 24,3$ МПа Температура пара: $t = 560^\circ\text{C}$
Расход, питательная вода	Температура воды: $t_n = 260^\circ\text{C}$	Температура воды: $t = 258^\circ\text{C}$

Функциональная связь между плотностью перегретого пара ρ и влияющими параметрами P и t следующая:

$$\rho = \frac{10,1 \cdot P(0,9 \cdot t - 110)}{(0,9 \cdot t - 110)(0,00474 \cdot t + 1,283) - 10,2 \cdot P'} \quad (9)$$

Плотность перегретого пара при номинальных значениях влияющих параметров:

$$\rho_0 = \frac{10,1 \cdot 24,5 \cdot (0,9 \cdot 565 - 110)}{(0,9 \cdot 565 - 110)(0,00474 \cdot 565 + 1,283) - 10,2 \cdot 24,5} = 74,220 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность перегретого пара при текущих значениях влияющих параметрах:

$$\rho = \frac{10,1 \cdot 24,3 \cdot (0,9 \cdot 560 - 110)}{(0,9 \cdot 560 - 110)(0,00474 \cdot 560 + 1,283) - 10,2 \cdot 24,3} = 74,186 \text{ кг/м}^3.$$

Функция обратной статической характеристики расходомера описывается выражением:

$$Q = k\sqrt{\rho \cdot \Delta P}, \quad (10)$$

где k – коэффициент, практически не зависящий от давления;

ρ – плотность измеряемой среды.

Градуировочная характеристика описывается выражением:

$$Q = k\sqrt{\rho_0 \cdot \Delta P}. \quad (11)$$

Таким образом, поправочный коэффициент получаем делением статической характеристики расходомера на градуировочную характеристику:

$$k_{\Pi} = \frac{k\sqrt{\rho \cdot \Delta P}}{k\sqrt{\rho_0 \cdot \Delta P}} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}, \quad (12)$$

$$k_{\Pi} = \sqrt{\frac{74,186}{74,220}} = 0,99977.$$

Поправочный коэффициент на измерение массового расхода перегретого пара: $k_{\Pi} = 0,99977$.

Функциональная связь между плотностью воды ρ и влияющим параметром t следующая:

$$\rho = \rho_{\text{н}} \cdot [1 - \beta \cdot (t_{\text{н}} - t)], \quad (13)$$

где $\rho_H = 875 \text{ кг/м}^3$; $\beta = 0,0014$.

Плотность воды:

$$\rho = 875 \cdot [1 - 0,0014 \cdot (260 - 258)] = 872,55 \text{ кг/м}^3.$$

Поправочный коэффициент получаем делением статической характеристики расходомера на градуировочную характеристику по формуле (12):

$$k_{\Pi} = \frac{k\sqrt{\rho \cdot \Delta P}}{k\sqrt{\rho_H \cdot \Delta P}} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_H}} = \sqrt{\frac{872,55}{875}} = 0,9986.$$

Поправочный коэффициент на измерение массового расхода воды:
 $k_{\Pi} = 0,9986$.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Павлова Кристина Андреевна

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 207797 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 98540 руб; затраты на оборудование – 40000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды : для руководителя и исполнителя – 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциальных потребителей результатов исследования Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование научно-исследовательских работ; Определение трудоемкости работ; Построение диаграммы Ганта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности .

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT; 2. Диаграмма Ганта.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Павлова Кристина Андреевна		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности разработанной автоматической системы регулирования нагрузки парового котла с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

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

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

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В связи с тем, что разрабатываемая АСР рассчитана на конкретные параметры парового котла, то в данном случае потенциальным потребителем такой разработки является энергетическая промышленность, а именно: тепловые электростанции, имеющие в составе энергоблоки, параметры которых соответствуют параметрам разрабатываемой системы. К ним относятся энергоблоки, имеющие в составе котлоагрегаты п-образной компоновки, прямоточные с паропроизводительностью до 1000 т/ч. Такой энергоблок имеет в составе Новочеркасская ГРЭС, Ивановская ТЭЦ-3 и др.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [54].

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, обеспечивающие автоматическое регулирование нагрузки парового котла.

1. Регулирование тепловой нагрузки по соотношению «вода-тепло».

При таком способе регулирования регулятор питания является регулятором тепловой нагрузки – ведущим регулятором, а регулятор топлива – ведомым. Сигнал задания для регулятора питания (задания по нагрузке), формируется корректирующим регулятором давления, получающим сигнал по давлению перегретого пара перед турбиной. На регулятор топлива дополнительно поступают сигналы по скорости изменения расхода питательной воды, скорости изменения температуры газов в поворотной камере и температуры пара [55].

2. Регулирование тепловой нагрузки по соотношению «вода-тепло» с импульсом «по теплу».

В этом варианте регулятор питания является регулятором тепловой нагрузки, а регулятор топлива – ведомым регулятором. Для регулятора топлива сигналом задания служит импульс по расходу питательной воды, а сигналом отрицательной обратной связи – импульс «по теплу» [55].

3. Регулирование тепловой нагрузки по соотношению «тепло-вода».

При таком варианте регулирования регулятором тепловой нагрузки является регулятор топлива, получающий задание по нагрузке от корректирующего регулятора давления пара перед турбиной. На вход регулятора топлива в качестве отрицательной обратной связи поступает импульс «по теплу». Регулятор питания выполнен по схеме «тепло-вода» [55].

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 21. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 21, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 21 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Динамическая точность	0,2	5	4	2	1	0,8	0,4
2 Простота эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
3 Надежность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4 Качество регулирования	0,2	5	5	3	1	1	0,6
5 Простота наладки	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Цена	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
2 Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
3 Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	34	33	25	4,4	4,2	3,05

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (14)$$

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

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + \\ + 0,1 \cdot 3 + 0,02 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,4.$$

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что разработки под номерами 1 и 2 являются наиболее конкурентоспособными и выгодными. Такие разработки проще в наладке и эксплуатации, обеспечивают большее качество регулирования и динамическую точность в отличие от варианта под номером 3. Также они меньше по стоимости, так как включают меньшее количество ТСА.

В данной работе используется разработка под номером 2. Далее будем рассматривать только ее.

6.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта [54].

В данном разделе проведем SWOT-анализ выбранного проектного решения. Для этого необходимо описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта, которые появились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице Б.1 в приложении Б.

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

Основным достоинством такой системы является ориентированность на современный способ технологии сжигания, который в будущем будет активно использоваться в России также как и за рубежом. Система включает в себя современные компоненты, использует надежные ПЛК и обладает соответствующей точностью.

У системы также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с привязкой системы к конкретным параметрам объекта и потребность в высококвалифицированном персонале способным обеспечить

обслуживание данной системы. Выявленные недостатки возможно устранить путем проведения дальнейшей модернизации системы с использованием новых технологий.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

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

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
Выбор направления исследования	3	Выбор направления исследования	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель темы
Теоретические исследования	5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель
	6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель темы
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель темы
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель

Продолжение таблицы 22

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель
	11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР	12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [54]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (15)$$

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [54].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (16)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность

исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [54]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (17)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [54]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (18)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

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

Коэффициент календарности равен [54]:

$$k_{\text{кал}}^{\text{исп}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48 \approx 2,$$

$$k_{\text{кал}}^{\text{рук}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22 \approx 2.$$

В таблице В.1 приложения В указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [54].

Календарный план-график построен на основе таблицы В.1 приложения В с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) и представлен в таблице Г.1 в приложении Г.

