

Школа: Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике
 Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Система автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо

УДК 681.5:621.182-6:66.096.5

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Карташова Ксения Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Вершинина Ксения Юрьевна	к.ф.-м.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

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

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
	Универсальные компетенции
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Карташова Ксения Андреевна

Тема работы:

Система автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.02.2023 № 41-34/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.2023

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>1 Специализированная литература и публикации в научных журналах, (обзоры, статистические и технические отчеты) по теме энергетической утилизации низкосортных видов топлив в котлах.</p> <p>2 Экспериментальные комплексы и методики для исследования процессов зажигания и горения топлив разных составов.</p> <p>3 Требования к системе управления:</p> <ul style="list-style-type: none">- объект управления - паровой котел с циркулирующим кипящим слоем серии DNX мощностью 75 т/ч.- обеспечение автоматического регулирования температуры кипящего слоя в диапазоне 800–900 °С за счет изменения расходов воздуха и топлива;- обеспечение автоматического регулирования высоты кипящего слоя за счет изменения расходов топлива и инертного материала;- обеспечение контроля состава дымовых газов;- использование современных средств измерения и программируемого логического контроллера.
--------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Исследовательские изыскания. 2 Разработка структурной схемы системы регулирования. 3 Выбор технических средств и разработка схемы соединений и монтажной схемы, заказной спецификации. 4 Разработка прототипа SCADA-системы 5 Расчет параметров настройки регулятора. 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схема структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема электрическая соединений. 4 Схема монтажных соединений.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.01.2023
--	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Вершинина К.Ю.	к.ф-м.н.		30.01.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Карташова Ксения Андреевна		30.01.2023

Школа: Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике
 Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Карташова Ксения Андреевна

Тема работы:

<i>Система автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо</i>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	31.05.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.02.2023	Введение (выявление актуальности работы, определение научно-технической проблематики и нерешенных задач)	
15.02.2023	Анализ объекта автоматизации	
26.02.2023	Разработка структурной схемы САУ	
15.03.2023	Разработка функциональной схемы и заказной спецификации приборов и средств автоматизации	
22.03.2023	Разработка монтажной схемы АСУ	
31.03.2023	Разработка принципиальной электрической схемы	
11.04.2023	Разработка чертежа общего вида щита управления	
26.04.2023	Разработка прототипа SCADA-системы	
30.04.2023	Исследовательские изыскания	
01.05.2023	Идентификация объекта управления и расчет параметров настройки регулятора	
24.05.2023	Заключение	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Вершинина Ксения Юрьевна	к.ф.-м.н.		30.01.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

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

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Карташова Ксения Андреевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 109 страниц, 21 рисунок, 60 таблиц, 55 литературных источников, 7 листов графического материала.

Ключевые слова: кипящий слой, угольный шлам, отходы, растительная биомасса, котел с ЦКС, система автоматического регулирования, ПЛК.

Объектом автоматизации является котел с циркулирующим кипящим слоем серии DNX.

Цель работы: разработка системы автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо.

В процессе выполнения работы были разработаны схмотехническая документация для системы автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо. Было проведено экспериментальное исследование влияния влажности и состава низкосортного топлива на характеристики зажигания и горения. Выполнен расчет параметров настройки ПИ-регулятора.

В результате выполнения работы создан комплект конструкторской документации для системы автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо, получены экспериментальные данные о зажигании и горении композиционных топлив, разработан прототип SCADA-системы.

Содержание

Введение	13
1 Исследовательские изыскания	16
1.1 Описание экспериментального стенда	17
1.2 Компоненты топлива и методика исследования	18
1.3 Результаты экспериментов	20
1.3.1 Характеристики зажигания и горения топлив на основе древесных отходов 21	
1.3.2 Характеристики зажигания и горения топлив на основе угольных отходов 23	
1.3.3 Характеристики зажигания и горения топливной смеси на основе древесных и угольных отходов.....	25
2 Анализ объекта автоматизации	27
2.1 Объект автоматизации	29
3 Разработка структурной схемы САУ.....	33
4 Разработка функциональной схемы и заказной спецификации приборов и средств автоматизации.....	36
4.1 Разработка функциональной схемы.....	36
4.2 Разработка заказной спецификации приборов и средств автоматизации .	37
4.2.1 Выбор датчиков температуры	37
4.2.2 Выбор датчиков давления	38
4.2.3 Выбор датчиков расхода	39
4.2.4 Выбор датчика уровня.....	41
4.2.5 Выбор газоанализатора промышленного	41
4.2.6 Выбор частотных преобразователей.....	42
4.2.7 Выбор ПЛК.....	42

5	Разработка монтажной схемы АСУ	45
6	Разработка принципиальной электрической схемы.....	49
7	Разработка чертежа общего вида щита управления	50
8	Разработка прототипа SCADA–системы.....	51
9.1	Идентификация объекта управления.....	53
9.2	Расчет параметров настройки регулятора.....	55
9.2.1	Расчет и определение границы запаса устойчивости для данной АСР ..	56
9.3	Построение переходного процесса АСР по каналу задания s-у	59
9.3.1	Определение вещественной частотной характеристики АСР по каналу задания 60	
9.4	Оценка качества переходного процесса.....	63
10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	66
10.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	66
10.1.1	Анализ конкурентноспособности технических решений.....	66
10.1.2	Матрица SWOT.....	68
10.2	Планирование научно-исследовательских работ	70
10.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	70
10.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	71
10.3	Бюджет научно-технического исследования.....	77
10.3.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	77
10.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	77
10.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	79
10.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей	81

10.3.5 Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления)	81
10.3.6 Накладные расходы	82
10.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта..	82
10.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	83
10.5 Выводы по разделу	85
11 Социальная ответственность	88
11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	89
11.2 Производственная безопасность	90
11.2.1 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	92
11.2.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека.....	93
11.2.3 Повышенный уровень шума.....	93
11.2.4 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	94
11.2.5 Повышенная загазованность и запыленность	95
11.2.6 Монотонность труда, вызывающая монотонию	96
11.2.7 Длительное сосредоточенное наблюдение	97
11.3 Экологическая безопасность	98
11.4 Безопасность в ЧС	99
11.5 Выводы по разделу	101
Заключение.....	102
Список использованных источников	103

Графический материал:

На отдельных листах

ФЮРА.421000.010 С1 Схема структурная

ФЮРА.421000.010 С2 Схема функциональная

ФЮРА.421000.010 СО Заказная спецификация приборов и средств
автоматизации

ФЮРА.421000.010 С5 Монтажная схема соединений внешних проводок

ФЮРА.421000.010 Э4 Схема принципиальная электрическая шкафа
автоматизации

ФЮРА.421000.010 ПЭ Перечень элементов

ФЮРА.421000.010 ВО Общий вид шкафа автоматизации

Список сокращений и обозначений

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСУ ТПУ – автоматизированная система управления технологического процесса;

КС – кипящий слой;

НИР – научно-исследовательская работа;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

САР – система автоматического регулирования;

АСУ – автоматическая система управления;

ЦКС – циркулирующий кипящий слой;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

Введение

За последние десятилетия потребность мирового сообщества в энергии и ресурсах существенно возросла [1]. Обеспечение этих потребностей традиционно осуществляется за счет использования ископаемых видов сырья.

Основными топливными ресурсами являются уголь, нефть, природный газ и древесина. Однако эти ресурсы являются невозобновляемыми и их количество ограничено [2]. Очевидно, что необходимость эффективного использования топлива является основной задачей для современного общества в условиях роста энергопотребления, неравномерности распределения ресурсов и достаточно большой уязвимости энергетического рынка в целом.

Кроме ограниченности невозобновляемых источников энергии, экологические проблемы становятся все более значимыми. Добывающие и перерабатывающие отрасли промышленности ежедневно генерируют тонны твердых, жидких и газообразных отходов. Тепловые электрические станции и котельные, сжигающие ископаемое топливо, выбрасывают в атмосферу летучую золу, сажу, и дымовые газы, загрязненные опасными веществами [3]. Подобные выбросы и отходы производств являются основными источниками теплового и токсического загрязнения биосферы.

Для решения обозначенных проблем необходимы комплексные меры. Рациональным подходом является переработка отходов с целью получения энергии или полезных вторичных продуктов. Необходимо развивать методы утилизации производственных отходов с сохранением количества вырабатываемой энергии, и одновременно со значительным ограничением и контролем вредных промышленных выбросов.

Огромные объемы образования и накопления промышленных отходов вызывают опасения. На данный момент в мире слабо реализована практика переработки промышленными предприятиями своих отходов. Однако разработано достаточно много способов переработки и использования индустриальных отходов повторно. Многие индустриальные отходы являются

потенциальной заменой традиционному топливу, но часто не востребованы и просто складываются.

К этой группе отходов, пригодных для энергетической утилизации, относятся отходы переработки угля (отходы флотационного и гравитационного обогащения, различные шламы), агропромышленные отходы и биомасса, а также отходы нефтяного происхождения (например, отработанные масла, водонефтяные эмульсии, нефтешламы).

Сжигание отходов и низкосортных топлив является одним из базовых способов их утилизации. Для сжигания могут использоваться смеси отходов из разных отраслей, например, отходы переработки угля (угольный шлам) и отработанные масла [4]. Кроме смесей отходов, к низкосортным топливам может относиться биомасса – отходы от деревоперерабатывающей промышленности (опилки).

В области сжигания низкосортных топлив существует ряд технологических, экологических и экономических проблем. Большинство существующих котельных установок не проектировались для сжигания низкосортного сырья, для них не решена проблема шлакования и коррозии, а также обеспечения требуемых параметров работы котла (например, скорости зажигания и выгорания, полноты сгорания) при сжигании нетрадиционного сырья. Однако многие технологические проблемы могут быть решены путем использования котлов с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС). Благодаря своей конструкции, наличию инертного материала и специального температурного режима они могут использоваться для сжигания любых типов сырья, включая высоковлажные и высокозольные отходы, обеспечивая при этом относительно низкую эмиссию опасных продуктов сгорания [5].

Конструкция топок таких котлов позволяет интенсивно циркулировать частицам топлива в слое, позволяя снизить температуру уходящих газов, а также содержание в них оксидов азота и серы [6]. Результаты исследования [7] показали, что концентрация оксидов азота снижается на 15–25%, по сравнению с сжиганием топлива в прямоточном котле, в зависимости от температуры слоя.

Эффективность сгорания древесных опилок в камере сгорания с кипящим слоем варьируется от 96 до 99% [8]. Установлено [9], что при сжигании угольного шлама в котлоагрегате с циркулирующим кипящим слоем эффективность горения угольных отходов варьируется в пределах 93–97%, а концентрация выбросов NO_x , CO и CO_x , уменьшается на 35–40% по сравнению с традиционными котлоагрегатами, установленными на энергетических объектах.

Таким образом, актуальным является комплексное развитие технологий энергетической утилизации отходов и низкосортных топлив. Целесообразно получать как новые фундаментальные знания о процессах зажигания, горения и термической конверсии новых топлив, так и разрабатывать конкретные технические решения в выделенной области.

Целями данной работы являются:

1) экспериментальное определение закономерностей и количественных характеристик процессов зажигания и горения низкосортных топлив (угольный шлам и древесные отходы) при индивидуальном и совместном сжигании, а также при варьировании исходной влажности компонентов;

2) разработка комплекта проектной и конструкторской документации автоматизированной системы регулирования высоты и температуры кипящего слоя котла;

3) расчет параметров настройки регулятора, обеспечивающего управление температурой кипящего слоя;

4) проектирование прототипа SCADA-системы регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла.

1 Исследовательские изыскания

С развитием промышленности и ростом численности населения увеличивается потребность в тепловой и электрической энергии. Это приводит к увеличению промышленных отходов. Существует несколько методов термохимической конверсии отходов, но наиболее доступным и перспективным является сжигание отходов в топливных композициях. В основном изучаются экологические и различные теплофизические показатели конверсии твердых бытовых отходов [10], различных газов [11], твердых топлив на основе бора [12], суррогатных топлив [13].

Проблемы совместного сжигания, пиролиза и газификации биомассы и углей активно изучаются в лабораторном и промышленном масштабах [14,15]. Изучается эффективность сжигания смесей компонентов в различных соотношениях [16,17] и при варьировании внешних условий [18]. Результаты исследований [19] обосновывают, что совокупность характеристик может быть улучшена, если компоненты подвергаются совместному, а не моно-сжиганию, т.е. проявляются так называемые синергетические эффекты. Ранее характеристики совместного сжигания в кипящем слое двух видов углей (каменный, бурый) и четырех видов биомассы (рисовая шелуха, кукурузный отход, опилки разных видов деревьев) изучались в [5]. Установлено, что предпочтительные концентрации биомассы составили 30% и 50% при совместном сжигании с бурым и каменным углем, соответственно. Также в [5] отмечено, что полнота выгорания топлива ниже при сжигании смесей угля и древесных отходов, чем у смесей угля и сельскохозяйственных отходов.

Адекватный выбор оборудования и технологических процедур очень важны при разработке проектов, направленных на эффективное сжигание различных нестандартных топливных смесей. Для этого необходимо достаточно глубокое понимание процессов термохимического преобразования топлива, а также знание конкретных характеристик сопутствующих физико-химических процессов. К настоящему времени существует недостаток в данной области.

В рамках научно-исследовательской работы рассмотрено влияние влажности и состава низкосортного топлива на основе угольного шлама и растительной биомассы (опилок), сжигаемого в виде слоя, на характеристики горения и зажигания (время задержки газофазного зажигания, время задержки гетерогенного зажигания и длительность горения при разных температурных режимах: 700°C, 800°C, 900°C).

1.1 Описание экспериментального стенда

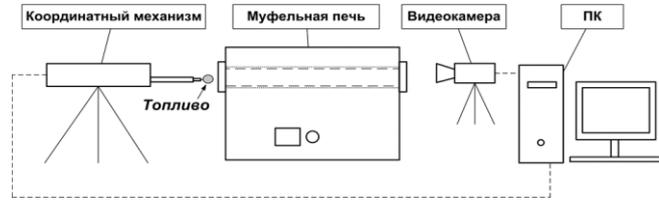
На рисунке 1 представлен экспериментальный стенд, который использовался для определения характеристик зажигания и горения композиционных низкосортных топлив. Основными элементами стенда является муфельная трубчатая печь R 50/250/13 by Nabertherm GmbH, координатный механизм с держателем для перемещения слоя топлива, высокоскоростная камера Phantom Miro C110 для визуализации процесса и регистрации параметров.

Муфельная печь — это нагревательное устройство, предназначенное для нагрева объектов до заданной температуры. Главной особенностью этой печи является наличие так называемого муфеля — оболочки, защищающей нагреваемый материал или изделие при нагреве и являющегося главным рабочим пространством муфельной печи. Температуру нагрева муфельной печи можно регулировать с помощью специальных кнопок на её корпусе. Температура муфельной печи в экспериментах варьировалась от 700 до 900°C.

Координатный механизм соединялся с компьютером, с помощью которого отслеживалось положение образца топлива. Процессы прогрева, зажигания и горения топлива регистрировались с помощью высокоскоростной видеокамеры.



а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид (а) и схема (б) экспериментального стенда: 1 - муфельная трубчатая печь R 50/250/13 by Nabertherm GmbH; 2 – координатный механизм; 3 – высокоскоростная камера

1.2 Компоненты топлива и методика исследования

Исследования были разделены на три блока:

- 1) Определение влияние влажности древесных отходов (опилки сосновые) и температуры нагрева на характеристики зажигания и горения. Исследуемые смеси (указаны массовые доли компонентов):
 - 100% опилки;
 - 90% опилки и 10% вода;
 - 70% опилки и 30% вода;
 - 50% опилки и 50% вода.
- 2) Определение влияние влажности угольного шлама и температуры нагрева на характеристики зажигания и горения топлива. Исследуемые смеси (указаны массовые доли компонентов):
 - 100% угольный шлам;
 - 90% угольный шлам и 10% воды;
 - 70% угольный шлам и 30% воды;
 - 50% угольный шлам и 50% воды.
- 3) Определение характеристик зажигания и горения смеси на основе угольного шлама и опилок при различных температурах нагрева. Исследуемая топливная композиция (указаны массовые доли компонентов): 50% угольный шлам и 50% опилки.