6.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

6.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме [54]. Затраты на оборудование приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер	1	40 000	40 000
Итого			40 000

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.пк}} \cdot C_{\text{пк}}}{T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{сл}}}, \quad (19)$$

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{110 \cdot 40000}{365 \cdot 5} = 2411 \text{ руб./год.}$$

6.3.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [54].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [54]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (20)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [54]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (21)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [54]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (22)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня $M=11,1$ месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 24).

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника [54]:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (23)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2 (т.е. 15-20% от $Z_{тс}$); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад руководителя и исполнителя:

$$Z_m^{рук} = Z_{тс}^{рук} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.}$$

$$Z_m^{исп} = Z_{тс}^{исп} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 30160 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{дн}^{рук} = \frac{Z_m^{рук} \cdot M}{F_d} = \frac{58500 \cdot 10,1}{243} = 2431,5 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн}^{исп} = \frac{Z_m^{исп} \cdot M}{F_d} = \frac{30160 \cdot 11,07}{219} = 1524,5 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{осн}^{рук} = Z_{дн}^{рук} \cdot T_p = 2431,5 \cdot 8 = 19452 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн}^{исп} = Z_{дн}^{исп} \cdot T_p = 1524,5 \cdot 47 = 71651,5 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2431,5	8	19452

Продолжение таблицы 25

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Исполнитель	16000	0,3	0,15	1,3	30160	1524,5	47	71651,5
Итого $Z_{осн}$								91103,5

6.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [54].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [54]:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (24)$$

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

$$Z_{доп}^{рук} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{рук} = 0,12 \cdot 19452 = 2334,2 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп}^{исп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{исп} = 0,12 \cdot 71651,5 = 8598,2 \text{ руб.}$$

6.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [54].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [54]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (25)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году коэффициент отчислений составил 30%, для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность – 27,1%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и инженера:

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} + Z_{\text{доп}}^{\text{рук}}) = 0,3 \cdot (19452 + 2334,2) = 6535,9 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{исп}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{исп}} + Z_{\text{доп}}^{\text{исп}}) = 0,3 \cdot (71651,5 + 8598,2) = 24074,9 \text{ руб.}$$

7.3.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуг, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [54].

В данном случае к ним относятся печатные услуги, включающие в себя печать листов различного формата, в том числе чертежей, и брошюровка.

$$Z_{\text{конр}} = 800 \text{ руб.}$$

6.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [54]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (26)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [54].

Величина накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + A) \cdot k_{\text{нр}} =$$

$$= 91103,5 + 10932,4 + 30610,8 + 800 + 2411) \cdot 0,16 = 21737,2 \text{ руб.}$$

6.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [54].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1 Амортизационные отчисления	2411	Пункт 3.1
2 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91103,5	Пункт 3.2
3 Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10932,4	Пункт 3.3
4 Отчисления во внебюджетные фонды	30610,8	Пункт 3.4
5 Услуги сторонних организаций	800	Пункт 3.5
6 Накладные расходы	21737,2	Пункт 3.6
7 Бюджет затрат НИИ		157594,9 руб.

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

6.4.1 Определение ресурсоэффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом [54]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (27)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент; b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для проведения сравнительной оценки рассмотрим три варианта реализации автоматической системы регулирования, в каждой из которых используется разная схема регулирования паровой нагрузки котла:

- регулирование тепловой нагрузки по соотношению «вода-тепло» – исп. 1;
- регулирование тепловой нагрузки по соотношению «вода-тепло» с импульсом «по теплу» - исп. 2;
- регулирование тепловой нагрузки по соотношению «тепло-вода» – исп. 3.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 27.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп.3
1 Способствует росту производительности труда	0,05	5	5	5
2 Динамическая точность системы	0,2	5	5	3
3 Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	3
4 Надежность	0,2	4	4	4
5 Качество регулирования	0,2	5	5	3
6 Простота наладки	0,1	4	4	3
7 Срок эксплуатации	0,2	5	5	5
ИТОГО	1	4,65	4,65	3,7

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,65,$$

$$I_{p2} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,65,$$

$$I_{p3} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 3,7.$$

Показатели ресурсоэффективности для 1 и 2 вариантов исполнения проекта равны 4,65 из 5, что говорит об эффективности использования ресурсов. Для 1 и 2 вариантов исполнения используется меньшее количество оборудования, но точность и качество регулирования таких систем выше, кроме того обслуживать их проще.

Вывод по разделу

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

В первой части проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Определены потенциальные потребители данного проекта, проведен анализ конкурентных технических решений. С помощью SWOT-анализа выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Во второй части определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

В третьей части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнены расчеты затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В четвертой части определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели.

Анализируя полученные результаты можно оценить, сколько финансовых средств и времени потребуется на реализацию данного проекта и о том насколько проект будет востребован на рынке.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Павлова Кристина Андреевна

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

Тема ВКР:

Автоматическая система регулирования нагрузки пылеугольного котла с кипящим слоем	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: автоматическая система регулирования нагрузки парового котла. Область применения: теплоэнергетические установки.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы: повышенное значение напряжения в электрической цепи, повышенный уровень шума, электромагнитное излучение, пониженные или повышенные параметры микроклимата рабочей зоны, физические перегрузки, нервно-психические перегрузки. Опасные факторы: поражение электрическим током.</p>
<p>4. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выбросы дымовых газов, золы, углекислого газа, водяного пара. Гидросфера: тепловое загрязнение; загрязнение отходами технологически</p>

	циклов энергоустановок. Литосфера: образование золошлакоотвалов, загрязнение почвы частицами отходов.
5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожары, взрывы, разрывы трубопроводов, резервуаров, выброс горючих жидкостей, прорыв золоотвала, наводнение. Наиболее типичная ЧС: пожар, возгорание угольной пыли.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Павлова Кристина Андреевна		

7 Социальная ответственность

В выпускной квалификационной работе разработана автоматическая система регулирования нагрузки парового котла марки Пп-1000-24,5-565 АКТФ, которая позволит упростить работу оперативного персонала. АСР предназначена для использования на энергоблоке №9 Новочеркасской ГРЭС.

Главным отличием данного котлоагрегата от традиционных является наличие циркулирующего кипящего слоя. Такая технология сжигания на территории России используется сравнительно недавно и в настоящий момент применяется на единственном энергоблоке. Автоматизация процесса нагрузки паровых котлов, использующих современную технологию сжигания, является актуальной в области теплоэнергетики.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства

Согласно [56-57] работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;
- защиту своих трудовых прав, свобод и законных интересов всеми не запрещенными законом способами;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами;

– обеспечение средствами индивидуальной защиты и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

– внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

К работе инженером-оператором АСУ допускаются лица не моложе 18 лет, соответствующей квалификации, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие медицинское освидетельствование в соответствии с приказом [58], прошедшие проверку знаний требований безопасности труда в установленном порядке и получившие допуск к самостоятельной работе. Инженер-оператор АСУ должен иметь соответствующую группу по электробезопасности – III группа [59].

III группа по электробезопасности позволяет работнику производить отключения, переключения, выключения электрооборудования, выполнять работы в порядке текущей эксплуатации, наблюдать за безопасностью других членов бригады [60].

Инженер-оператор АСУ должен проходить обучение по охране труда в виде: вводного инструктажа, первичного инструктажа на рабочем месте и специального обучения в объеме программы подготовки по профессии [59].

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно [60] общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя:

1) конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы [60];

2) рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда [60].

Требования к взаимному расположению элементов рабочего места: пульта управления, средств отображения информации, органов управления, кресла, вспомогательного оборудования установлены в [60]:

Показатели микроклимата производственных помещений регламентированы в [62] и должны обеспечивать: температуру воздуха, температуры поверхностей, относительную влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

7.2 Производственная безопасность

7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для проведения анализа вредных и опасных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации АСР составлена таблица 28 в соответствии с классификацией указанной в [63].

Таблица 28 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1	2	3	4	5
1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [64].
2 Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [65].
3 Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [66].

Продолжение таблицы 28

1	2	3	4	5
4 Пониженные или повышенные параметры микроклимата рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [62].
5 Физические и нервно-психологические перегрузки	+	+	+	СанПиН 1.2.3.685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [67].

1) Повышенное значение напряжения в электрической цепи и возможность поражения электрическим током

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. При этом электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое воздействие на организм человека. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам [68]. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 29 [65].

Таблица 29 – Значения напряжений прикосновений и токов

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

2) Повышенный уровень шума

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во много обусловленная индивидуальными особенностями

человека [68]. Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблице 30 [66].

Таблица 30 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

3) Повышенный уровень электромагнитного излучения

Источниками электромагнитных излучений являются промышленные установки, средства теле- и радиовещания, внутренние электрические сети. Воздействие на живую ткань организма электромагнитного поля вызывает переменную поляризацию молекул и атомов, составляющих клетки, в результате чего происходит опасный их нагрев. Избыточная теплота может нанести вред отдельным органам и всему организму человека [69]. Допустимые уровни электромагнитных полей на рабочих местах персонала приведены в таблице 31 [67].

Таблица 31 – Предельно допустимые значения напряженностей электрического и магнитного полей

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

4) Параметры микроклимата рабочей зоны

Факторы микроклимата влияют на состояние здоровья человека, и на

его работоспособность. В частности, высокие температуры приводят к тепловым ударам, повышению давления, низкие – к простудным заболеваниям, переохлаждению. Все это может привести к профессиональным заболеваниям [71]. Категория работ для инженера-оператора АСУ – категория Іб. Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах для данной категории работ приведены в таблицах 32-33 [62].

Таблица 32 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах для категории работ Іб

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

Таблица 33 – Допускаемые величины показателей микроклимата на рабочих местах для категории работ Іб

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		ниже оптимальных величин	выше оптимальных величин			для температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Іб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	Іб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

5) Физические и нервно-психологические перегрузки

Нервно-психологические и физические перегрузки организма – перенапряжение органов чувств, стрессовые условия труда, перегрузки

статические и динамические и т.д. Наиболее простым считается труд, в ходе которого сотруднику не нужно принимать собственные решения. Чем выше уровень ответственности и больше инструкций, тем выше моральное напряжение [72]. Допустимые величины психофизиологических производственных факторов приведены в таблице 34 [63].

Таблица 34 – Допустимые величины психофизиологических производственных факторов по показателям тяжести и напряженности труда

Факторы трудового процесса	Допустимые	
	Мужчины	Женщины
1 Подъем и перемещение (разовое) тяжести при чередовании с другой работой (до 2 раз в час), кг	До 30	До 10
2 Подъем и перемещение (разовое) тяжести постоянно в течение рабочей смены, кг	До 15	До 7
3 Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены, кг:		
- с рабочей поверхности,	До 870	До 350
- с пола	До 435	До 175
4 Рабочая поза	Периодическое, до 25% времени смены, нахождение в неудобной (работа с поворотом туловища, поднятыми руками, неудобным размещением конечностей) и (или) фиксированной позе (невозможность изменения взаимного положения тела относительно друг друга)	
5 Наклоны корпуса (вынужденные более 30 град.), количество за смену	51-100	
6 Перемещения в пространстве, обусловленные технологически процессом, км	До 8	
7 Монотонность нагрузок		
7.1 Число элементов или повторяющихся операций	От 9 до 6	
8 Сенсорные нагрузки		
8.1 Длительность сосредоточенного наблюдения (процент от времени смены)	От 26 до 50	
8.2 Плотность сигналов (световых, звуковых) в среднем за час работы	От 76 до 125	
8.3 Число объектов наблюдения	От 6 до 10	

7.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Для снижения воздействия повышенного напряжения в электрических цепях применяют мероприятия по снижению этого напряжения, т.е. применение токов пониженного напряжения.

При повышенном уровне шума применяют звукоизолирующие кожухи или обеспечение рабочего персонала средствами индивидуальной защиты органов слуха.

Для снижения воздействия электромагнитных полей необходимо соблюдать расстояние от источников электромагнитных полей до рабочего персонала.

Чтобы избежать психофизиологических перегрузок рекомендуется делать перерывы в течение трудовой деятельности по 30 минут через каждые 2 часа.

7.3 Экологическая безопасность

1) Защита атмосферы

В процессе эксплуатации парового котла происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара.

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для очистки дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая очистка.

2) Защита гидросферы

Для производства пара паровой котел использует воду из близлежащих водоемов. Перед тем как сбросить воду обратно в водоем ее остужают и очищают. Для очистки сточных вод используют механическую очистку, физико-химическую очистку, химическую очистку, биохимическую.

3) Защита литосферы

Твердые частицы, содержащиеся в дымовых газах, осаждаются на поверхности земли и загрязняют почву. Еще одним источником загрязнения являются зола и шлак, образующиеся в процессе сгорания топлива, которые далее складываются в золошлакоотвалах. Золошлакоотвалы загрязняют не только поверхность почвы. Твердые частицы через почву попадают в грунтовые воды, а также попадают в атмосферу.

Для предотвращения такого опасного источника загрязнения необходима своевременная утилизация золошлаковых отходов.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные чрезвычайные ситуации, которые могут произойти на данном объекте: пожары, взрывы, разрывы трубопроводов, резервуаров, выброс горючих жидкостей, прорыв золоотвала, наводнение.

Одна из самых типичных чрезвычайных ситуаций – это пожар.

Машинный зал – самое распространенное место начала возгорания на предприятиях ТЭС. Возгорание может произойти в маслосистемах. Опасность маслосистем заключается в том, что они находятся вблизи с турбинами и другими нагревающимися агрегатами [73].

Если при пожаре повреждается трубопровод систем смазки, тогда масло выходит под давлением и формирует факел, который разрушает металлические конструкции поблизости [73]. Еще одним местом возгорания может стать котельный цех. В котельном цехе хранится много взрывоопасного топлива. Часто пожары здесь происходят из-за проблем с топливоподачей [73].

Согласно перечню, указанному в [74], в помещениях ТЭС необходимо устанавливать автоматические установки пожаротушения и автоматические установки пожарной сигнализации.

Своевременно принятые меры пожарной безопасности могут предупредить возгорание и не допустить поломок в системе оборудования [73]:

- персонал предприятия должен проходить тренировочные учения для того чтобы знать как действовать в ЧС;
- в обязанности дежурного по смене входит осмотр оборудования в конце каждого рабочего дня. При обнаружении поломок их устраняют в кратчайшие сроки;
- приборы под напряжением и легковоспламеняющиеся вещества необходимо размещать вдали от источника огня;
- ТЭЦ должна быть оснащена автоматической системой пожарной безопасности, а также датчиками задымления;

В случае возникновения пожара сотрудники предприятия должны предпринять следующую последовательность действий:

- 1) сотрудник, заметивший воспламенение, должен незамедлительно сообщить о пожаре главному по смене;
- 2) начальник по смене доносит информацию до пожарной службы;
- 3) до прибытия спасателей весь персонал, не задействованный в тушении, удаляется с объекта возгорания;
- 4) электричество во всем здании должно быть отключено, а также прекращены все работы до начала тушения;
- 5) при поломках в автоматической системе пожаротушения необходимо включить ее вручную;
- 6) ответственный персонал должен приступить к тушению воспламенения с помощью первичных средств пожаротушения;
- 7) главный по смене выделяет сотрудников, которые встретят пожарные бригады и укажут им кратчайший путь к очагу возгоранию.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что соблюдая определенные нормы и правила, возможно наладить стабильное производство не подвергая опасности окружающую среду и персонал.