В таблице 1 представлен элементный и технический анализ компонентов, входящих в состав топливной смеси.

Таблица 1 – Элементный и технический анализ твердых компонентов смеси

Компонент	W ^a , %	A ^d , %	V ^{daf} , %	Q, МДж/кг	C ^{daf} , %	H ^{daf} , %	N ^{daf} , %	S _t ^d , %	O ^{daf} , %
Угольный шлам	-	24,46	23,08	24,83	87,20	5,090	2,05	1,022	4,46
Опилки сосновые	6,05	1,5	72,35	18,25	45,96– 52,5	4,54– 6,00	0,08– 0,22	0,64	32,82– 43,30

Масса сжигаемой навески составляла $0,25 \pm 0,005$ г. Масса топлива определялась с помощью высокоточных весов (дискретностью 10^{-5} г).

Топлива вводились в заранее прогретую до установленной температуры печь. На камеру проводилась запись процесса зажигания и горения топлива, после этого видеофрагменты обрабатывались в программном комплексе Phantom Camera Control. Регистрировались времена задержки газофазного зажигания топлива (t_{d1}), задержки гетерогенного зажигания топлива (t_{d2}) и длительность горения топлива (t_b). На рисунке 2 представлены типичные кадры регистрируемого процесса.

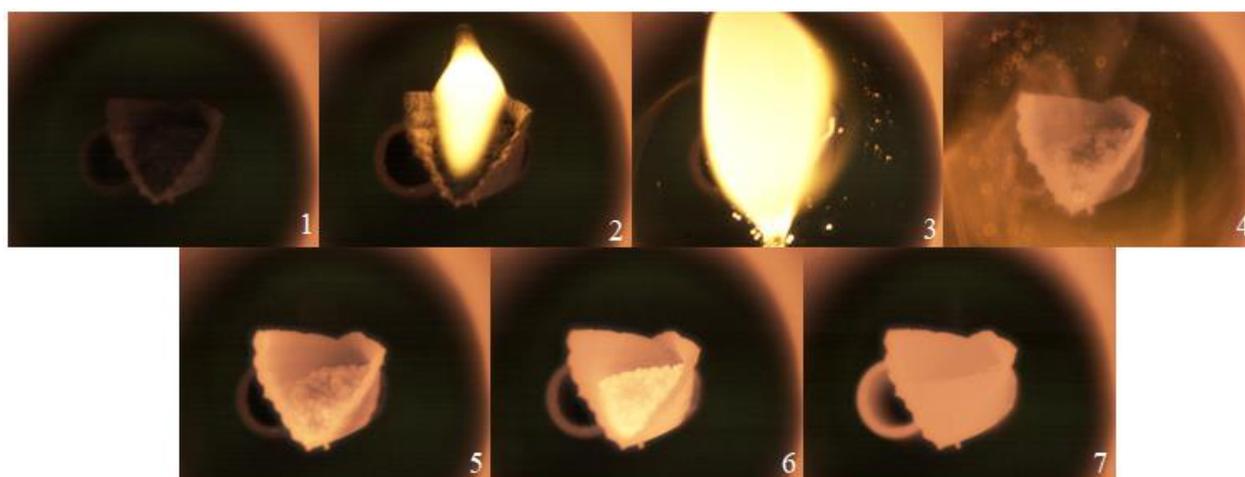


Рисунок 2 – Кадры процессов зажигания и горения образца топлива

На первом кадре видно начало процесса просушки топлива, на втором – воспламенение топлива, на третьем – газофазное зажигание (выход летучих

веществ, содержащихся в топливе), на четвертом – горение летучих веществ, на пятом – гетерогенное зажигание (начало горение коксового остатка), на шестом – тление коксового остатка, на седьмом – выгорание коксового остатка.

1.3 Результаты экспериментов

В результате экспериментов были получены зависимости изучаемых характеристик от температуры в печи. Результаты показали, что влажность топлива существенно влияет на характеристики его горения и зажигания. На рисунках 2–4 представлены результаты первого блока экспериментов. На рисунках 5–8 - результаты второго блока. На рисунках 9–11 - результаты третьего блока. Общей тенденцией для любого исследуемого топлива является уменьшение времени задержки газофазного и гетерогенного зажигания при увеличении температуры в муфельной печи. Это объясняется тем, что при увеличении температуры увеличивается плотность теплового потока, подведенного к топливу. При этом интенсифицируются процессы испарения воды, содержащейся в топливе, и термического разложения органической части топлива. Эти процессы, в свою очередь, являются ключевыми факторами для времени задержки газофазного и гетерогенного зажигания. Также с увеличением влажности увеличивается длительность горения топлива, т.к. содержание влаги в топливе напрямую влияет на инерционность горения.

1.3.1 Характеристики зажигания и горения топлив на основе древесных ОТХОДОВ

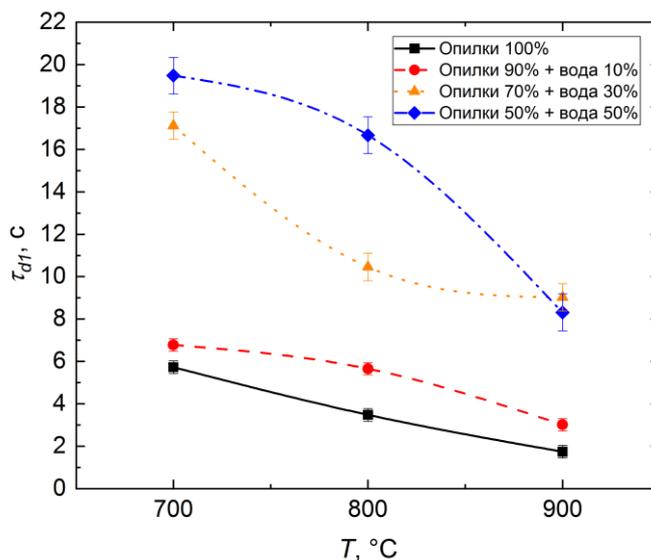


Рисунок 3 – Влияние температуры в камере сгорания на время задержки газофазного зажигания

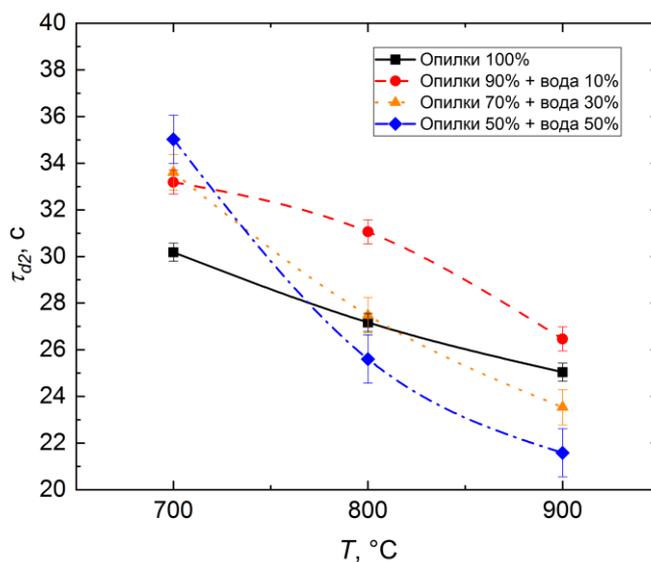


Рисунок 4 – Влияние температуры в камере сгорания на время задержки гетерогенного зажигания

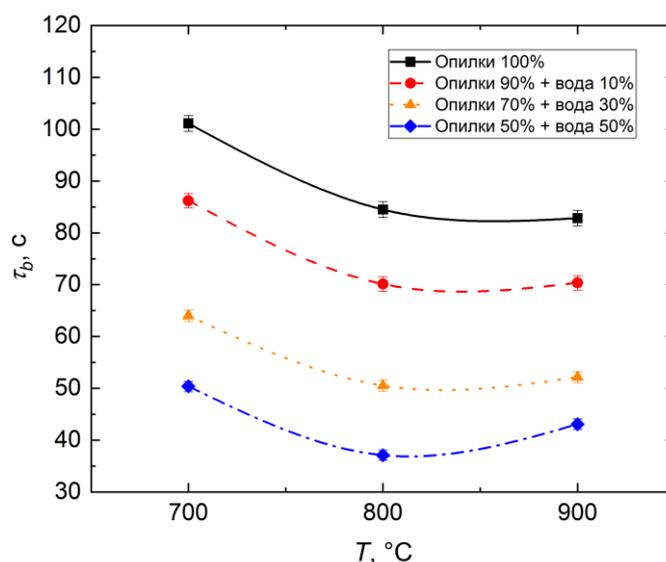


Рисунок 5 – Влияние температуры в камере сгорания на длительность горения

Анализ полученных данных позволили сделать следующие заключения:

1. Время задержки газофазного зажигания топлива на основе древесных опилок нелинейно уменьшается при увеличении температуры. При добавлении воды этот параметр увеличивается от 3,5 до 8 раз по сравнению с сухими опилками.

2. Время задержки гетерогенного зажигания также нелинейно уменьшается при увеличении температуры нагрева. При этом для разных составов задержка гетерогенного зажигания характеризовалась разной чувствительностью к повышению температуры, что объясняется комплексом факторов, в том числе скоростью выгорания в газовой фазе и тепловыделением при газофазном выгорании.

3. Длительность горения топлива обратно пропорциональна влажности топлива, т.е. при увеличении массовой доли воды время уменьшается. Также при увеличении температуры в муфельной печи длительность горения уменьшается.

1.3.2 Характеристики зажигания и горения топлив на основе угольных отходов

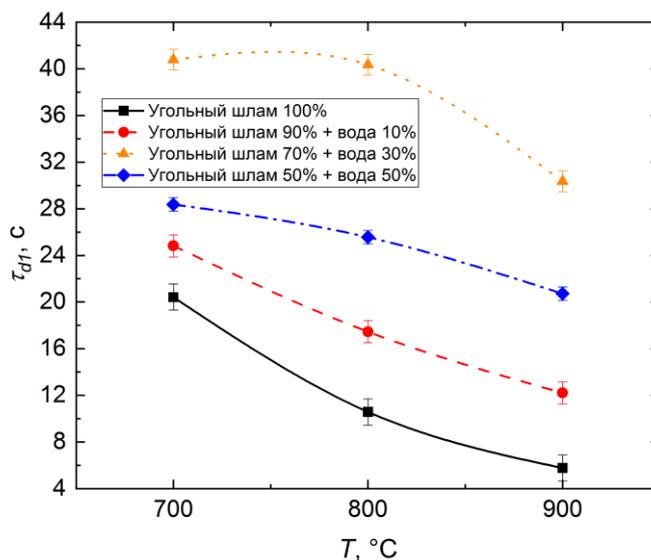


Рисунок 6 – Влияние температуры в камере сгорания на время задержки газофазного зажигания

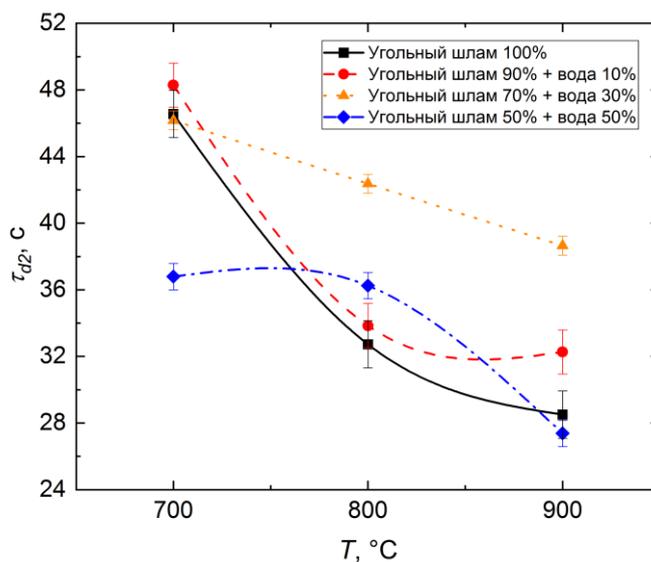


Рисунок 7 – Влияние температуры в камере сгорания на время задержки гетерогенного зажигания

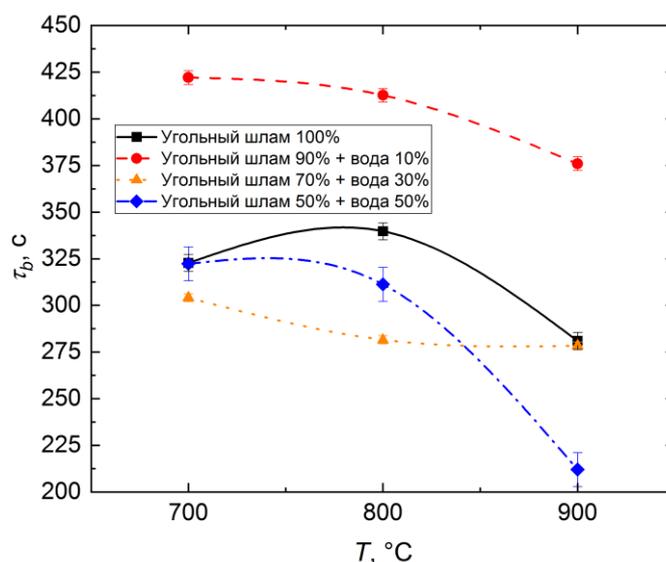


Рисунок 8 – Влияние температуры в камере сгорания на длительность горения

Анализ полученных данных позволили сделать следующие заключения:

1. Время задержки газофазного зажигания уменьшается с увеличением температуры, однако можно заметить, что при разных концентрациях воды в топливе, это значение меняется по-разному. При отсутствии воды в топливе (100% угольный шлам) время в зависимости от температуры уменьшается на 50%. При добавлении 10% воды это значение становится равным 30%. При увеличении концентрации воды до 30% время задержки газофазного зажигания не изменяется при увеличении температуры до 800°C, при дальнейшем увеличении температуры время задержки уменьшается на 25%.

2. Время задержки гетерогенного зажигания также уменьшается при увеличении температур, однако при температуре 700°C, время одинаковое и не зависит от влажности. Время задержки гетерогенного зажигания при увеличении температуры горения топлива до 800°C с процентным содержанием угольного шлама 100% и 90% уменьшается на 30%, при дальнейшем нагревании значение времени уменьшается на 13% и 5% соответственно. При уменьшении содержания угольного шлама в топливе до 70% время зажигания линейно уменьшается на 8,2%.

3. Длительности горения нелинейно зависели от влажности топлива. При увеличении температуры длительность горения уменьшается. Также было замечено, что при отсутствии воды и 30%-м содержании ее в топливе

разница длительности горения составляет не более 20 с при температурах 700 и 900°C, при температуре 800°C эта разница составляет около 60 с. При содержании угольного шлама 90% длительность горения топлива увеличивается на 25% по сравнению с сухим угольным шламом.