Раздел направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий как на окружающую среду, так и на производственный персонал, а также способы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций и порядок действий при их возникновении.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы проведен анализ публикаций, посвященных использованию котлоагрегатов с ЦКС, сравнение характеристик их работы с традиционными котлоагрегатами.

В качестве объекта автоматизации выбран паровой котел марки Пп-1000-24,5-565 АКТФ установленный на энергоблоке №9 Новочеркасской ГРЭС. Для выбранного объекта автоматизации разработана автоматическая система регулирования нагрузки парового котла.

В ходе разработки АСР выбрана структура регулирования нагрузки и представлена проектная документация, которая включает в себя:

- структурную схему;
- функциональную схему;
- принципиальную электрическую схему;
- монтажную схему;
- общий вид щита автоматизации.

Для данной системы осуществлен подбор технических средств автоматизации.

Проведен расчет сужающих устройств, используемых для измерения расхода, выполнена коррекция результатов измерений расходов перегретого пара и питательной воды.

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведена оценка коммерческой ценности разработанной АСР с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Список используемых источников

- 1 Алексенцев В.А. Сжигание твердого топлива в циркулирующем кипящем слое / Алексенцев В.А., Гармонов К.В. // Инженерные системы и сооружения. – 2009. – №1. – С. 188-196.
- 2 Рябов Г.А. Научное обоснование использования технологии сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое: доктор технических наук. – Москва, 2016. – С. 48.
- 3 Инженерная экология: защита литосферы от твердых промышленных и бытовых отходов / Луканин А.В. – Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2018. – С. 556.
- 4 Рябов Г.А. Использование на ТЭЦ технологии циркулирующего кипящего слоя при совместном сжигании биомассы и ископаемых топлив / Рябов Г.А., Долгушин И.А. // Электрические станции. – 2012. – №10. – С. 4-9.
- 5 Рябов Г.А. Использование технологии сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое / Рябов Г.А., Антоненко Е.В., Крутицкий И.В., Фоломеев О.М. // Электрические станции. – 2018. – №3. – С. 11-17.
- 6 Рохман Б.Б. Топка с циркулирующим кипящим слоем для сжигания антрацитового штыба и термоконтатный пиролиз угля // Теплоэнергетика. – 2007. – №9. – С. 40-45.
- 7 Properties of circulating fluidized beds (CFB) relevant to combustion and gasification systems. J.R. Grace, C.J. Lim, in Fluidized Bed Technologies for Near-Zero Emission Combustion and Gasification, 2013.
- 8 Circulating fluidized bed combustion (CFBC). W. Nowak, P. Mirek, in Fluidized Bed Technologies for Near-Zero Emission Combustion and Gasification, 2013.
- 9 Fluidized-Bed Combustion Boilers. Dipak K. Sarkar, in Thermal Power Plant, 2015.
- 10 Крутицкий И.В. Первые результаты эксплуатации энергоблока 330 МВт с котлом с циркулирующим кипящим слоем Пп-1000-24,5-565-

АКТФ / Крутицкий И.В., Волков А.Н., Черняев С.П., Антоненко Е.В., Рябов Г.А. // Энергетик. – 2017. – №12. – 5-10 с.

11 Майстренко А.Ю. Опыт внедрения технологии сжигания твердого топлива в циркулирующем кипящем слое в энергетику Украины / Майстренко А.Ю., Топал А.И., Лаварько А.В. // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – 2012. – №3. – С. 84-90.

12 Рябов Г.А. Современное состояние технологии сжигания топлив в циркулирующем кипящем слое и проблемы эксплуатации котлов с ЦКС // Новое в Российской электроэнергетике. – 2017. – №3. – С. 21-33.

13 Белый Г.В., Иванов В.И., Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Смирнов И.Х., Топал А.И., Шевченко В.А. Реализация технологии сжигания высокозольного антрацита и отходов его обогащения в циркулирующем кипящем слое на энергоблоке №4 (210 МВт) Старобешевской ТЭС// Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – №6. – С. 3-11.

14 Рябов Г.А. Опыт эксплуатации котлов с ЦКС в Китае / Рябов Г.А., Ханеев К.В. // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – 2012. – №3. – С. 22-30.

15 L. Cheng, J. Zhang, Z. Luo and K. Cen, Problems with circulating fluidized bed (CFB) boilers in China and their solutions, VGB PowerTech, 10, 2011, pp. 60-69.

16 The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation, Bridgwater, A.V., 1995, The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation, Fuel, 74, (5), 631–653.

17 Плешанов К.А. Сжигание кородревесных отходов в котле с кипящим слоем / Плешанов К.А., Ионкин И.Л., Росляков П.В, Маслов Р.С., Рагуткин А.В. // Теплоэнергетика. – 2016. – №11. – С. 62-67.

18 Гусева С.А. Использование отходов лесоперерабатывающей промышленности как источник энергии / Гусева С.А., Горбунова Л.Н., Запрудский А.Н. // Электроэнергетика и информационные технологии. – 2016. – С. 59-65.

- 19 Елсуков К.В. Анализ технологии утилизации отходов // Труды Братского государственного университета. – 2009. – Т.2. – С. 52-56.
- 20 Козлов. Е.А. Утилизация отходов в топках с кипящим слоем // Образование. Наука. Производство (Белгород, 01-10 октября 2017 года) – Белгород, 2017. – С. 2360-2362.
- 21 Мунц В.А. Образование и восстановление оксидов азота при сжигании разных видов топлива в циркулирующем кипящем слое / Мунц В.А., Мунц Ю.Г., Баскаков А.П., Прошин А.С. // Теплоэнергетика. – 2013. – №11. – С. 21.
- 22 Optimization of Fluidization State of a Circulating Fluidized Bed Boiler for Economical Operation. Xuemin Liu, Hairui Yang and Junfu Lyu. China Special Equipment Inspection and Research, 2020.
- 23 Leski K., Luty P., Lucki A., Jankowski D., Application of circulating fluidized bed boilers in the fuel combustion proces, Technical Transactions, Vol. 4/2018, pp. 83–96.
- 24 Шевцова А.А., Кокотова А.А., Кулагина Л.В. Снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании твердого топлива в котлах с кипящим слоем // Перспективы развития научных исследований в 21 веке (Махачкала, 31 октября 2013 года) – Махачкала, 2013. – С. 82-87.
- 25 Худякова А.Ю., Буденный А.П. Снижение негативного воздействия тепловых электростанций на окружающую среду // Техносфера XXI века (Севастополь, 18-21 сентября 2018 года) – Севастополь, 2018. – С. 45-47.
- 26 Применение котлов с ЦКС для сжигания сланцев в Эстонской Республике / Пайст А. [и др.] // Электрические станции. – 2006. – №2. – С. 8-11.
- 27 Кан В.В. Проблемные этапы в технологии проектирования реконструкции пылеугольных котлов для перевода на сжигание в циркулирующем кипящем слое. // Форум молодых ученых. – 2017. – №6. – С. 875-879.

28 Рябов Г.А. Современное состояние технологии сжигания топлив в циркулирующем кипящем слое и проблемы эксплуатации котлов с ЦКС // Новое в российской энергетике. – 2017. – №3. – С. 21-33.

29 Ноздренко Г.В. Исследование эффективности применения технологии циркулирующего кипящего слоя на ТЭС / Ноздренко Г.В., Русских Е.Е. // Научный вестник НГТУ. – 2007. – №1. – С. 173-182.

30 Тумановский А.Г. Перспективы развития угольных ТЭС России // Теплоэнергетика. – 2017. – №6. – С. 3-13.

31 Пузырев Е.М. Перспективы и возможность промышленного освоения ЦКС технологии сжигания топлива / Пузырев Е.М., Саломатов В.В. // Ползуновский вестник. – 2019. – №1. – С. 132-136.

32 Назаров И.С., Шарков Н.В., Жуков Е.Б. Кипящий слой как перспективное направление в котлостроении // Наука. Технологии. Инновации (Новосибирск, 02-06 декабря 2019 года) – Новосибирск, 2019. – С. 270-277.

33 Скопцов Ю.В. Выбор перспективных модификаций технологии циркулирующего кипящего слоя при реконструкции котельных агрегатов / Скопцов Ю.В., Тувальбаев Б.Г. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – №4. – С. 62-64.

34 Цибульский С.А., Галашов Н.Н. Обзор и анализ перспективных технологий сжигания угля и снижения выбросов вредных веществ в атмосферу // Прогрессивные технологии и процессы (Курск, 25-26 сентября 2014 года) – Курск, 2014. – С. 243-247.

35 ПАО «ОГК-2» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ogk2.ru/rus/branch/novocherkgres/>, свободный. – Загл. с экрана.

36 Повышение экологической безопасности тепловых электростанций / Абрамов А.И., Елизаров Д.П., Ремезов А.Н., Седлов А.С., Стерман Л.С., Шищенко В.В. // Глебов В.П., Воронов В.Н. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 378 с.

37 Автоматическое регулирование прямоточных парогенераторов.

Прямоточный парогенератор как объект регулирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studme.org/>, свободный. – Загл. с экрана.

38 Плетнев Г. П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций / Плетнев Г.П. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.

39 Преобразователь давления измерительный 3051S. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mtn.nt-rt.ru/images/manuals/Metran_150.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

40 Датчик давления АИР-10Н. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elemer.ru/upload/iblock/e68/air_10h.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

41 Преобразователи давления измерительные АИР-20/М2-Н. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elemer.ru/upload/iblock/36d/order_air_20h.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

42 Siemens S7-300 Программируемый контроллер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

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

44 Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

45 Однооборотные электроприводы с интеллектуальным блоком КИМ2. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zeim.ru/production/meo/kim2/>, свободный. – Загл. с экрана.

46 Электроприводы серии ИРБИ8. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.irbis-privod.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

47 Электроприводы пылепитателей и питателей сырого угля котлов ТЭЦ серии ИРБИ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.irbis-privod.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

48 Пускатели бесконтактные реверсивные ПБР ЗИ. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zeim.ru/production/docs/d/13440.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

49 Серия Микро-СТАРТ-Р – пускатели бесконтактные реверсивные на DIN-рейку. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bitek-e.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

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

51 Волощенко А.В., Медведев В.В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120.

52 ГОСТ 8.586.1-2005 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования (с Поправкой). – М.: Стандартинформ, 2007. – 41 с.

53 Автоматизация технологических процессов на ТЭС / Андык В.С. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 96 с.

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

55 Автоматическое регулирование прямоточных парогенераторов. Прямоточный парогенератор как объект регулирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studme.org/>, свободный. –

Загл. с экрана.

56 КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

57 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studbooks.net/>, свободный. – Загл. с экрана.

58 КонсультантПлюс. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России N1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

59 Пожарная безопасность. Инструкция по охране труда для инженера АСУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fire-declaration.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

60 ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.

61 ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.

62 ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.

63 ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.

64 ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

65 ТЕХЭСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278>, свободный. – Загл. с экрана.

66 ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200272>, свободный. – Загл. с экрана.

67 ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

68 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, которое может воздействовать на человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuzlit.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

69 Воздействие производственного шума на организм рабочих. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rospotrebnadzor.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

70 Повышенный уровень электромагнитных излучений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kazedu.kz/>, свободный. – Загл. с экрана.

71 Микроклимат на рабочем месте: от каких параметров он зависит, категории, оптимальные значения для разных объектов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mir-klimata.info/>, свободный. – Загл. с экрана.

72 Опасные и вредные производственные факторы и их классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lab-ecostar.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

73 Пожар на ТЭЦ: причины и последствия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opozhare.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

74 ТЕХЭСПЕРТ. Приказ от 18 июня 2003 года N 315. Об утверждении норм пожарной безопасности «Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901866575>, свободный. – Загл. с экрана.

Приложение А

(обязательное)

Расчет сужающих устройств

1 Расчет сужающего устройства для измерения расхода питательной воды

1.2 Исходные данные:

- расходомерное сопло FLC-FN-PIP-116-29;
- измеряемая среда: питательная вода;
- температура измеряемой среды: $t_1 = 280$ °С;
- избыточное давление перед сужающим устройством: $P_{1и} = 29$ МПа;
- внутренний диаметр трубопровода: $D_{20} = 201$ мм;
- верхний предел измерения измерительного прибора: $Q_{вп} = 1200$ т/ч;
- материал трубопровода – сталь 15ГС;
- материал СУ – сталь 15ГС.

1.3 Определение недостающих параметров

Расчет сужающих устройств проводим по методике, изложенной в [51].

Абсолютное давление воды перед СУ:

$$P_1 = P_{1и} + P_a, \quad (\text{A.1})$$

где P_a – атмосферное давление, МПа.

$$P_1 = 29 \text{ МПа} + 0,1 \text{ МПа} = 29,1 \text{ МПа}.$$

Плотность воды в рабочих условиях при P_1 и t_1 :

$$\rho = 782,26 \text{ кг/м}^3.$$

Динамическая вязкость воды в рабочих условиях при P_1 и t_1 :

$$\mu = 19,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Внутренний диаметр трубопровода при температуре t_1 [52]:

$$D = D_{20} \cdot (1 + \alpha_t \cdot (t_1 - 20)), \quad (\text{A.2})$$

где D_{20} – внутренний диаметр трубопровода при рабочей температуре 20 °С, мм;

α_t – коэффициент линейного расширения материала трубопровода, $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Значение коэффициента линейного расширения материала трубопровода найдём из приложения Г в [52]:

$$\alpha_{t_1} = 10^{-6} \cdot \left[\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \left(\frac{t_1}{1000} \right) + \alpha_2 \cdot \left(\frac{t_1}{1000} \right)^2 \right], \quad (\text{A.3})$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – постоянные коэффициенты, определяемые в соответствии с таблицей А.1.