1.3.3 Характеристики зажигания и горения топливной смеси на основе древесных и угольных отходов

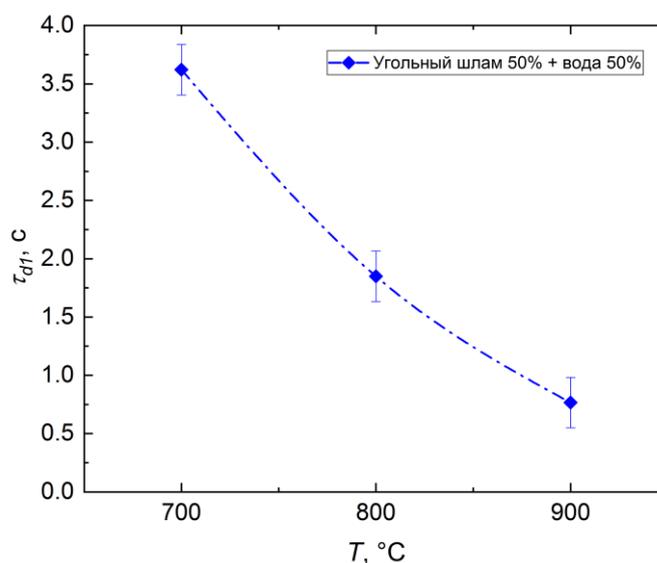


Рисунок 9 – Влияние температуры в камере сгорания на время задержки газификации

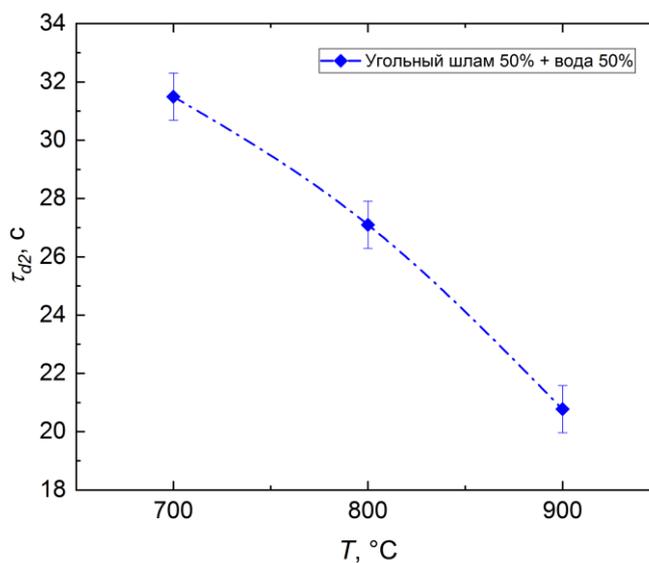


Рисунок 10 – Влияние температуры в камере сгорания на время задержки гетерогенного зажигания

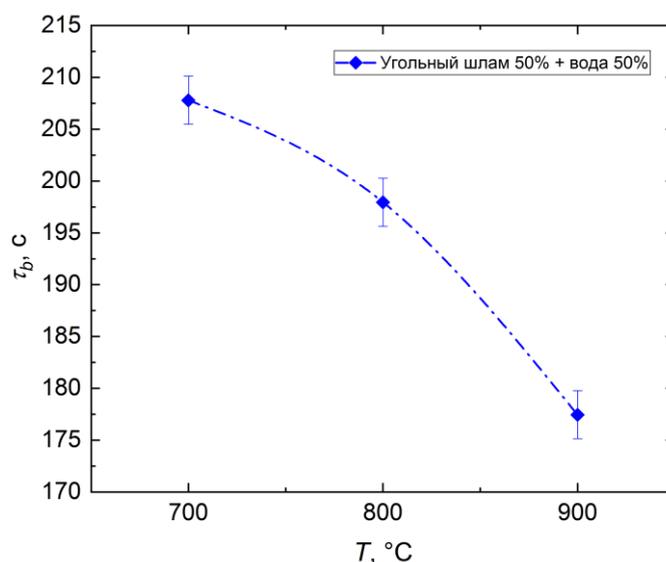


Рисунок 11 – Влияние температуры в камере сгорания на длительность горения

Анализ экспериментальных данных позволил сделать следующие заключения:

1. При увеличении температуры в камере сгорания время задержки газофазного зажигания нелинейно уменьшается, в среднем, на 45–60%. Однако при сжигании монокомпонентного сухого топлива значения задержки газофазного зажигания больше в 2 раза.
2. При увеличении температуры в камере сгорания время задержки гетерогенного зажигания уменьшалось, в среднем, в 1,25 раз. При сжигании сухого угольного шлама это значение было больше на 55%, при сжигании сухой биомассы время задержки гетерогенного зажигания изменялось линейно в диапазоне от 26 с до 31с., для топливной композиции диапазон значений составил 20–32 с.
3. При увеличении температуры в печи длительность горения композиционного топлива уменьшается 5–10%, длительнее всего горит сухой угольный шлам, длительность горения опилок составляет 85–105 с.

2 Анализ объекта автоматизации

В данной работе объектом автоматизации является котел с циркулирующим кипящим (псевдосжиженным) слоем (ЦКС). Использование котлов с кипящим слоем является одним из подходов, позволяющих сжигать широкий перечень топлив, включая отходы, а также низкосортные, влажные и загрязненные компоненты.

Кипящий слой – слой в топке, состоящий из частиц топлива и негорючего инертного материала, находящийся под воздействием потока газа (в большинстве случаев воздуха), благодаря которому частицы топлива находятся в парящем состоянии.

Котлы с ЦКС применяются в энергетике, но эта технология распространена не везде, в основном отечественные ТЭС работают с котлами, использующими технологию факельного сжигания топлива. Однако с увеличением количества твердых и смешанных отходов и повышением экологических требований развитие и использование технологии ЦКС приобретает все более важную роль для энергетики и в сфере защиты окружающей среды.

Топки котла с ЦКС выполняются закрытого типа. На рисунке 12 представлена схема котла с кипящим слоем, иллюстрирующая основные принципы его работы.

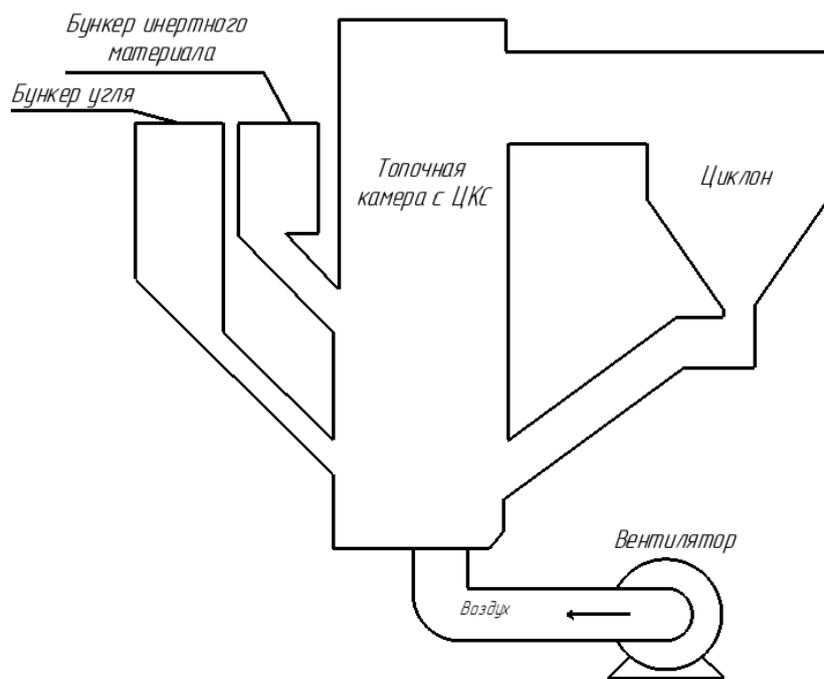


Рисунок 12 – Схема котла с ЦКС

В топочную камеру подается из бункеров топливо и инертный материал (известняк, песок) на решетку, под которой подается воздух с помощью дутьевого вентилятора. образуется кипящий слой. Известняк вступает в химическую реакцию с серой, связывает ее и в дальнейшем уносится с золой. Частицы топлива, не сгоревшие в кипящем слое, уносятся вместе с дымовыми газами в циклон, в котором происходит их сепарация. Несгоревшие частицы обратно отправляются в топочную камеру. Продукты сгорания выводятся в атмосферу с помощью дымовой трубы.

Технология сжигания твердых топлив в кипящем слое отличается наличием большого количества инертного материала в топке. Это позволяет более эффективно контролировать температуру и процессы сгорания топлива. Котлы с ЦКС считаются технологией чистого сжигания [20]. Такие установки имеют ряд конкурентных преимуществ, таких как высокая полнота сгорания (97,5–99,5%), низкие температуры горения (обычно в диапазоне 850–900 °С), низкие выбросы загрязняющих газов и широкий перечень материалов и веществ, которые могут использоваться в качестве топлива. Например, котлы с ЦКС могут работать на твердых бытовых отходах, торфе, древесных остатках,

горючих сланцах, нефтяном коксе, промышленных шламах, низкосортных углях и угольной вскрышной породе. Кроме того, использование инертного материала в топке позволяет увеличить срок службы оборудования и уменьшить расходы на его обслуживание. Чаще всего в качестве инертного материала используют фрикционный песок или известняк с размером частиц 0,6–2 мм. Максимальный размер частиц топлива зависит от реакционной способности и составляет от 6 до 25 мм.

К преимуществам таких котлов относятся:

- отсутствие установок серо- и азотоочистки в связи с тем, концентрация оксидов серы и азота т.к. в топочной камере поддерживается температура горения, при которой сера и азот связывается и выпадает в золу;

- отсутствие шлакования;

- сжигание различных топлив, в том числе композиционных на основе промышленных отходов, таких как угольный шлам;

- возможность сжигать твердого топлива с разным размером частиц.

К недостаткам можно отнести:

- высокая скорость механической эрозии;

- недопустимость высоких колебаний нагрузки;

- сложная система запуска котла и высокая стоимость данного этапа эксплуатации;

- необходимость применения высоконапорного вентилятора; усложненная конструкция топок и вспомогательных систем, связанная с наличием циклонов;

- образующаяся зола является непригодной для дальнейшей переработки.

2.1 Объект автоматизации

В настоящей работе объектом автоматизации является паровой котел с ЦКС серии DNX мощностью 75 т/ч. Основные характеристики котла:

- рабочее тело: пар;

- рабочее давление: 1,25–5,3 МПа;

- тепловая мощность: 35–75 т/ч;

- температура рабочего тела на выходе: 194–485 °С;
- КПД: 89–91%;
- рабочее топливо: уголь, рудная порода, биомасса, бытовые отходы;
- область применения: теплоэнергетика, химическая отрасль, металлургическая отрасль, целлюлозно-бумажная отрасль промышленности.

Внешний вид парового котла с ЦКС представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Паровой котел с ЦКС серии DNX

Характеристики парового котла серии DNX ЦКС:

- высокотемпературная циклонная сепарация, обеспечивающая эффективность разделения пара от капель воды ($\geq 98\%$) и полноту сгорания топлива;
- вместительный объем печи – значительный объем топки, конструкция с низким расходом потока топлива, применение технологии износостойких труб, снижающей эрозионное истирание; увеличенное время пребывания частиц топлива в печи, способствующее полному сгоранию топлива;
- колпак типа колокольчика. Применение колпака колокольного типа, позволяющая равномерно распределять воздух и избежать обратного потока топлива в ветровую камеру;

– работа при низком давлении в слое. За счет оптимизации частиц рабочее давление в слое может быть снижено до 3500 Па, что эффективно снижает эксплуатационные расходы.

Главной целью данной установки является – утилизация низкосортного топлива для получения энергии.

Целью работы является регулирование температуры и высоты кипящего слоя в топочной камере. Температура кипящего слоя зависит от расхода топлива и воздуха, а высота кипящего слоя в основном регулируется расходом инертного материала и воздуха. В итоге необходимо обеспечить постоянную подачу топлива и инертного материала так, чтобы показатели выбросов вредных веществ, содержащихся в дымовых газах, были минимальны, а КПД энергоустановок максимальным. Эти показатели зависят от температуры и высоты кипящего слоя, в котором происходит горение топлива. Существуют параметры, влияющие на температуру и высоту слоя в малой степени:

- влажность топлива, подаваемого в топку;
- температура воздуха, подаваемого под топку;
- теплотехнические свойства инертного материала.

В таблице 2 приведены регулируемые параметры и их диапазон измерения, а в таблице 3 контролируемые параметры и их диапазон измерения.

Таблица 2 – Контролируемые параметры

Наименование параметра	Значение параметра
1. Температура уходящих дымовых газов	130-200 °С
2. Концентрация O ₂ , SO _x в газоходах	5%, 200 мг/м ³
3. Давление-разрежение	- 0,0314 кПа
4. Температура кипящего слоя	800-900 °С
5. Высота кипящего слоя	1300 мм
6. Давление в барабане котла	3,9 МПа

Таблица 3 – Регулируемые параметры

Наименование параметра	Значение параметра
1. Давление (расход) воздуха	357 м ³ /ч
2. Расход топлива	9,5 т/ч
3. Расход инертного материала	0,315 т/ч

3 Разработка структурной схемы САУ

Структура АСР представляет собой схему компонентов АСР и их взаимосвязей. При разработке АСР важно учитывать метод управления параметрами процесса. Способ регулирования определяется связями между составляющими АСР и сформулированным законом регулирования.

Чтобы котел обеспечивал необходимые условия работы, необходимо контролировать и регулировать параметры, используемые при работе этой системы. Для этого сначала необходимо разработать блок-схему системы автоматизации, показанную на рисунке 14. Система автоматизации состоит из объекта автоматизации и системы управления этим объектом. Благодаря определенному взаимодействию между объектом автоматизации и системой управления система автоматизации в целом обеспечивает необходимый для работы объекта результат.

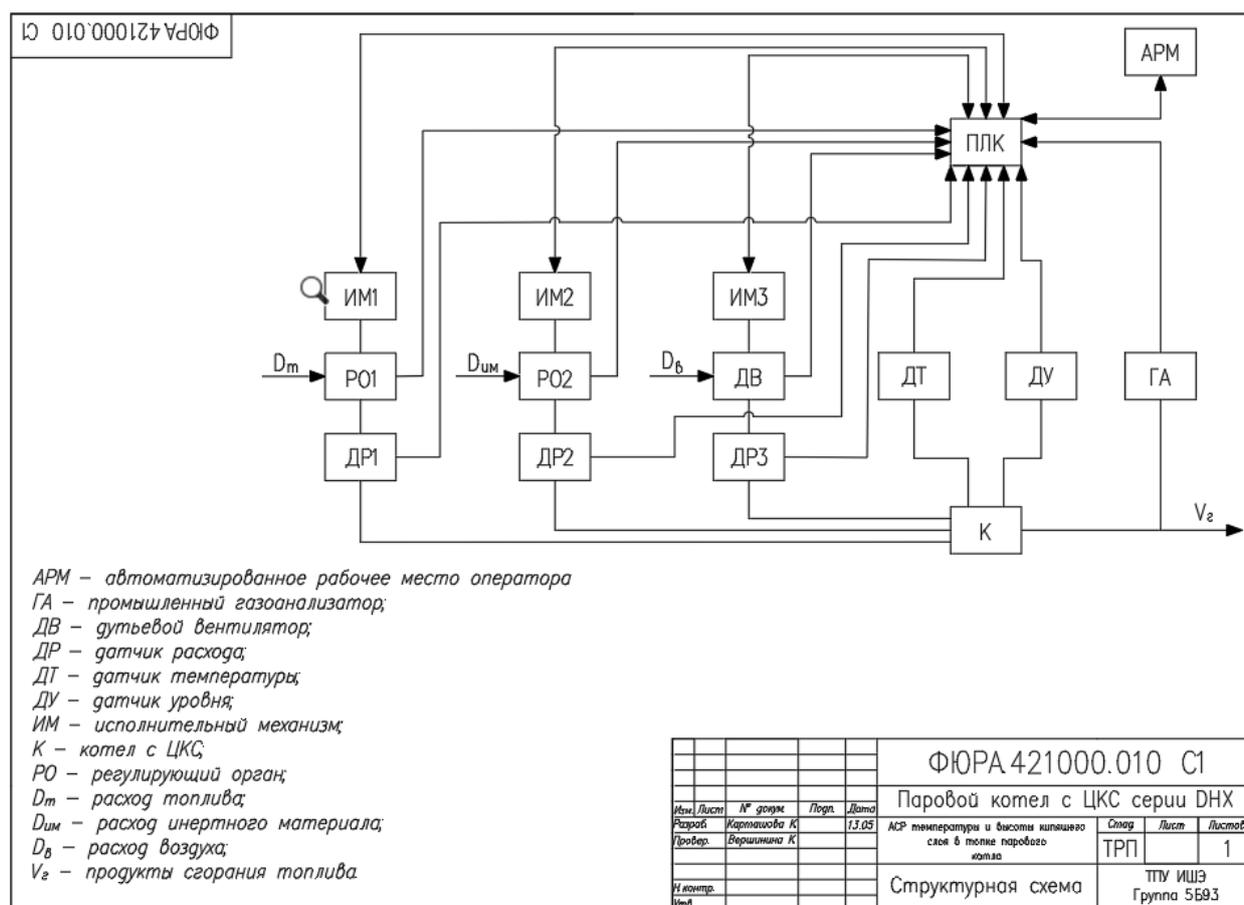


Рисунок 14 – Структурная схема технологического процесса сжигания топлива в котле с ЦКС

По данной структурной схеме получаем, что в котел подается топливо (угольный шлам). Топливо подается при помощи конвейера винтового (РО1), сигнал на который подается с преобразователя частоты (ИМ1), на который в свою очередь приходит информация с ПЛК. Также с преобразователя частоты идет сигнал на ПЛК, чтобы получать сигнал о мощности регулирующего органа. Расход подаваемого топлива измеряется с помощью датчика расхода (ДР1). Электрический сигнал с расходомера будет подаваться на ПЛК. Подача инертного материала происходит по такому же алгоритму, как и подача топлива.