Таблица А.1 – Значения постоянных коэффициентов, в зависимости от марки стали [52]

Марка стали	Значения постоянных коэффициентов			Границы области применения формулы	
	α_0	α_1	α_2	t_{min}	t_{max}
15ГС	9,903	20,561	-15,675	-40	600

По формуле (А.3) значение коэффициента линейного расширения равно:

$$\alpha_{t_1} = 10^{-6} \cdot \left[9,903 + 20,561 \cdot \left(\frac{280}{1000} \right) - 15,675 \cdot \left(\frac{280}{1000} \right)^2 \right] = 14,43 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1};$$

По формуле (А.2) внутренний диаметр трубопровода при температуре t_1 равно:

$$D = 201 \cdot (1 + 14,43 \cdot 10^{-6} \cdot (280 - 20)) = 201,75 \text{ мм.}$$

1.4 Определение номинального перепада давления

Вспомогательная величина C определяется по формуле:

$$C = \frac{Q_{вп} \cdot 1000}{1,25 \cdot 10^{-2} \cdot D^2 \cdot \sqrt{\rho}}, \quad (\text{A.4})$$

$$C = \frac{1200 \cdot 1000}{1,25 \cdot 10^{-2} \cdot 201,75^2 \cdot \sqrt{782,26}} = 84,958.$$

По величине C и $m = 0,2$ найдём значение ΔP_H , используя номограммы (приложение 7, [51]) для определения предельного номинального перепада давления дифманометра и m-сопел.

$$\Delta P_H = 6,3 \text{ кгс/см}^2.$$

$$m_1 = 0,328.$$

1.5 Определение числа Рейнольдса

Значение верхнего предела измерения расходомера $Q_{вп}$ должно быть ближайшим большим по отношению к значению Q_{max} или равным ему.

Следовательно, примем:

$$Q_{max} = Q_{вп} = 1200 \text{ т/ч.}$$

Нижний предел измерения расходомера, следовательно, и минимальный измеряемый расход должен составлять не менее 30 % от верхнего предела измерения, т.е. $Q_{min} \geq Q_{нп} \geq 0,3 \cdot Q_{вп}$.

Примем:

$$Q_{min} = Q_{нп} = 0,3 \cdot Q_{вп}, \quad (\text{A.5})$$

$$Q_{min} = 0,3 \cdot 1200 \text{ т/ч} = 360 \text{ т/ч.}$$

Число Рейнольдса, соответствующее верхнему измеряемому массовому расходу при измерении μ в Па · с:

$$Re_1 = 0,354 \cdot \frac{Q_{вп} \cdot 1000}{D \cdot \mu}, \quad (\text{A.6})$$

$$Re_1 = 0,354 \cdot \frac{1200 \cdot 1000}{201,75 \cdot 19,1 \cdot 10^{-6}} = 11,04 \cdot 10^7.$$

Число Рейнольдса, соответствующее минимальному измеряемому массовому расходу при измерении μ в Па · с:

$$Re_2 = 0,354 \cdot \frac{Q_{min} \cdot 1000}{D \cdot \mu}, \quad (\text{A.7})$$

$$Re_2 = 0,354 \cdot \frac{360 \cdot 1100}{201,75 \cdot 19,1 \cdot 10^{-6}} = 3,31 \cdot 10^7.$$

1.6 Определение параметров сужающего устройства

Вспомогательная величина $(m \cdot \alpha)_1$ для практической системы единиц:

$$(m \cdot \alpha)_1 = \frac{c}{\sqrt{\Delta P_H}}, \quad (\text{A.8})$$

$$(m \cdot \alpha)_1 = \frac{84,958}{\sqrt{63000 \text{ кгс/м}^2}} = 0,3385.$$

Так как $m > 0,27$, то поправочный множитель на шероховатость для сопел K_{III} определяется как:

$$K_{III} = (1,002 - 0,0318 \cdot m + 0,0907 \cdot m^2) - (0,0062 - 0,1017 \cdot m + 0,2972 \cdot m^2) \cdot \frac{D}{10^3}, \quad (A.9)$$

$$K_{III} = (1,002 - 0,0318 \cdot 0,328 + 0,0907 \cdot 0,328^2) - (0,0062 - 0,1017 \cdot 0,328 + 0,2972 \cdot 0,328^2) \cdot \frac{201,75}{10^3} = 1,0004.$$

Коэффициент расхода сопла определяют по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{K_{III}}{\sqrt{1 - m^2}} \cdot \left(0,99 - 0,2262 \cdot m^{2,05} + (0,000215 - 0,001125 \cdot m^{0,5} + 0,00249 \cdot m^{2,35}) \cdot \left(\frac{10^6}{Re} \right)^{1,15} \right), \quad (A.10)$$

$$a_1 = \frac{1,0004}{\sqrt{1 - 0,328^2}} \cdot \left[0,99 - 0,2262 \cdot 0,328^{2,05} + (0,000215 - 0,001125 \cdot 0,328^{0,5} + 0,00249 \cdot 0,328^{2,35}) \cdot \left(\frac{10^6}{11,04 \cdot 10^7} \right)^{1,15} \right] = 1,024.$$

Вспомогательная величина F , для жидкости, определяется по формуле:

$$F_1 = m_1 \cdot a_1, \quad (A.11)$$

$$F_1 = 0,328 \cdot 1,024 = 0,3359.$$

Относительное отклонение:

$$\delta_1 = \left(\frac{F_1}{(m \cdot a)_1} - 1 \right) \cdot 100 \%, \quad (A.12)$$

$$\delta_1 = \left(\frac{0,3359}{0,3385} - 1 \right) \cdot 100 \% = -0,77 \%.$$

По m определим расчётный диаметр отверстия СУ:

$$d_{20} = \frac{D}{K'_t} \cdot \sqrt{m}, \quad (A.13)$$

где K'_t - коэффициент коррекции расхода из-за расширения материала СУ.

Коэффициент коррекции расхода из-за расширения материала СУ определим по формуле:

$$K'_t = 1 + \alpha'_t \cdot (t_1 - 20), \quad (\text{A.14})$$

где α'_t – средний коэффициент линейного расширения материала СУ в интервале температур от 20 °С до t_1 °С, °С⁻¹.

α'_t для стали марки 15ГС при температуре $t_{\text{ср}} = 280$ °С (таблица 26, [51]):

$$\alpha'_t = 15,30 \cdot 10^{-6} \text{ °С}^{-1}.$$

Тогда по формуле (A.14) коэффициент коррекции расхода равен:

$$K'_t = 1 + 15,30 \cdot 10^{-6} \cdot (280 - 20) = 1,004.$$

По формуле (A.13) расчетный диаметр отверстия СУ равен:

$$d_{20} = \frac{201,75}{1,004} \cdot \sqrt{0,328} = 115,1 \text{ мм.}$$

1.7 Проверка расчета

Расход, соответствующий наибольшему $\Delta P_{\text{н}}$ равен:

$$Q'_{\text{МВП}} = 3,9986 \cdot 10^{-3} \cdot a_1 \cdot (K'_t \cdot d_{20})^2 \cdot \sqrt{(\Delta P_{\text{н}} \cdot 9,80665) \cdot \rho}, \quad (\text{A.15})$$

где $9,80665 \frac{\text{Н}}{\text{кгс}}$ – коэффициент перевода $\frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$ в Па.

$$Q'_{\text{МВП}} = 3,9986 \cdot 10^{-3} \cdot 1,024 \cdot (1,004 \cdot 115,1)^2 \cdot \sqrt{(63000 \cdot 9,80665) \cdot 782,26} = 1201773,2 \text{ кг/ч.}$$

Относительная погрешность расчёта расхода равна:

$$\delta Q = \frac{\frac{Q'_{\text{МВП}}}{1000} - Q_{\text{ВП}}}{Q_{\text{ВП}}} \cdot 100 \%, \quad (\text{A.16})$$

$$\delta Q = \frac{\frac{1201773,2}{1000} - 1200}{1200} \cdot 100 \% = 0,15 \%.$$

Условие $|\delta Q| < 0,2 \%$ удовлетворяется, следовательно, расчёт выполнен правильно.