В котле установлены датчик температуры (ДТ) и датчик уровня (ДУ) для того, чтобы передавать текущее значение параметров в ПЛК, который передает ее оператору, который в свою очередь принимает решение об уменьшении или увеличении расхода топлива и инертного материала, подающегося в котел. Данные с датчиков также подаются на ПЛК. Соответственно, при необходимости изменить количество подаваемого топлива или инертного материала сигнал с ПЛК подается на исполнительный механизм (ИМ1, ИМ2), что приводит регулирующий орган (РО1, РО2) в действие.

Также под топочную камеру котла подается воздух с помощью дутьевого вентилятора (ДВ), мощность которого регулируется исполнительным механизмом (ИМ3). Сигнал о расходе воздуха подается в ПЛК от датчика расхода (ДР3).

При сжигании топлива образуются продукты горения (дымовые газы), в которых содержатся такие вещества как кислород (O_2), оксиды серы (SO_x) и т.д. Их контроль очень важен, т.к. по концентрации данных веществ можно судить об эффективности горения и соблюдения температурного режима горения. Поэтому в дымовой трубе установлен газоанализатор промышленный (ГА), отправляющий информацию в ПЛК.

ПЛК непосредственно связан с АРМ оператора. Именно здесь оператор контролирует все протекающие процессы в топке котла и осуществляет управление. В случае возникновения ошибки можно, не вмешиваясь в процесс, изменить показания параметров.

Трехуровневая структурная схема технологического процесса представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 С1.

Структурная схема состоит из трёх уровней. На верхнем уровне находится АРМ оператора, где производится наблюдение и управление параметрами технологического процесса. На среднем уровне находится ПЛК для сбора информации с датчиков, исполнительных механизмов, регулирующих органов и производит регулирующие воздействие на исполнительные механизмы. Верхний и средний уровни связываются с помощью протоколов Ethernet. На полевом уровне находятся различные датчики, исполнительные механизмы и регулирующие органы, находящиеся на объекте.

4 Разработка функциональной схемы и заказной спецификации приборов и средств автоматизации

4.1 Разработка функциональной схемы

Функциональная схема – одна из основных схем автоматизации, определяющим связь различных структур автоматического управления, контроля и регулирования. На ней всегда отображаются объект автоматизации и датчики, предназначенные для контроля параметров технологического процесса, а также связь датчиков с ПЛК.

Из топливного бака и бака инертного материала подается низкосортное твердое топливо и инертный материал на дно топки котла с помощью винтовых конвейеров. Под топку котла подается воздух. В котле образуется кипящий слой, для регулирования его температуры и высоты изменяется расход воздуха с помощью частотного преобразователя, регулирующего мощность промышленного вентилятора, а также инертного материала и топлива с помощью частотных преобразователей, регулирующих мощность винтовых конвейеров.

На чертеже разработанной функциональной схеме АСР изображено:

- в верхней части - технологическая схема объекта автоматизации;
- в нижней части чертежа – таблица с местом установки технических средств.

Изображение первичных преобразователей, исполнительных механизмов представляет собой окружность, от которой отходит линия связи с присвоенным ей номером. От них отводятся линии связи с номером измерительного или управляющего канала. Все эти линии затем ведутся в шкаф автоматизации, в котором находится контроллер. После прохождения сигналов через контроллер, происходит поступление их на АРМ оператора.

На данном этапе были определены измерительные каналы (1-10, 12, 14, 16) и каналы регулирования (11, 13, 15). Измерительные каналы 1 и 2 служат для передачи сигнала о величине температуры кипящего слоя и уходящих газов от датчиков температуры с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на

ПЛК. Измерительный канал 3 служит для передачи сигнала о величине давления-разрежения от датчика давления с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на ПЛК. По каналу 4 на ПЛК передается информация по давлению пара. По каналу 5 на ПЛК передается значение расхода воздуха с помощью термоанемометрического расходомера с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА. По каналам 6 и 7 на ПЛК передается значение расхода топлива и инертного материала с помощью электромагнитных расходомеров с унифицированными выходными сигналами 4...20 мА. Измерительный канал 8 служит для передачи сигнала о величине высоты кипящего слоя от датчика уровня с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на ПЛК. Измерительные каналы 9 и 10 служат для передачи сигнала о величине концентрации кислорода и оксида серы в продуктах горения топлива от стационарного газоанализатора с унифицированными выходными сигналами 4...20 мА на ПЛК. Каналы 12, 14, 16 используются для определения мощности регулирующего органа. По каналам 10, 13, 15 передаются управляющие сигналы на исполнительные механизмы.

4.2 Разработка заказной спецификации приборов и средств автоматизации

Заказная спецификация является документом для отображения сведений о приборах и средствах автоматизации для реализации автоматизированной системы управления технологическим процессом.

4.2.1 Выбор датчиков температуры

Для измерения температуры кипящего слоя и дымовых газов требуются датчики температуры с различными диапазонами измерений. Для температуры кипящего слоя диапазон изменения температуры составляет 800–900°C, для температуры дымовых газов: 130–200°C. Выбор измерительных устройств осуществлялся по каталогу завода-изготовителя «Датчики температуры» компании EMERSON [21].

Таблица 4 – Технические характеристики измерительных устройств

	Метран 281	ТСПУ Метран-2700 Pt 100	Rosemount 3144P 1075 ПП (S)
Диапазон измерений	-50...+1000°C	-50...+300°C	-40...+1200°C
Выходные сигналы	4-20 мА/HART	4-20 мА	4-20 мА
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	±0,4%	±0,15%	±0,5%

Из таблицы 4, видно, что для измерения температуры кипящего слоя подходит преобразователь температуры Метран 281, для измерения температуры дымовых газов – термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом ТСПУ Метран-2700 Pt 100.

4.2.2 Выбор датчиков давления

Датчики давления предназначены для непрерывного измерения и преобразования значений абсолютного, избыточного давления, разрежения, избыточного давления-разрежения, разности давлений, гидростатического давления (уровня) жидких и газообразных, в том числе агрессивных, сред, газообразного кислорода и кислородосодержащих газовых смесей в унифицированный выходной токовый сигнал и (или) цифровой сигнал на базе HART-протокола, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485 по протоколу Modbus RTU.

Для работы системы необходимо измерение давления-разряжения в топке давление пара в барабане котла. В соответствии с этим рассмотрим датчики давления и сравним их технические характеристики (таблица 5). Выбор измерительных устройств осуществлялся по каталогу завода-изготовителя «Датчики давления» компании EMERSON [22].

Таблица 5 – Технические характеристики датчиков давления

	Rosemount 2051	Метран-75	Rosemount 3051
Измеряемые (вычисляемые) параметры	Избыточное / Разрежение Абсолютное	Разность давлений Избыточное / Разрежение Абсолютное	Избыточное / Разрежение Абсолютное
Выходной сигнал	4...20 мА/HART Foundation Fieldbus	4...20 мА/HART	4...20 мА/HART Foundation Fieldbus WirelessHART
Диапазон измерения давления-разрежения, кПа	-0,745...0,745	-/25	-0,745...0,025

Из таблицы 5 видно, что более предпочтительным вариантом является «Rosemount 3051», поэтому в качестве измерительного преобразователя выбираем «Rosemount 3051», так как он соответствует более точному измерению требуемого параметра, а именно, для измерения давления-разряжения в топке котла – «Rosemount 3051CD», а для давления пара в барабане котла – «Rosemount 3051CA».

4.2.3 Выбор датчиков расхода

Так как объектом автоматизации является котел с кипящим слоем, необходимо регулирование расхода воздуха, топлива и инертного материала. Выбор расходомера воздуха (таблица 6) осуществлялся по каталогам заводов-изготовителей [23–25]. Выбор расходомера топлива (таблица 7) и инертного материала осуществлялся по каталогу завода-изготовителя «ENVEA Process GmbH» [26].

Таблица 6 – Технические характеристики расходомеров

	SCHMIDT SS 20.600	VPFlowScope Probe	Rosemount 8800D
Диапазон измерений	10...400 м ³ /ч	15...400 м ³ /ч	до 100 м ³ /ч
Выходные сигналы	4-20 мА	4-20 мА	4-20 мА/HART
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	±0,3%	±1%	±0,4%

Из таблицы 6, видно, что «SCHMIDT SS 20.600» [23] обладает наименьшей погрешностью и подходит по диапазону измерения расхода, поэтому в качестве расходомера выбираем «SCHMIDT SS 20.600».

Таблица 7 – Технические характеристики расходомеров

	Расходомер PicoFlow	Расходомер SolidFlow 2.0	Расходомер MaxxFlow
Диапазон измерений	0,01...0,1 т/ч	0,1...15 т/ч	20...150 т/ч
Выходные сигналы	4-20 мА	4-20 мА	4-20 мА
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	±2-3%	±2-3%	±2-3%

Так как расход инертного материала и топлива не превышает 10 т/ч, то более предпочтительным вариантом является «SolidFlow 2.0» [26].

4.2.4 Выбор датчика уровня

Так как одним из параметров регулирования является высота кипящего слоя, необходимо выбрать бесконтактное измерительное устройство уровня (высоты). Выбор уровнемера (таблица 8) осуществлялся по каталогам заводов-изготовителей [27–29].

Таблица 8 – Технические характеристики уровнемеров

	Rosemount 3300	Rosemount 5300	УЛМ-31А1-НФ-Ф-ЛС
Диапазон измерений	до 23,5 м	до 50 м	0,6...1,5 м
Температура дымовых газов	-40...150°C	-196...400°C	неограничено
Выходные сигналы	4-20 мА	4-20 мА	4-20 мА
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	±5 мм	±3 мм	±5 мм

Из таблицы 8, видно, что наиболее подходящим и лучшим вариантом является «УЛМ-31А1-НФ-Ф-ЛС» [29], так как он соответствует необходимому значению измеряемого технологического параметра, а также условиям измерения, а именно температуре измеряемой среды.

4.2.5 Выбор газоанализатора промышленного

При выборе газоанализатора важно учитывать не только диапазон измерений концентрации газов, но и температуры измеряемых газов, тип измеряемых газов. В таблице 9 рассмотрены характеристики некоторых газоанализаторов разных производителей [30–32].

Таблица 9 – Технические характеристики газоанализаторов

	АГМ-501	АІУІ АGА1050	Сапфир-СВ
Температура дымовых газов	до 800°C	0...+40°C	-60...+50°C
Выходные сигналы	4-20 мА	4-20 мА	4-20 мА
Каналы измерения	SO ₂ , O ₂	SO ₂	SO ₂ , O ₂

Продолжение таблицы 9

	АГМ-501	AIYI AGA1050	Сапфир-СВ
Диапазон измерения SO ₂	0–250 ppm	0-13000 мг/м ³	0–320 мг/м ³
O ₂	0–10%		0–25%
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	±2%	±2%	±5%

Из таблицы 8, видно, что наиболее подходящим и лучшим вариантом является «ГАММА 100» [30], т.к. он подходит не только по диапазону измерения концентрации, но и по температуре измеряемой среды.

4.2.6 Выбор частотных преобразователей

Подача топлива, инертного материала и воздуха происходит с помощью конвейеров и дутьевого вентилятора. Мощность данных машин регулируется частотными преобразователями. Частотный преобразователь – оборудование для регулирования частоты вращения и крутящего момента асинхронных двигателей. Для разрабатываемой АСУ были взяты частотные преобразователи производителя ОВЕН ПЧВЗ [33]. Основные характеристики данных преобразователей:

- мощность до 90 кВт;
- трехфазное питание 220 В;
- наличие 2-х аналоговых входов и выходов;
- 17 различных модификаций.

4.2.7 Выбор ПЛК

Для выбора ПЛК необходимо определить количество сигналов в системе (таблица 10).

Таблица 10 – Перечень входных/выходных сигналов

Наименование параметра	AI	AO
Температура кипящего слоя	+	

Продолжение таблицы 10

Наименование параметра	АІ	АО
Температура дымовых газов	+	
Давление–разрежение	+	
Давление пара	+	
Расход воздуха	+	
Расход топлива	+	
Расход инертного материала	+	
Содержание O ₂ , SO ₂	+	
Шнек угольный шлам	+	+
Шнек инертный материал	+	+
Дутьевой вентилятор	+	+

Для разрабатываемой схемы требуется ПЛК с 11-ю аналоговыми входами и 3-мя аналоговыми выходами. Также предпочтительнее выбирать модульный контроллер, т.к. в дальнейшем система может включать в себя контроль других параметров. На основе этих критериев был выбран ПЛК ЭЛСИ–ТМК [34].

ПЛК ЭЛСИ-ТМК обладает модульной архитектурой, что подразумевает выбор модулей для различных функций, а именно модуль центрального процессора, модули дискретного ввода и вывода, модули аналогового ввода и вывода, коммутационные модули, модуль источника питания.

Для системы регулирования выбираем следующие модули:

- модуль центрального процессора ТС 712А8-1005 ЕТН, предназначенный для исполнения программы пользователя;

- модуль аналогового ввода ТА 716 16І DC и модуль аналогового ввода/вывода ТА 713 8І 8О DC, предназначенные для измерения и/или формирования сигналов постоянного тока;

- модуль источника питания ТР 712 024 DC, предназначенный для стабилизированного электропитания всех модулей контроллера от сети постоянного тока с напряжением 24 В;

– для механического объединения модулей контроллера ЭЛСИ-ТМК, организации электрических соединений между ними и для монтажа контроллера на месте установки выбираем коммутационную панель ТК 711 6.

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.010. СО.

5 Разработка монтажной схемы АСУ

Монтажная схема – это схема, на которой изображаются электрические связи между приборами и средствами автоматизации. Монтажную схему разрабатывают для монтажных работ, она дает информацию о необходимых проводах, клеммных коробках и соединениях различного оборудования. В данной работе монтажная схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена в документе с шифром ФЮРА.421000.010 С5.

На схеме провода, идущие от датчиков, промаркированы разными номерами (таблица 11).

Таблица 11 – Маркировка проводов

Номер провода	Сигнал
101–126	Аналоговый сигнал (4-20 мА) о значении технологического параметра, считываемый с датчиков, а также значения мощности частотного производителя, идущий в щит автоматизации
201–208	Питание датчиков (24 В)
301–303	Аналоговый сигнал (4-20 мА) от щита автоматизации (контроллера)

Провода объединяются в кабели, название и характеристики, их представленные в таблице 12.

Таблица 12 – Обозначение кабелей

Позиция	Название	Характеристика
0	ВВГ 4 × 2,5 50 м	Силовой кабель - 4 на 2,5 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 50 м
1	КВВГ 10 × 1,0 50 м	Контрольный кабель - 10 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 50 м
2	КВВГ 14 × 1,0 50 м	Контрольный кабель - 14 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 50 м
3	КВВГ 10 × 1,0 50 м	Контрольный кабель - 10 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 50 м
4–6	ВВГ 4 × 2,5 50 м	Силовой кабель - 4 на 2,5 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 50 м

Продолжение таблицы 12

Позиция	Название	Характеристика
7-9	ВВГ 4 × 2,5 50 м	Силовой кабель - 4 на 2,5 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 50 м
10	КВВГ 4 × 1,0 10 м	Контрольный кабель - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 10 м
11	КВВГ 4 × 1,0 16 м	Контрольный кабель - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 16 м
12	КВВГ 5 × 1,0 18 м	Контрольный кабель - 5 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 18 м
13	КВВГ 5 × 1,0 18 м	Контрольный кабель - 5 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 18 м
14	КВВГ 5 × 1,0 8 м	Контрольный кабель - 5 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 8 м
14	КВВГ 5 × 1,0 12 м	Контрольный кабель - 5 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 12 м
15	КВВГ 5 × 1,0 14 м	Контрольный кабель - 5 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 14 м
16	КВВГ 5 × 1,0 18 м	Контрольный кабель - 5 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 18 м
17	КВВГ 5 × 1,0 16 м	Контрольный кабель - 5 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 16 м
18	КВВГЭ 4 × 1,0 9 м	Контрольный кабель экранированный - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 9 м
19	КВВГЭ 4 × 1,0 10 м	Контрольный кабель экранированный - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 10 м
20	КВВГЭ 4 × 1,0 12 м	Контрольный кабель экранированный - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 12 м
21	КВВГЭ 4 × 1,0 13 м	Контрольный кабель экранированный - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 13 м
22	КВВГЭ 4 × 1,0 16 м	Контрольный кабель экранированный - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 16 м
23	КВВГЭ 4 × 1,0 17 м	Контрольный кабель экранированный - 4 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 17 м

Продолжение таблицы 12

Позиция	Название	Характеристика
24–26	КВВГ 6 × 1,0 50 м	Контрольный кабель - 6 на 1,0 мм ² , с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ, длина 50 м

Для объединения нескольких кабелей используются соединительные клеммные коробки (таблица 13), выбираемые по кол-ву клемм.

Таблица 13 – Обозначение клеммных коробок

Клеммная коробка	Характеристики
КС–10 УХЛ1,5	10 клемм, с сечением жил до 4 мм ² , IP65
КС–8 УХЛ1,5	8 клемм, с сечением жил до 4 мм ² , IP65
КС–16 УХЛ1,5	16 клемм, с сечением жил до 4 мм ² , IP65

В верхней части первого листа схема приведена таблица с наименованием параметров, местами отбора импульсов и позициями датчиков. Под каждой позицией датчиков располагаются датчики температуры, датчики давления, датчики расхода, датчик уровня, газоанализатор. Датчики температуры имеют двухпроводную схему подключения [21]. Датчики давления имеют четырехпроводную схему подключения [22]. Два провода идут в щит автоматизации, по еще двум проводам осуществляется питание от силового щита. В окружности на кабеле приводится маркировка измерительного канала. Кабели № 10–12 сводятся в клеммную коробку через 3 сальника М25, из коробки выходит кабель № 1 через сальник М32 на щит автоматизации. Датчики расхода имеют четырехпроводную схему подключения [23, 26]. Кабели № 13-15 сводятся в клеммную коробку через 3 сальника М25, из коробки выходит кабель № 2 через сальник М32 на щит автоматизации. Датчик уровня имеет четырехпроводную схему подключения [29]. Газоанализатор имеет шестипроводную схему подключения [30]. Для газоанализатора осуществляется питание от силового щита (2 провода). Кабели № 16–17 сводятся в клеммную коробку через 2

сальника М25, из коробки выходит кабель № 3 через сальник М32 на щит автоматизации.

В верхней части второго листа схемы приведена таблица с наименованием и позициями исполнительных механизмов (частотных преобразователей). Частотные преобразователи имеют шестипроводную схему подключения [33]. Три провода осуществляют питание электропривода от силового щита. Кабели № 18–19 сводятся в клеммную коробку через 2 сальника М25, из коробки выходит кабель № 24 через сальник М32 на щит автоматизации. Кабели № 20–21 сводятся в клеммную коробку через 2 сальника М25, из коробки выходит кабель № 25 через сальник М32 на щит автоматизации. Кабели № 22–23 сводятся в клеммную коробку через 2 сальника М25, из коробки выходит кабель № 26 через сальник М32 на щит автоматизации.

В нижней левой части первого и второго листа чертежа находится шкаф автоматизации. Он соединяется с кабелем №0 с щитом силового управления, который расположен в правом верхнем углу второго листа чертежа. Из силового щита исходят кабели 4–9. Кабели №4–6 предназначены для питания датчиков давления и газоанализатора, кабели №7–9 предназначены для питания частотных преобразователей. Остальные датчики (датчики расхода и датчик уровня) питаются от источника питания, установленного в щите автоматизации по проводам 201–208.

6 Разработка принципиальной электрической схемы

Разработка принципиальной электрической схемы производится для соединения датчиков полевого уровня и ПЛК, находящийся в шкафу автоматизации. Также на электрической схеме изображаются различные подсистемы для шкафа автоматизации. Принципиальная электрическая схема приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.010 С5.

На первом листе электрической схеме представлены подсистемы питания и микроклимата щита управления. Основными элементами данных подсистем является источник питания, соединенный с розеткой (XS0). С источником питания соединен блок защиты от перенапряжения (ZO1), предназначенный для защиты элементов щита управления от короткого замыкания, вызванного скачком напряжения в сети. Также к подсистеме питания относится блок питания (G1), источник бесперебойного питания (G2), аккумуляторная батарея (GB1), автоматического выключателя (QF1).

Подсистема микроклимата щита управления состоит из фильтрующей вентилятор (M), термостат (KK1), прибор осветительный (EL1), выключатель двери концевой (SQ1) для автоматического включения осветительного прибора при открывании двери. Вентилятор начинает работать при достижении верхней границы температуры, установленной на термостате.

На листах 2–4 изображены подключения датчиков полевого уровня к модулям аналогового входа и выхода. Сигналы от датчиков полевого уровня поступают к модулям ПЛК через разделительные преобразователи (UY1.1-9.1). Сигналы, поступающие от ПЛК к частотным преобразователям также проходя через распределительные преобразователи.

Все элементы, используемые в принципиальной электрической схеме указаны на листе с шифром ФЮРА.421000.010 ПЭ4.

7 Разработка чертежа общего вида щита управления

Чертеж общего вида разрабатывается для компоновки элементов электрической схемы в щите управления, проводов к оборудованию, расположенному внутри. Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.010 ВО.

Исходя из объема технических средств, определенных на этапе разработки электрической схемы, и их количества, был выбран навесной шкаф Rittal AE RAL7035 размером 800x1200x300.

В верхней части шкафа расположены концевой выключатель (SQ1) и лампа (EL1). В верхнем ряду расположен контроллер с модулями (AC1), источник питания (G1), источник бесперебойного питания (G2) и диодный модуль (VD1), во втором ряду расположены средства защиты, питания, блоки зажимов (XT0, XT02, XT03) и аккумуляторный модуль (GB1).

В третьем ряду расположены разделительные преобразователи (UY1...UY8), реле (K1...K12) и блок зажимов XT01.

В нижней части шкафа в несколько рядов расположены блоки зажимов XT1-XT11.

Оборудование размещается на DIN-рейке NS 35/4,5 ZN UNPERF. Прокладка соединений предусмотрена в закрытых коробах. На двери шкафа размещены вентилятор, лампочки и ручка.

В нижней части чертежа представлен полный перечень основных находящихся в шкафу элементов.

Чертеж выполнен в масштабе 1:10. Масса шкафа – 80 кг.

8 Разработка прототипа SCADA–системы

SCADA – это система, предназначенная для визуализации процесса, отображения, обработки и хранения информации. Одной из основных подсистем SCADA является человеко–машинный интерфейс. Человеко–машинный интерфейс подразумевает под собой взаимодействие человека-оператора и управляемых им машин. Поэтому важно разрабатывать мнемосхемы работы технологического процесса, охватывающие максимальный объем данных.

В данной работе под мнемосхемой понимается макет экрана оператора для отображения процесса сжигания топлива в котле с ЦКС. Макет разрабатывался в программной среде MasterSCADA (рисунок 15).

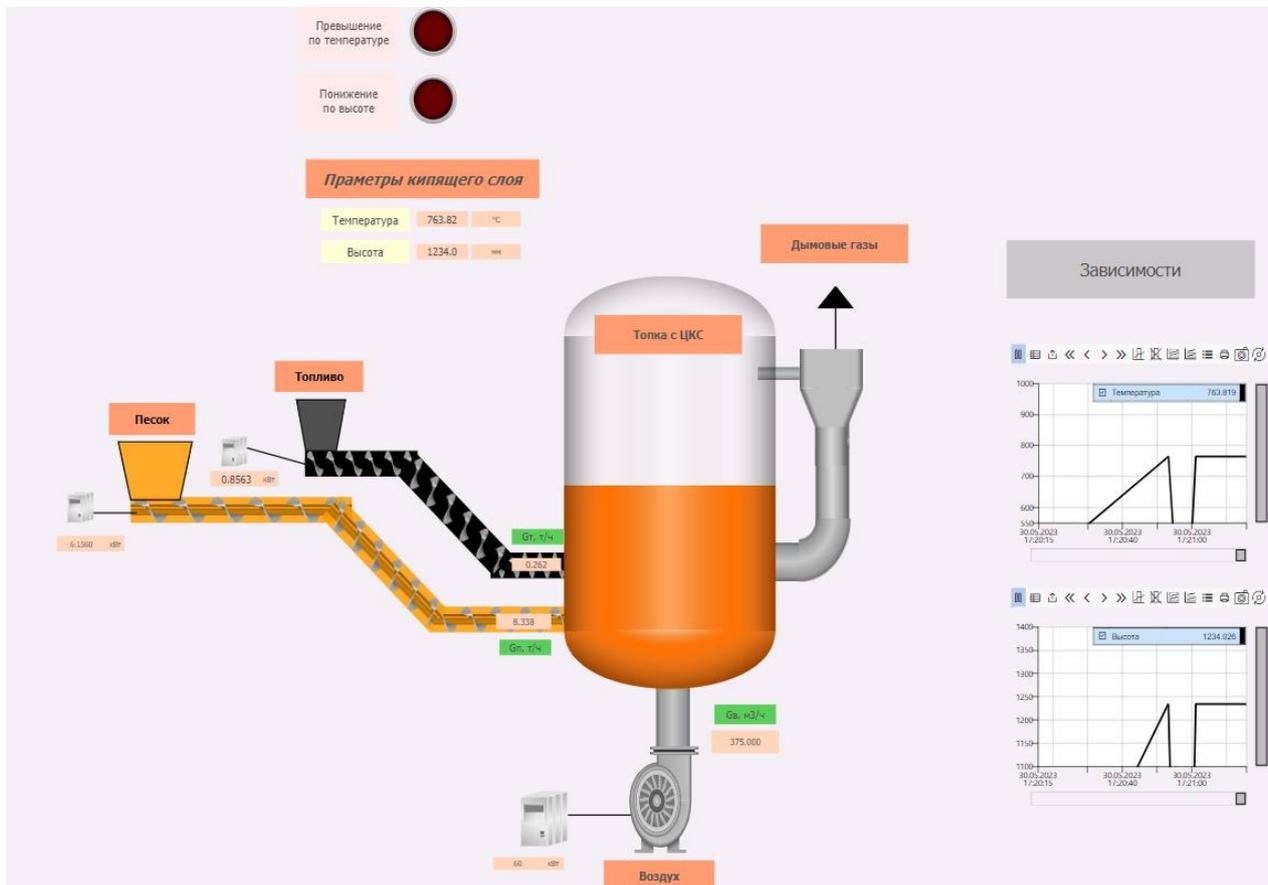


Рисунок 15 – Прототип SCADA-системы

На рисунке 15 изображены основные элементы технологического процесса, такие как топочная камера котла с ЦКС, циклон из которого отходят дымовые газы, бункеры с топливом и песком, дутьевой вентилятор. Топливо и песок подаются в топку с помощью шнеков, воздух с помощью дутьевого вентилятора. На трубопроводах в светлых квадратах указаны текущие значения

расхода топлива и песка. Рядом с дутьевым вентилятором расположен светлый квадрат с текущим значение расхода воздуха.

В верхней части рисунка расположены лампы сигнализации, загорающиеся при превышении температуры равной 900°C и при понижении высоты кипящего слоя равной 1200 мм. Ниже расположен блок с текущими параметрами кипящего слоя. В правой части рисунка видны тренды температуры и высоты кипящего слоя.

Зависимости параметров были прописаны в коде на языке ST (структурированный текст):

```
IF ( Генерация_топлива = TRUE ) THEN
```

```
Расход_топлива := 0.3029 * Мощность + 0.0028;
```

```
END_IF;
```

```
IF ( Генерация_топлива = TRUE ) THEN
```

```
Температура := 1017.3697 * Расход_топлива + 497.1;
```

```
END_IF;
```

```
IF ( авто = TRUE ) THEN
```

```
Расход_инертного_материала := 0.9848 * Мощность_инертный_материал  
+ 2.2760;
```

```
END_IF;
```

```
if ( Генерация_топлива = TRUE ) THEN
```

```
Высота := 64.1601 * Расход_инертного_материала + 699.0341;
```

```
END_IF.
```

9 Расчет параметров настройки регулятора

В любой АСР управляющее воздействие на объект регулирования формируется автоматическим регулятором в соответствии с принятым алгоритмом регулирования и его требуемым качеством. Необходимым условием надежной и устойчивой работы АСР является правильный выбор типа регулятора и его настроек, гарантирующий требуемое качество регулирования. [35].

Для повышения качества переходных процессов в автоматических системах с запаздыванием, превышающим по значению наибольшее из постоянных времен объекта, используют переключение параметров в ПИ-регуляторе. Одной из задач, возникающих при промышленной реализации регуляторов переменной структуры, является определение оптимальных настраиваемых параметров, доставляющих экстремальное значение принятому критерию оптимальности [36].

В связи с широким применением систем регулирования, определение оптимальных параметров настройки регуляторов остаётся актуальной задачей. Для оптимальной настройки регуляторов довольно часто используются точные методы, к которым относятся графоаналитический метод В.Я. Ротача [37] и метод расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ) [38].

9.1 Идентификация объекта управления

Идентификация – это один из методов построения математической модели динамического объекта на основе данных, полученных экспериментально. Математической моделью может являться математическое выражение, описывающее поведение системы во времени.

В данной работе для идентификации объекта управления был использован тренд температуры кипящего слоя котла [39] (рисунок 16).