2 Расчет сужающего устройства для измерения расхода перегретого пара

2.1 Исходные данные:

- расходомерное сопло FLC-FN-PIP-178-24,5;
- измеряемая среда – пар;
- температура измеряемой среды: $t_1 = 565$ °С;
- избыточное давление перед сужающим устройством: $P_{1и} = 24,5$ МПа;
- внутренний диаметр трубопровода: $D_{20} = 205$ мм;
- верхний предел измерения измерительного прибора: $Q_{вп} = 1100$ т/ч;
- материал трубопровода – сталь 12Х1МФ;
- материал СУ – сталь 12Х1МФ.

2.2 Определение недостающих параметров

Расчет выполнен по методике, представленной в [51].

Абсолютное давление воды перед СУ по формуле (А.1):

$$P_1 = P_{1и} + P_a = 24,5 \text{ МПа} + 0,1 \text{ МПа} = 24,6 \text{ МПа}.$$

Плотность пара в рабочих условиях при P_1 и t_1 :

$$\rho = 74,485 \text{ кг/м}^3.$$

Динамическая вязкость пара в рабочих условиях при P_1 и t_1 :

$$\mu = 31,28 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Показатели адиабаты при P_1 и t_1 :

$$\chi = 1,29.$$

Внутренний диаметр трубопровода при температуре t_1 [52] по формуле (А.2):

$$D = D_{20} \cdot (1 + \alpha_t \cdot (t_1 - 20)).$$

Значение коэффициента линейного расширения материала трубопровода найдём из приложения Г в [57] по формуле (А.3)

$$\alpha_{t_1} = 10^{-6} \cdot \left[\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \left(\frac{t_1}{1000} \right) + \alpha_2 \cdot \left(\frac{t_1}{1000} \right)^2 \right],$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – постоянные коэффициенты, определяемые в соответствии с таблицей А.2.

Таблица А.2 – Значения постоянных коэффициентов, в зависимости от марки стали [52]

Марка стали	Значения постоянных коэффициентов			Границы области применения формулы	
	α_0	α_1	α_2	t_{min}	t_{min}
12X1МФ	10,000	9,600	-6,000	-200	700

$$\alpha_{t_1} = 10^{-6} \cdot \left[10,000 + 9,600 \cdot \left(\frac{565}{1000} \right) - 6,000 \cdot \left(\frac{565}{1000} \right)^2 \right] =$$

$$= 13,51 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1};$$

$$D = 205 \cdot (1 + 13,509 \cdot 10^{-6} \cdot (565 - 20)) = 206,51 \text{ мм.}$$

2.3 Определение номинального перепада давления

Вспомогательная величина C определяется по формуле (А.4):

$$C = \frac{Q_{\text{вп}} \cdot 1000}{1,25 \cdot 10^{-2} \cdot D^2 \cdot \sqrt{\rho}} = \frac{1100 \cdot 1000}{1,25 \cdot 10^{-2} \cdot 206,51^2 \cdot \sqrt{74,485}} = 239,1.$$

По величине C и $m = 0,2$ найдём значение $\Delta P_{\text{н}}$, используя номограммы (приложение 7, [51]) для определения предельного номинального перепада давления дифманометра и m-сопел.

$$\Delta P_{\text{н}} = 6,3 \text{ кгс/см}^2.$$

$$m_1 = 0,75.$$

2.4 Определение числа Рейнольдса

Значение верхнего предела измерения расходомера $Q_{\text{вп}}$ должно быть ближайшим большим по отношению к значению Q_{max} или равным ему. Следовательно, примем:

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{вп}} = 1100 \text{ т/ч.}$$

Нижний предел измерения расходомера, следовательно, и минимальный измеряемый расход должен составлять не менее 30 % от верхнего предела измерения, т.е. $Q_{\text{min}} \geq Q_{\text{нп}} \geq 0,3 \cdot Q_{\text{вп}}$.

Примем:

$$Q_{\text{min}} = Q_{\text{нп}} = 0,3 \cdot Q_{\text{вп}} = 0,3 \cdot 1100 \text{ т/ч} = 330 \text{ т/ч.}$$

Число Рейнольдса, соответствующее верхнему измеряемому массовому расходу при измерении μ в Па · с определяется по формуле (А.6):

$$Re_1 = 0,354 \cdot \frac{Q_{\text{вп}} \cdot 1000}{D \cdot \mu} = 0,354 \cdot \frac{1100 \cdot 1000}{206,51 \cdot 31,28 \cdot 10^{-6}} = 6,03 \cdot 10^7.$$

Число Рейнольдса, соответствующее минимальному измеряемому массовому расходу при измерении μ в Па · с определяется по формуле (А.7):

$$Re_2 = 0,354 \cdot \frac{Q_{\text{min}} \cdot 1000}{D \cdot \mu} = 0,354 \cdot \frac{330 \cdot 1000}{206,51 \cdot 31,28 \cdot 10^{-6}} = 1,81 \cdot 10^7.$$

2.5 Определение параметров сужающего устройства

Вспомогательная величина ψ определяется по формуле:

$$\psi = 1 - \frac{\Delta P_{\text{н}}}{P_1}, \quad (\text{А.17})$$

$$\psi = 1 - \frac{0,6178}{24,6} = 0,975.$$

Коэффициент расширения пара для сопла рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_1 = \left[\frac{(1-m^2) \left(\frac{\chi}{\chi-1} \right)^{\frac{2}{\chi}}}{1-m^2 \cdot \psi^{\frac{2}{\chi}}} \cdot \psi^{\frac{2}{\chi}} \cdot \frac{1-\psi^{\frac{\chi-1}{\chi}}}{\Delta P_{\text{н}}/P_1} \right]^{0,5}, \quad (\text{А.18})$$

$$\varepsilon_1 = \left[\frac{(1-0,75^2) \left(\frac{1,29}{1,29-1} \right)^{\frac{2}{1,29}}}{1-0,75^2 \cdot 0,975^{\frac{2}{1,29}}} \cdot 0,975^{\frac{2}{1,29}} \cdot \frac{1-0,975^{\frac{1,29-1}{1,29}}}{0,6178/24,6} \right]^{0,5} = 0,962.$$

Так как $m > 0,27$, то поправочный множитель на шероховатость для сопел $K_{\text{ш}}$ определяется по формуле (А.9):

$$K_{\text{ш}} = (1,002 - 0,0318 \cdot m + 0,0907 \cdot m^2) - (0,0062 - 0,1017 \cdot m + 0,2972 \cdot m^2) \cdot \frac{D}{10^3},$$

$$K_{\text{ш}} = (1,002 - 0,0318 \cdot 0,75 + 0,0907 \cdot 0,75^2) -$$

$$-(0,0062 - 0,1017 \cdot 0,75 + 0,2972 \cdot 0,75^2) \cdot \frac{206,51}{10^3} = 1,009.$$

Вспомогательная величина $(m \cdot \alpha)_1$ для практической системы единиц определяется по формуле:

$$(m \cdot \alpha)_1 = \frac{c}{\varepsilon_1 \cdot \sqrt{\Delta P_{\text{н}}}}, \quad (\text{А.19})$$

$$(m \cdot \alpha)_1 = \frac{239,1}{0,962 \cdot \sqrt{63000 \text{ кгс/м}^2}} = 0,991.$$