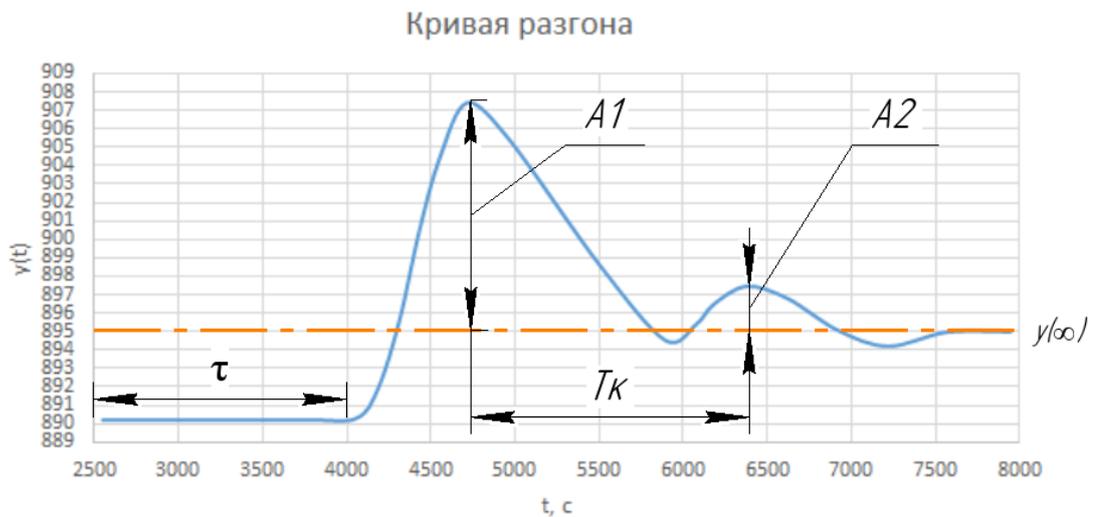


Рисунок 16 – Кривая разгона объекта управления

Для определения передаточной функции объекта на рисунке 1 следует отметить $A1$ – первая динамическая ошибка, $A2$ – вторая динамическая ошибка, T_k – время между динамическими ошибками, τ – время запаздывания, $y(\infty) = K$ – коэффициент передачи.

Передаточной функцией объекта является апериодическое звено второго порядка с запаздыванием:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1} e^{-P\tau},$$

где K – коэффициент передачи, P – оператор Лапласа, T_1 и T_2 – постоянные времени, τ – время запаздывания.

Далее необходимо найти параметры α и β , они находятся по формулам:

$$\alpha = \frac{-\ln\left(\frac{A2}{A1}\right)}{T_k};$$

$$\beta = \frac{2\pi}{T_k}.$$

Зная параметры системы можно определить постоянные времени T_1 и T_2 :

$$T_1 = \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2};$$

$$T_2 = \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2}.$$

По графику определяем:

$$A1 = 12,43;$$

$$A2 = 2,45;$$

$$y(\infty) = K = 895 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_K = 1902,21 \text{ с};$$

$$\tau = 4000 \text{ с}.$$

С помощью формул рассчитываем:

$$\alpha = \frac{-\ln\left(\frac{A2}{A1}\right)}{T_K} = \frac{-\ln\left(\frac{2,45}{12,43}\right)}{1902,21} = 8,54 \cdot 10^{-4};$$

$$\beta = \frac{2\pi}{T_K} = \frac{2\pi}{1902,21} = 33,03 \cdot 10^{-4};$$

$$T_1 = \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} = \frac{2 \cdot 8,54 \cdot 10^{-4}}{8,54 \cdot 10^{-4^2} + 33,03 \cdot 10^{-4^2}} = 146,746;$$

$$T_2 = \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} = \frac{1}{8,54 \cdot 10^{-4^2} + 33,03 \cdot 10^{-4^2}} = 85917,111.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{об}(P) = \frac{895}{85917,111P^2 + 146,746P + 1} e^{-4000P}.$$

9.2 Расчет параметров настройки регулятора

Структурная схема регулирования представлена на рисунке 17:

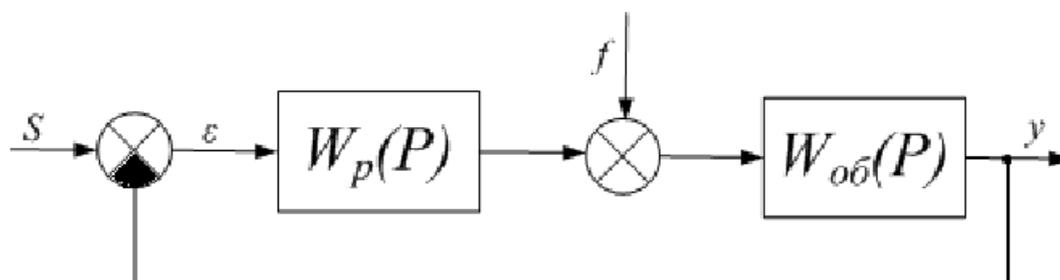


Рисунок 17 – Структурная схема регулирования

Для расчета оптимальных настроек регулятора зададим степень затухания $\psi = 0,8$. Т.к. процесс обладает колебательным характером, в качестве интегральной оценки примем вторую интегральную оценку $I_2 = \int_0^\infty \varepsilon(t)^2 dt$.

9.2.1 Расчет и определение границы запаса устойчивости для данной АСР

В данной работе для расчета параметров настройки регулятора использован метод РАФЧХ.

Для начала необходимо знать параметр, по которому будет осуществляться параметрический синтез. В данном случае это степень затухания $\psi = 0,8$. Зная степень затухания можно определить степень колебательности m .

$$m = -\frac{\ln(1 - \psi)}{2\pi} = -\frac{\ln(1 - 0,8)}{2\pi} \approx 0,256,$$

где ψ – заданная степень затухания переходного процесса в заданной системе регулирования.

Для определения расширенных частотных характеристик звена необходимо провести замену оператора Лапласа в передаточной функции звена. Существует два вида замены $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ или $p = -\eta + i \cdot \omega$, где ω – частота, c^{-1} , m – степень колебательности системы, η – степень устойчивости системы. Первый вид замены используется для построения границы заданной степени колебательности системы, второй – для построения границы степени устойчивости системы в плоскости параметров настройки регулятора. В работе воспользуемся первым видом замены.

Передаточная функция объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{895}{85917,111P^2 + 146,746P + 1} e^{-4000P}.$$

Производим замену $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$:

$$W_{об}(m, i\omega)$$

$$= \frac{895}{85917,111(-m \cdot \omega + i \cdot \omega)^2 + 146,746(-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1} e^{-4000(-m \cdot \omega + i \cdot \omega)}.$$

Для построения РАФЧХ объекта регулирования необходимо определить расширенную вещественную частотную характеристику (РВЧХ) и расширенную мнимую частотную характеристику (РМЧХ). Для этого воспользуемся программой Mathcad задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ c}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 5 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ и конечное значение частоты $\omega = 12,5 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$.

Также с помощью программы Mathcad необходимо рассчитать настройки регулятора K_p и $\frac{K_p}{T_i}$ по расчетным формулам для ПИ-регулятора:

$$\frac{K_p}{T_i} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)};$$

$$K_p = - \frac{m \cdot Im_{o6}(m, \omega) + Re_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)},$$

где K_p – коэффициент передачи ПИ-регулятора, T_i – постоянная интегрирования ПИ-регулятора, $Im_{o6}(m, \omega)$ – расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ), $Re_{o6}(m, \omega)$ – расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ), $A_{o6}(m, \omega) = \sqrt{Re_{o6}^2(m, \omega) + Im_{o6}^2(m, \omega)}$ – расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ). Результаты расчетов приведены в таблице 40.

Таблица 40 – Расширенные частотные характеристики и параметры настройки регулятора

ω, c^{-1}	$Re(m, \omega)$	$Im(m, \omega)$	$A(m, \omega)$	$\frac{K_p}{T_i}$	K_p
0	895	0	895	0	-0,001117318
0,00005	923,75653	-194,23	943,9552139	$1,16132 \cdot 10^{-8}$	-0,000980901
0,0001	911,686306	-400,916	995,9444408	$4,30676 \cdot 10^{-8}$	-0,000815654
0,00015	854,813691	-611,779	1051,180183	$8,84911 \cdot 10^{-8}$	-0,000631865
0,0002	750,772457	-817,435	1109,89174	$1,41413 \cdot 10^{-7}$	-0,000439587
0,00025	599,088039	-1007,69	1172,326736	$1,95316 \cdot 10^{-7}$	-0,000248204
0,0003	401,408318	-1171,91	1238,752801	$2,44127 \cdot 10^{-7}$	$-6,60789 \cdot 10^{-5}$
0,00035	161,667623	-1299,44	1309,459428	$2,82624 \cdot 10^{-7}$	$9,97206 \cdot 10^{-5}$
0,0004	-113,83023	-1380,07	1384,76004	$3,06748 \cdot 10^{-7}$	0,000243606
0,0005	-735,199925	-1365,14685	1550,530513	$3,02522 \cdot 10^{-7}$	0,00045116978
0,00055	-1057,2327	-1256,05	1641,768729	$2,73095 \cdot 10^{-7}$	0,000511531
0,0006	-1367,9047	-1073,99	1739,143615	$2,27012 \cdot 10^{-7}$	0,000543158
0,00065	-1651,3632	-818,609	1843,128109	$1,66896 \cdot 10^{-7}$	0,000547795

Продолжение таблицы 40

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(m, \omega)$	$Im(m, \omega)$	$A(m, \omega)$	$\frac{K_p}{T_n}$	K_p
0,0007	-1891,0728	-492,836	1954,237326	$9,62529 \cdot 10^{-8}$	0,000528205
0,00075	-2070,4645	-103,162	2073,032968	$1,91838 \cdot 10^{-8}$	0,000487933
0,0008	-2173,6641	340,2188	2200,128267	$-5,9913 \cdot 10^{-8}$	0,000431059
0,00085	-2186,2779	823,401	2336,193554	$-1,3664 \cdot 10^{-7}$	0,000361957
0,0009	-2096,2116	1328,922	2481,962541	$-2,0688 \cdot 10^{-7}$	0,00028506
0,00095	-1894,4906	1836,086	2638,239407	$-2,6703 \cdot 10^{-7}$	0,000204654
0,001	-1576,0497	2321,461	2805,906837	$-3,1418 \cdot 10^{-7}$	0,000124697
0,00105	-1140,456	2759,56	2985,935142	$-3,4629 \cdot 10^{-7}$	$4,86786 \cdot 10^{-5}$
0,0011	-592,5252	3123,692	3179,392643	$-3,6219 \cdot 10^{-7}$	$-2,04916 \cdot 10^{-5}$
0,00115	57,2027606	3386,975	3387,457519	$-3,6168 \cdot 10^{-7}$	$-8,05472 \cdot 10^{-5}$
0,0012	792,169721	3523,479	3611,431369	$-3,4543 \cdot 10^{-7}$	-0,000129898
0,00125	1589,718169	3509,489357	3852,754781	$-3,14905 \cdot 10^{-7}$	-0,000167623

На рисунке 18 представлен РАФЧХ объекта. Также на рисунке 4 приведен график границы запаса устойчивости, где подбираются оптимальные параметры настройки регулятора. Т.к. в качестве интегральной оценки была взята вторая интегральная оценка, то оптимальные настройки регулятора соответствует значению равному 0,95 от максимального значения.

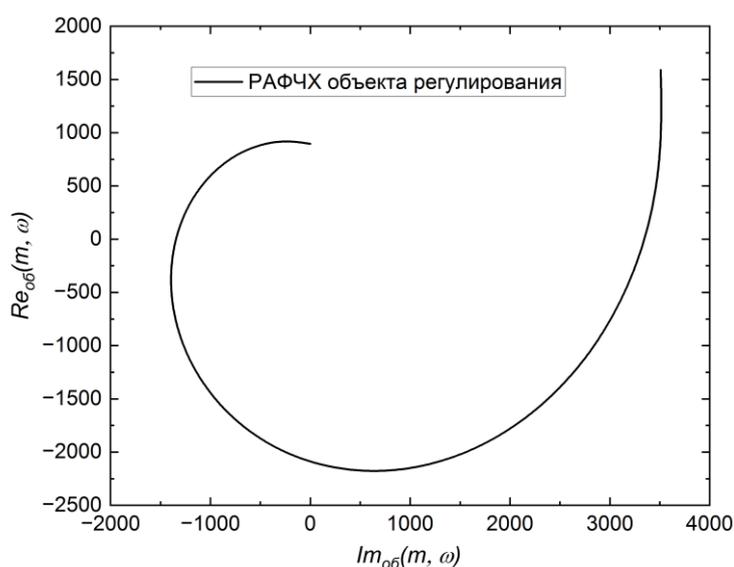


Рисунок 18 – РАФЧХ объекта регулирования

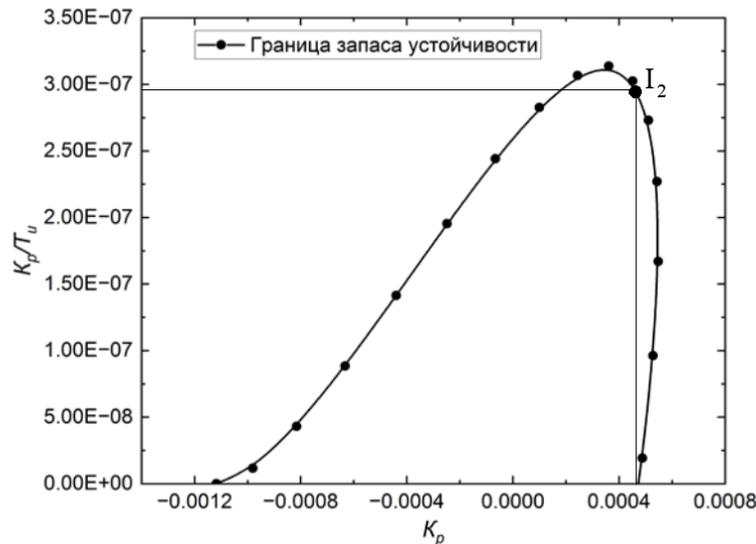


Рисунок 19 – График границы запаса устойчивости

Точка, отмеченная на рисунке 18, как I_2 соответствует параметрам настройки регулятора, удовлетворяющие второй интегральной оценке качества. Таким образом оптимальные параметры настройки регулятора:

$$K_p = 4,6 \cdot 10^{-4}; \frac{K_p}{T_i} = 2,981 \cdot 10^{-7}; T_i = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_i}} = \frac{4,6 \cdot 10^{-4}}{2,981 \cdot 10^{-7}} = 1543,1; \omega_{рез} = 5,072,981 \cdot 10^{-4}.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i P}\right) = 4,6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{1}{1543,1P}\right).$$

9.3 Построение переходного процесса АСР по каналу задания s-y

Для построения и расчета переходных процессов чаще всего используют частотные методы. Два основных: метод трапеций и метод интегрального синуса. Эти методы основаны на построении переходных процессов с помощью вещественной частотной характеристики (ВЧХ) системы. В данной работе будет использован метод интегрального синуса. Он основан на применении так называемой формулы интегрального синуса, устанавливающей связь между вещественной частотной характеристикой системы и её переходным процессом в виде интеграла, который определяется численными методами на компьютере с применением современных вычислительных пакетов типа MATCAD или MATLAB.

Для расчета переходного процесса берется интеграл, который содержит интегральный синус:

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

Для получения вещественной частотной характеристики системы необходимо получить эквивалентную передаточную функцию системы по каналу задания (s-y). Для этого необходимо знать передаточные функции объекта и регулятора. Вывод эквивалентной передаточной функции по каналу задания:

$$W_{s-y} = \frac{Y(P)}{S(P)};$$

$$\varepsilon(P) = S(P) - Y(P);$$

$$\varepsilon(P) \cdot W_p \cdot W_{об} = Y(P);$$

$$(S(P) - Y(P)) \cdot W_p \cdot W_{об} = Y(P);$$

$$S(P) \cdot W_p \cdot W_{об} = Y(P) \cdot (1 + W_p \cdot W_{об});$$

$$\frac{Y(P)}{S(P)} = \frac{W_p \cdot W_{об}}{1 + W_p \cdot W_{об}};$$

$$W_{s-y} = \frac{W_p \cdot W_{об}}{1 + W_p \cdot W_{об}}.$$

9.3.1 Определение вещественной частотной характеристики АСР по каналу задания

$$W_{\text{сис}}(P)_{s-y} = \frac{W_p(P) \cdot W_{об}(P)}{1 + W_p(P) \cdot W_{об}(P)}$$

$$= \frac{4,6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{1}{1543,1P}\right) \cdot \frac{895}{85917,111P^2 + 146,746P + 1} e^{-4000P}}{1 + 4,6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{1}{1543,1P}\right) \cdot \frac{895}{85917,111P^2 + 146,746P + 1} e^{-4000P}},$$

где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора, $W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта регулирования.

Для расчета ВЧХ системы необходимо провести замену оператора Лапласа $p = i\omega$:

$$W_{\text{сис}}(i\omega)_{s-y}$$

$$= \frac{4,6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{1}{1543,1i\omega}\right) \cdot \frac{895}{85917,111(i\omega)^2 + 146,746i\omega + 1} e^{-4000i\omega}}{1 + 4,6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{1}{1543,1i\omega}\right) \cdot \frac{895}{85917,111(i\omega)^2 + 146,746i\omega + 1} e^{-4000i\omega}}$$

Для расчета воспользуемся программой Mathcad задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$ и конечное значение частоты $\omega = 0,05 \text{ с}^{-1}$. Значения $Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}$ указаны в таблице 41.

Таблица 41 – Расчет вещественной частотной характеристики (ВЧХ) системы по каналу задания

ω	$Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}$
0	1
0,005	-0,21979
0,01	0,031185
0,015	0,021289
0,02	0,002176
0,025	-0,00657
0,03	-0,00451
0,035	0,000676
0,04	0,002915
0,045	0,00147
0,05	-0,0009

На рисунке 20 представлен график ВЧХ системы, где точкой обозначена резонансная частота $\omega_{\text{рез}} = 0,018 \text{ с}^{-1}$.

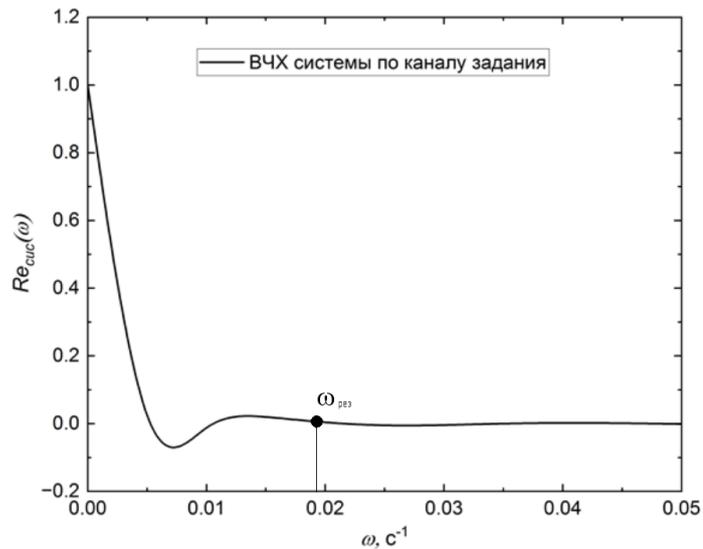


Рисунок 20 – ВЧХ системы

По формуле интегрального синуса рассчитываем переходный процесс с помощью программы Mathcad при $s(t)=895\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{\text{pez}}} \frac{Re(\omega) \cdot s(t)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega$$

$$= \frac{2 \cdot 895}{\pi} \int_0^{0,018} \frac{Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

Задаём диапазон изменения времени $t = 0..16000\text{ с}$ с шагом $\Delta t = 500\text{ с}$ и получаем результат, указанный в таблице 42.

Таблица 42 – Расчет переходного процесса

t, с	y(t)	t, с	y(t)
0	0	8500	904,02
500	$6,92 \cdot 10^{-5}$	9000	905,95
1000	$1,14 \cdot 10^{-4}$	9500	889,996
1500	$1,12 \cdot 10^{-4}$	10000	890,903
2000	$3,46 \cdot 10^{-5}$	10500	897,571
2500	$-1,56 \cdot 10^{-4}$	11000	896,325
3000	$-5,57 \cdot 10^{-4}$	11500	893,708
3500	$-1,64 \cdot 10^{-3}$	12000	894,509
4000	$6,82 \cdot 10^{-4}$	12500	895,518
4500	791,585	13000	895,175
5000	1287	13500	894,672

Продолжение таблицы 42

t, с	y(t)	t, с	y(t)
5500	898,053	14000	895,024
6000	727,924	14500	895,169
6500	911,268	15000	894,95
7000	964,474	15500	894,944
7500	880,696	16000	894,901

Переходный процесс изображен на рисунке 21.

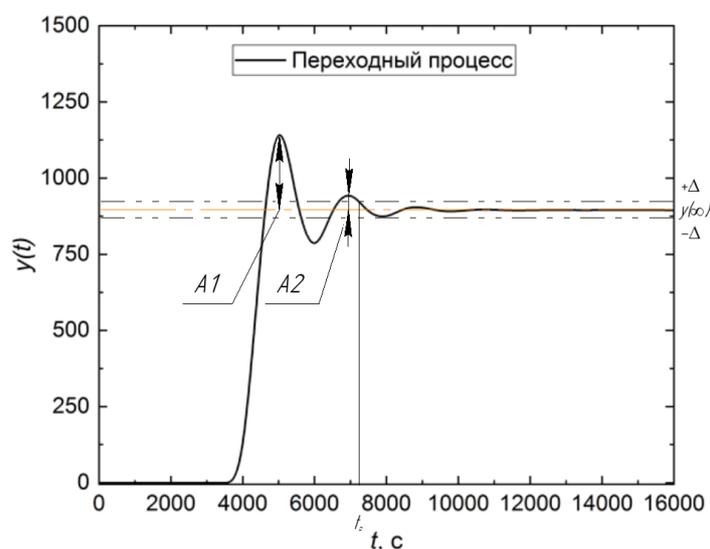


Рисунок 21 – Переходный процесс системы

9.4 Оценка качества переходного процесса

Оценки качества переходного процесса указывают на качество регулирования. Под качеством регулирования понимается совокупность различных показателей, с помощью которых можно оценить быстродействие, эффективность воздействия и надежность системы с регулятором, а также степень удовлетворенности требований, выдвинутых заказчиком. Оценка качества переходного процесса осуществлялась с помощью рисунка 21 и таблицы 42.

Существуют прямые и косвенные оценки качества, к прямым оценкам качества относятся:

- 1) Динамическая ошибка:

$$A_1 = 392.$$

2) Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{392 \cdot 100\%}{895} = 43,8\%.$$

3) Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{ст} = S(t) - y(\infty) = 895 - 895 = 0.$$

где $S(t)$ – величина сигнала задания.

4) Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{392 - 69,474}{392} = 0,82,$$

где A_2 – вторая амплитуда колебания.

5) Время регулирования $t_p = 7147$ с.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Карташовой Ксении Андреевне

Школа	ИШЭ	Отделение школы (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: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- коэффициент дополнительной заработной платы – 0,12; - норма амортизации – 3-20% - накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общий режим налогообложения. Тариф страховых взносов – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей, конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа.
2. Планирование и формирование бюджета	Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Карташова Ксения Андреевна		

10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – произвести расчет нормативной продолжительности выполнения работ согласно теме ВКР и представить календарный график работ с расчетом отдельных статей сметы. В случае, если в ВКР предусмотрено применение новой техники и технологии, необходимо произвести расчет экономической эффективности мероприятия либо сделать обоснование целесообразности разработки инвестиционного проекта.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование и формирование бюджета;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.

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

10.1.1 Анализ конкурентноспособности технических решений

Сравнение производится по трем технологическим методам сжигания промышленных отходов:

- 1) Технология по схеме «пиролиз-сжигание»;
- 2) Технология циркулирующего кипящего слоя (текущий проект);
- 3) Технология слоевого сжигания.

Таблица 43 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{п-с}	Б _{цкс}	Б _{сс}	К _{п-с}	К _{цкс}	К _{сс}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Надежность	0,1	2	4	3	0,2	0,4	0,3
Экологичность	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
Возможность применения технологии на производстве	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
Удобство эксплуатации	0,05	3	3	3	0,45	0,45	0,45
Актуальность исследования	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Качество регулирования	0,1	4	4	4	0,6	0,6	0,6
Эффективность применения	0,1	3	4	3	0,45	0,6	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
Стоимость обслуживания	0,05	2	4	3	0,3	0,6	0,45
Срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,6	0,6	0,6
Цена	0,05	2	4	2	0,3	0,6	0,3
Итого	1	32	41	35	4,7	5,95	5,1

По итогам анализа конкурентоспособности технических решений, можно сделать вывод, что наше исследование является наиболее перспективным по сравнению с другими.

Анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot Б_i,$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – балл -го показателя.

$$\begin{aligned} K_{П-С} &= \sum B_i \cdot Б_i \\ &= 0,1 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 2 \\ &\quad + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 2 = 4,7, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{ЦКС} &= \sum B_i \cdot Б_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 \\ &\quad + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 5,95, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{СС} &= \sum B_i \cdot Б_i \\ &= 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 \\ &\quad + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 2 = 5,1. \end{aligned}$$

10.1.2 Матрица SWOT

С помощью SWOT-анализа можно оценить внутренние ресурсы проекта и сопоставить их с внешними факторами; определить внутренние и внешние риски, а также рассмотреть варианты их минимизации и, возможно, предотвращения.

В таблице 44 приведена итоговая матрица SWOT.

Таблица 44 – Матрица SWOT анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Ориентировочность системы на уменьшение выбросов с предприятия.</p> <p>С2. Использование твердых промышленных отходов в качестве топлива.</p> <p>С3. Высокая надежность системы.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Повышение потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>Сл2. Сложность монтажа.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Повышенный спрос на продукт.</p> <p>В2. Ужесточение требований к выбросам загрязняющих веществ.</p> <p>В3. Повышение стоимости на конкурентные разработки.</p>	<p>СИВ:</p> <p>1.Повышение спроса из-за применения надежного, современного оборудования.</p> <p>2.Повышение спроса на продукт из-за применения экологичной технологии.</p> <p>Снижение затрат предприятия за счет применения более дешевого топлива.</p>	<p>СЛиВ:</p> <p>1.Повышение спроса на установку/топливо приведет к повышению потребности в квалифицированном персонале.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Появление новых проектных решений.</p> <p>У2. Повышение стоимости на компоненты системы.</p> <p>У3. Повышение стоимости используемого топлива.</p>	<p>СИУ:</p> <p>1.В связи с ориентированностью системы на два вида топлива и необходимостью подготовки топлива, повышение стоимости используемого топлива приведет к снижению спроса.</p> <p>Повышение стоимости на топливо приведет к удорожанию установки в целом.</p>	<p>СЛУ:</p> <p>1.Появление новых проектных решений, упрощающих монтаж установки.</p> <p>2.Повышение стоимости топлива и компонентов системы, а также высокие требования к умению персонала может привести к большому сроку окупаемости системы.</p>

На основе вышеприведенных пунктов можно сделать вывод, что главным достоинством технологии является экологичность, что важно для всех стран.

Данная технология только начинает внедряться, и с каждым годом она будет все больше исследоваться, будут разрабатываться новые установки, что приведет к минимизации недостатков или даже к их устранению.

Из полученных результатов видно, что данная технология является перспективной, что свидетельствует большое количество сильных сторон.

10.2 Планирование научно-исследовательских работ

10.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

При реализации проекта необходимо планировать занятость каждого из участников и сроки проведения работ.

Таблица 45 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инженер
	3	Календарное планирование работ	НР
	4	Подготовка композиционного жидкого топлива для проведения исследований	Инженер
	5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	Инженер
	6	Обработка полученных данных	НР, инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности результатов	НР
Разработка технической документации и проектирование	8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схему, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Разработка технической документации и проектирование

Продолжение таблицы 45

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технической документации и проектирование	9	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инженер
	10	Внесение исправлений в чертежи и доработка описания к ним.	Инженер
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	Инженер

10.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

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

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Продолжительность каждой работы, учитывающую параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни:

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности:

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

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;

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

В таблице 45 укажем перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 45 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}		Длительность работ в кал. днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	НР	1	-	1	-
Поиск и изучение литературы по выбранной теме	2	7	4	Инж.	-	4	-	8
Календарное планирование работ	1	1	1	НР	1	-	1	-
Подготовка низкосортного топлива для проведения исследований	1	2	1,4	Инж.	-	1,4	-	3

Продолжение таблицы 45

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}		Длительность работ в кал.днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик горения топлива, в зависимости от его влажности	7	25	14,2	Инж.	-	14,2	-	28
Обработка полученных данных	3	6	4,2	НР, инж.	2,1	2,1	5	5
Оценка эффективности результатов	2	5	3,2	НР	3,2	-	7	-
Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР	7	21	8,2	Инж.	-	8,2	-	26
Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	7	10	8,2	Инж.	-	8,2	-	16

Продолжение таблицы 45

Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	2	6	3,6	Инж.	-	3,6	-	7
Составление пояснительной записки	4	8	5,6	Инж.	-	5,6	-	11
Итого	47	92	65	-	7,3	50,2	14	101

Таблица 46 – График Ганта

	Вид работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	НР	1	■												
2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инж	8	■												
3	Календарное планирование работ	НР	1		■											
4	Подготовка низкосортного топлива для проведения исследований.	Инж	3		■											
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик горения топлива, в зависимости от его влажности.	Инж	28		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Обработка полученных данных	НР, инж	5													
7	Оценка эффективности результатов	НР	7													

Продолжение таблицы 46

8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Инж	26											
9	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним.	Инж	16											
10	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инж	7											
11	Составление пояснительной записки	Инж	11											



-Научный руководитель;



-Инженер

График Ганта строится для максимального по длительности исполнения работ на основе вышеприведенной таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10) дней за период времени написания ВКР.

10.3 Бюджет научно-технического исследования

10.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции (в нашем случае для производства низкосортного влажного топлива).

Таблица 47 – Материальные затраты

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Вода дистиллированная	л	2	40	80
Угольный шлам	Кг	2	70	140
Древесные отходы	Кг	2	230	460
Итого				680

10.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Необходимым оборудованием для проведения работ в рамках исследования является муфельная трубчатая печь R20/250/12, координатные механизм с модулем сопряжения КТ179, персональный компьютер, видеокамера Phantom Miro C110.

Норма амортизации:

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

где n – срок полезного использования в количества лет.

Норма амортизации для муфельной трубчатой печи R20/250/12:

$$H_A = \frac{1}{35} = 0,03\%.$$

Норма амортизации для координатного механизма с модулем сопряжения

КТ179:

$$H_A = \frac{1}{15} = 0,07\%.$$

Норма амортизации для персонального компьютера:

$$H_A = \frac{1}{5} = 0,2\%.$$

Норма амортизации для видеокамеры Phantom Miro C110:

$$H_A = \frac{1}{50} = 0,02\%.$$

Амортизация оборудования:

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

где И – итоговая сумма, тыс. руб.;

m время использования, мес.