Коэффициент расхода сопла определяют по формуле (А.10):

$$\alpha_1 = \frac{K_{\text{ш}}}{\sqrt{1 - m^2}}.$$

$$\cdot \left(0,99 - 0,2262 \cdot m^{2,05} + (0,000215 - 0,001125 \cdot m^{0,5} + 0,00249 \cdot m^{2,35}) \cdot \left(\frac{10^6}{Re} \right)^{1,15} \right),$$

$$a_1 = \frac{1,008}{\sqrt{1 - 0,726^2}}.$$

$$\cdot [0,99 - 0,2262 \cdot 0,75^{2,05} + (0,000215 - 0,001125 \cdot 0,75^{0,5} + 0,00249 \cdot 0,75^{2,35}) \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{10^6}{5,48 \cdot 10^7} \right)^{1,15}] = 1,319.$$

Вспомогательная величина F , для пара, определяется по формуле:

$$F_1 = \varepsilon_1 \cdot m_1 \cdot a_1, \quad (\text{A.20})$$

$$F_1 = 0,962 \cdot 0,75 \cdot 1,319 = 0,951.$$

Относительное отклонение определяется по формуле (А.12):

$$\delta_1 = \left(\frac{F_1}{(m \cdot \alpha)_1} - 1 \right) \cdot 100 \% = \left(\frac{0,951}{0,991} - 1 \right) \cdot 100 \% = -3,95\%.$$

По m определим расчётный диаметр отверстия СУ определяется по формуле (А.13):

$$d_{20} = \frac{D}{K'_t} \cdot \sqrt{m};$$

Коэффициент коррекции расхода из-за расширения материала СУ определим по формуле (А.14):

$$K'_t = 1 + \alpha'_t \cdot (t_1 - 20),$$

где α'_t – средний коэффициент линейного расширения материала СУ в интервале температур от 20 °С до t_1 °С, °С⁻¹.

α'_t для стали марки 12Х1МФ при температуре $t_{\text{ср}} = 565$ °С (таблица 26, [51]):

$$\alpha'_t = 13,65 \cdot 10^{-6} \text{ °С}^{-1}.$$

Тогда:

$$K'_t = 1 + 13,65 \cdot 10^{-6} \cdot (565 - 20) = 1,007;$$

$$d_{20} = \frac{206,51}{1,007} \cdot \sqrt{0,726} = 177,5 \text{ мм.}$$

2.6 Проверка расчета

Расход, соответствующий наибольшему ΔP_H равен:

$$Q'_{\text{МВП}} = 3,9986 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon_1 \cdot a_1 \cdot (K'_t \cdot d_{20})^2 \cdot \sqrt{(\Delta P_H \cdot 9,80665) \cdot \rho}, \text{ кг/ч, (A.21)}$$

где $9,80665 \frac{\text{Н}}{\text{кгс}}$ – коэффициент перевода $\frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$ в Па.

$$Q'_{\text{МВП}} = 3,9986 \cdot 10^{-3} \cdot 0,962 \cdot 1,319 \cdot (1,007 \cdot 177,5)^2 \cdot \sqrt{(63000 \cdot 9,80665) \cdot 74,485} = 1100550,1 \text{ кг/ч.}$$

Относительная погрешность расчёта расхода по формуле (A.16) равна:

$$\delta Q = \frac{\frac{Q'_{\text{МВП}}}{1000} - Q_{\text{ВП}}}{Q_{\text{ВП}}} \cdot 100 \% = \frac{\frac{1100550,1}{1000} - 1100}{1100} \cdot 100 \% = 0,05 \%.$$

Условие $|\delta Q| < 0,2 \%$ удовлетворяется, следовательно, расчёт выполнен правильно.

Приложение Б

(обязательное)

Матрица SWOT анализа

Таблица Б.1

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Ориентированность системы на объекты энергетики, применяющие технологию сжигания ЦКС.</p> <p>С2.Использование современных компонентов системы.</p> <p>С3.Меньшее количество требуемой аппаратуры.</p> <p>С4. Простота настройки.</p> <p>С5.Высокая надежность системы.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Требуются контроллеры, предназначенные для систем средней степени сложности.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость.</p> <p>Сл3.Потребность в высококвалифицированном персонале.</p> <p>Сл4. Привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации.</p> <p>Сл5. Сложность монтажа.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Повышение спроса на продукт.</p> <p>В2.Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ.</p> <p>В3.Повышение цен на иные топливные ресурсы, не используемые для данного объекта.</p> <p>В4.Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В5.Понижение стоимости на компоненты системы.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности».</p> <p>1.Повышение спроса на продукт из-за перехода энергетики на современную технологию сжигания с применением ЦКС.</p> <p>2.Меньшая стоимость разработки системы в отличие от конкурентных за счет меньшего количества требуемой аппаратуры.</p> <p>3.Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ приведет к поиску нового способа сжигания топлива, на который ориентирована система.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности».</p> <p>1.Повышение спроса на продукт приведет к повышению потребности в высококвалифицированном персонале.</p> <p>2.При повышении стоимости конкурентных разработок, стоимость разработки системы на их фоне может выглядеть не высокой.</p> <p>3.При понижении стоимости компонентов системы, стоимость системы также понизится.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1.Отсутствие спроса на продукт.</p> <p>У2.Повышение стоимости на компоненты системы.</p> <p>У3.Усовершенствование конкурентных систем.</p> <p>У4.Появление новых проектных решений.</p> <p>У5.Введение</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы».</p> <p>1.Отсутствие спроса на продукт из-за ориентированности системы на конкретные объекты.</p> <p>2.При использовании современных компонентов системы, повышение</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы».</p> <p>1. Отсутствие спроса на продукт из-за высокой стоимости системы.</p> <p>2. Появление новых проектных решений, не имеющих привязки к конкретным параметрам объекта автоматизации.</p>

Продолжение таблицы Б.1

<p>государственных требований на использование отечественных компонентов системы.</p>	<p>стоимости на компоненты системы приведет к удорожанию системы в целом. 3.Появление новых универсальных систем ориентированных на любую технологию сжигания.</p>	<p>3. Требуемые контроллеры выпускаются зарубежными производителями и введение государственных требований на использование отечественных компонентов, может привести к изменению компонентов системы в целом и повышению стоимости продукта.</p>
---	---	--

Приложение В

(обязательное)

Временные показатели проведения научного исследования

Таблица В.1

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел.-дни		t_{max} , чел.-дни		$t_{ожі}$, чел.-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10
Выбор направления исследования	-	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4
Календарное планирование работ по теме	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Поиск и анализ существующих проектных решений	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Определение целесообразности проведения ОКР	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-

Продолжение таблицы В.1

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел.-дни		t_{max} , чел.-дни		$t_{ожі}$, чел.-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	-	22	-	24	-	22,8	-	23	-	46
Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Составление пояснительной записки ВКР	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10

Пример расчета для первой строки:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. - дн.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 2 \text{ дня.}$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ дней.}$$

Приложение Г
(обязательное)
Диаграмма Ганта

Таблица Г.1 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.													
				февраль		март			апрель			май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	10													
3	Выбор направления исследования	Исполнитель	4													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	4													
5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель	6													
6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель	6													
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	4													
8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	4													

Продолжение таблицы Г.1

9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель	46											
10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель	6											
11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель	6											
12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель	10											



– Руководитель



– Исполнитель