Амортизация для муфельной трубчатой печи R20/250/12:

$$A = \frac{0,03 \cdot 150000}{12} \cdot 0,2 = 75 \text{ руб.}$$

Амортизация для координатного механизма с модулем сопряжения

КТ179:

$$A = \frac{0,07 \cdot 95000}{12} \cdot 0,2 = 111 \text{ руб.}$$

Амортизация для персонального компьютера:

$$A = \frac{0,2 \cdot 50000}{12} \cdot 0,2 = 167 \text{ руб.}$$

Амортизация для видеокамеры Phantom Miro C110:

$$A = \frac{0,02 \cdot 4000000}{12} \cdot 0,2 = 13333 \text{ руб.}$$

Таблица 48 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Количество	Срок полезного использования	Цена оборудования, тыс. руб.	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Амортизация
1	Муфельная трубчатая печь R20/250/12	1	35	150000	0,2	0,03	75
2	Координатный механизм с модулем сопряжения КТ179	1	15	95000	0,2	0,07	111
3	Персональный компьютер	1	5	50000	0,2	0,2	167
4	Видеокамеры Phantom Miro C11	1	50	4000000	0,2	0,02	13333
Итого:							13686 руб.

10.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата работника:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 3279,9 \cdot 7,3 = 23943,27 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1638 \cdot 50,2 = 82227,6 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дня $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 49 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Выходные/праздники	67	118
Отпуск/невыходы по болезни	55	31
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	216

Среднедневная заработная плата научного руководителя (6-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{76635 \cdot 10,4}{243} = 3279,9 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера (5-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{31590 \cdot 11,2}{216} = 1638 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

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

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5.

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 39300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 76635 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ руб.}$$

Таблица 50 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3279,9	7,5	23943,27
Инж	16200	0,3	0,2	1,3	31590	1638	50,2	82227,6
Итого $Z_{осн}$								106170,87

10.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Доп. заработная плата научного руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 23943,27 = 2873,2.$$

Доп. заработная плата инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 138902,4 = 9867,3.$$

10.3.5 Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (23943,27 + 2873,2) = 8044,941 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (82227,6 + 9867,3) = 27628,47 \text{ руб.}$$

10.3.6 Накладные расходы

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

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, равен 0,16.

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

Таблица 51 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	680
Затраты на оборудование	13686
Затраты на основную заработную плату	106170,87
Затраты на дополнительную заработную плату	12740,5
Отчисления во внебюджетные фонды	35673,411
Накладные расходы:	27032,125

10.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 52 – Бюджет затрат НИИ

Наименование	Сумма, руб.			Примечание
	Текущий проект	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты	2050	680	1050	Пункт 1.3.1
Затраты на оборудование	6434,2	13686	15698	Пункт 1.3.2
Затраты на основную заработную плату	145684,1	106170,87	115643,9	Пункт 1.3.3
Затраты на дополнительную заработную плату	8940,6	12740,5	18625,24	Пункт 1.3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	14653,2	35673,411	43256,6	Пункт 1.3.5
Накладные расходы	24530,481	27032,125	31562,78	Пункт 1.3.6
Бюджет затрат НИИ	202292,6	195982,9	225836,5	Сумма ст. 1–6

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

Интегральный показатель финансовой эффективности:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИР.

$$\Phi_{p1} = 202292,6 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 195982,9 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p3} = 225836,5 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{202292,6}{225836,5} = 0,895,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{195982,9}{225836,5} = 0,87,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{225836,5}{225836,5} = 1.$$

Наиболее приемлемым с точки зрения финансовой эффективности является 2 вариант исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 53 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
Возможность применения технологии на производстве	0,2	3	4	4
Удобство эксплуатации	0,1	3	3	3
Надежность	0,15	4	4	4
Динамическая точность	0,2	3	5	3
Стоимость обслуживания	0,05	2	4	3
Качество регулирования	0,1	4	4	4
Эффективность применения	0,2	3	4	3
Итого:	1	3,2	4,1	3,45

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,5,$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,1,$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,45.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p-\text{исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{3,2}{0,895} = 3,575,$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,1}{0,87} = 4,713,$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{3,45}{1} = 3,45.$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$) запишем в общую таблицу.

Таблица 54 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,895	0,87	1
2	Интегральный ресурсоэффективности показатель	3,2	4,1	3,45

Продолжение таблицы 54

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
3	Интегральный показатель эффективности	3,575	4,713	3,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,758	1	0,732

Наиболее эффективным является наш вариант исследования.

10.5 Выводы по разделу

В данном разделе:

- 1) проведен анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке;
- 2) составлен SWOT-анализ для нашего исследования, в котором были выявлены сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы;
- 3) приведена таблица с перечнем этапов, работ и распределением исполнителей;
- 4) определена трудоемкость выполнения работ;
- 5) Построена диаграмма Ганта;
- 6) Произведены расчеты: материальных затрат, затрат на оборудование, основной и дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов. Произведен расчет бюджета затрат НИР, который составил 195982,9 руб.;
- 7) Рассчитана оценка эффективности НИ. Интегральный показатель финансовой эффективности равен 0,87, интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,1, интегральный показатель эффективности равен 4,713. При сравнении показателей нашего проекта с показателями других, то можно сделать вывод, что наш проект является финансово выгодным и более эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5Б93		ФИО Карташова Ксения Андреевна	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Система автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> Паровой котел с кипящим слоем серии DNX <i>Область применения:</i> Теплоэнергетика и теплотехника <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение <i>Размеры помещения:</i> 60*90 м <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> блочный щит управления <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров и исправности процесса горения топлива дистанционно, во время плановых обходов оборудования, переключение оборудования и проверка их исправности</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</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>Отражены правовые нормы: ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя; ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора; ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места;</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенная запыленность и загазованность; 2. Повышенный уровень шума; 3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 4. Монотонность труда, вызывающая монотонию; 5. Длительное сосредоточенное наблюдение. <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действием которого попадает работающий;

	<p>2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, способных вызвать ожоги тканей организма человека;</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: беруши, наушники, защитные очки, специализированная одежда, изоляция проводов.</p>
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<p>Воздействие на селитебную зону: изменение ландшафта в связи с появлением золоотвалов;</p> <p>Воздействие на литосферу: загрязнение твердыми частицами отходов;</p> <p>Воздействие на гидросферу: химическое загрязнение грунтовых вод;</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы дымовых газов, содержащих в себе CO₂, NO_x, SO₂ при работе оборудования.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Взрыва; – Возгорания; <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Возгорания угольной пыли.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Карташова Ксения Андреевна		

11 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа по теме «Система автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортное топливо» посвящена изучению параметров процесса горения низкосортного топлива в котле с циркулирующим кипящим слоем марки DNX. В качестве низкосортного топлива используется угольный шлам.

Процесс сжигания органического топлива характеризуется большим количеством выбросов опасных загрязнений в окружающую среду, однако разрабатываемый метод сжигания низкосортного топлива позволяет значительно снизить показатели выбросов, одновременно обеспечивая требуемую потребительскую нагрузку. Также важно отметить, что угольный шлам является отходом от твердого натурального топлива, что означает, что кроме выбросов снижается количество отходов, образующиеся от добычи невозобновляемых ископаемых источников энергии. Данная технология является актуальной в области теплоэнергетики.

Основная задача работы – определение оптимальных параметров горения (температура кипящего слоя, высота кипящего слоя), которые позволят снизить концентрацию оксидов серы и оксидов азота ниже допустимых пределов, установленных в ГОСТе Р 58577-2019.

Объектом исследования является паровой котел с циркулирующим кипящим слоем марки DNX. Рабочее место оператора АСУ – производственное помещение с габаритными размерами 60 на 90 метров. Основным оборудованием для эксплуатации является блочный щит управления. Основные процессы, осуществляемые в рабочей зоне, будут дистанционный контроль параметров и исправности парового котла. Во время плановых обходов оборудования, переключение оборудования и проверка их исправности. В данном разделе будут рассмотрены основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе эксплуатации данной установки.

11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основными документами, регламентирующими права и обязанности работника и работодателя, являются Конституция РФ [40] и Трудовой кодекс РФ [41]. Согласно Конституции РФ, нормами в области охраны труда являются:

- главный приоритет – сохранность жизни и здоровья работников;
- единство норм и правил;
- гарантия защиты интересов работника при получении травм на производстве.

Трудовой кодекс РФ включает в себя: вопросы охраны труда, профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации, трудоустройства, социального партнерства. Также в нем закреплены правила оплаты и нормирования труда, порядок разрешения трудных споров.

Действующим нормативом по охране труда является ГОСТ 12.0.004 – 2015.

Т.к. работа оператора осуществляется в производственном помещении, которое относится ко второй тяжести труда, она должна осуществляться при оптимальных условиях внешней производственной среды и при оптимальной физической, умственной и нервно-эмоциональной нагрузке. Продолжительность рабочего времени оператора АСУ не должна превышать 40 часов в неделю, согласно ст. 91 ТК РФ [41].

Большее количество рабочего времени оператор проводит сидя. Поэтому необходимо учитывать рекомендации по выполнению работ сидя, указанные в ГОСТе 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя» [41]. Согласно ему, рабочее место должно соответствовать антропометрическим показателям оператора. Также рабочее место должно быть организовано так, чтобы оператор мог выполнение трудовых операций не представляло трудностей.

При этом стоит отметить, что кресло оператора АСУ должно соответствовать требуемым нормам ГОСТ 21889-76 «Система «Человек-машина» [43].

Кресло оператора должно соответствовать основным требованиям:

– кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности;

– в конструкции кресла должны регулироваться высота поверхности сиденья и угол наклона спинки. При необходимости должны регулироваться также следующие параметры: высота спинки, высота подлокотников, угол наклона подлокотников, высота подголовника, высота подставки для ног, угол наклона подставки для ног;

– кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении с сохранением естественных изгибов позвоночника и т.д.

Также необходимо обратить внимание на расположение используемого технологического оборудования согласно ГОСТу 22269-76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места» [44]. Важно, чтобы взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. При этом должны учитываться ограничения, налагаемые спецодеждой и снаряжением человека-оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать необходимые зрительные и звуковые связи между оператором и оборудованием, а также между операторами.

11.2 Производственная безопасность

При выполнении любых работ возникают опасные и вредные факторы. Также это касается работы инженера-оператора АСУ. Опасные и вредные факторы закреплены в ГОСТе 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». В таблице 55 представлены основные факторы, влияющие на работу инженера.

Таблица 55 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АСУ [45]

№	Факторы	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [46]
2	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [47]
3	Повышенный уровень шума	СНиП 23-03-2003. Защита от шума [48]
4	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [49]
5	Повышенная запыленность и загазованность	ГОСТ 12.1.005-88 - Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [50]
6	Монотонность труда, вызывающая монотонию	ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 1. Основные понятия, термины и определения [51]
7	Длительное сосредоточенное наблюдение	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [53]

11.2.1 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

При выполнении производственных обязанностей инженер-оператор подвергается воздействию электрического тока, т.к. взаимодействует с электрическими объектами, такими как компьютер, электрический блочный щит управления, электрические кабели от различных средств автоматизации. При работе с установкой возможно поражение электрическим током, что ведет к появлению ожогов, нагреву сосудов, механическим повреждениями тканей и сосудов, раздражающим воздействием на ткани.

Техническое оборудование, используемое в работе, имеет ток 4-20 мА и напряжение питания 24 В или 220 В. При работе с электрическими приборами необходимо следовать рекомендациям и правилам безопасности, закрепленным в ГОСТе 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [46].

Поражение электрическим током может произойти от соприкосновения с токоведущей частью, находящейся под напряжением. Напряжение прикосновения и тока, протекающие через тело человека не должны превышать значений, указанных в таблице 56.

Таблица 56 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения 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

11.2.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

Щит автоматизации состоит из металла, это значит он имеет свойство нагреваться в случае аварий, вызванных поломкой оборудования, короткого замыкания в электрической цепи. Наиболее типичные травмы работников: термические ожоги, вызванные контактом с нагретыми предметами.

Таким образом необходимо соблюдать правила безопасности с такими предметами. Также при выборе оборудования важно понимать к какому классу пожаробезопасности принадлежит выполняемый тип работ. Правила безопасности и обращения с высоко-нагретыми материалами представлены в ГОСТе 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [47].

Конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение элементов должны обеспечивать безопасность при использовании производственного оборудования по назначению, техническом обслуживании, ремонте и уборке, а также соответствовать эргономическим требованиям.

11.2.3 Повышенный уровень шума

Т.к. инженер-оператор работает в производственном помещении, о воздействие шума неизбежно. Источники шума: генераторы, нагреватели, трансформаторы, вентиляторы, компрессоры. Своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума. Шум ухудшает условия труда и работоспособность человека. Длительное шумовое воздействие оказывает негативное влияние на организм – появление головных болей, раздражительности, повышенная утомляемость, боль в ушах и т.д. Интенсивный шум (более 80 дБ) при длительном воздействии может привести к полной или частичной потере слуха.

При отсутствии средств защиты и снижения уровня шума у работника может возникнуть проблемы с нарушением сна, неврозами, нарушением слуха и

т.д. В качестве индивидуальных средств защиты от шума могут использоваться специальные наушники, беруши для ушей, противозумные каски, защитное действие которых направлено на изоляцию ушных раковин от шума, а также на поглощение шума. Согласно п.6 «Нормы допустимого шума», СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 представлены в таблице 57 [48].

Таблица 57 – Допустимые уровни шума

Рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, по дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ОРУ	99	92	86	83	80	78	76	74	85

11.2.4 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

При выполнении работ недостаточный уровень освещения помещения вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или напряженности. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему утомлению. Кроме этого недостаток освещения влияет на психику человека, снижается производительность и качество труда, вероятность получения травм увеличивается. При длительном нахождении работника в условия недостаточного освещения у него могут возникнуть проблемы с здоровьем, такие как ухудшение зрения, общая и психологическая усталость.

Нормы искусственного освещения представлены в таблице 58 согласно СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [49].

Таблица 58 – Нормативные показатели освещения производственного помещения

Помещение	Освещенность рабочих поверхностей, лк		Коэффициент пульсации освещенности, %, не более
	При комбинированном освещении	При общем освещении	
Компрессорные (блоки, станции)	400	200	15

Производственное помещение должно иметь естественное освещение. В случае недостатка естественного освещения устанавливается совместное освещение. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещении необходимо проводить своевременную чистку стекол оконных рам и светильников, регулярно проводить замену перегоревших ламп.

11.2.5 Повышенная загазованность и запыленность

При работе в производственном помещении влияние пыли неизбежно, она накапливается при эксплуатации оборудования. Пыль может попадать на кожный покров работника, в его дыхательные пути и глаза. Все это приводит к различным последствиям, таким как раздражение кожных покровов, слизистых носа и глаз, воспаление кожного покрова, зуд, проблемы с дыханием и т.д. Кроме запыленности при работе котла возникает проблема загазованности, т.к. конструкция котла не позволяет полностью удалять дымовые газы из помещения.

В помещениях с работающим котлоагрегатом в большей степени в воздухе содержится углесодержащая пыль и оксид углерода (СО). ПДК данных веществ (таблица 59) содержится в ГОСТе 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [50].

Таблица 59 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Вещество	Величина ПДК, мг/куб.м.
Кремния диоксид кристаллический при содержании в пыли от 10% до 70% (гранит, шамот, слюда-сырец, углеродная пыль и др.)	2
Углерода оксид	20

В качестве индивидуальных средств защиты персонала могут использоваться специальные маски для защиты дыхательных путей, специальные очки для защиты слизистой глаза.

Методы определения запыленности и загазованности помещения описаны в ГОСТе 33007-2014 [51].

11.2.6 Монотонность труда, вызывающая монотонию

Работа инженера-оператора связана с однотипным выполнением задач. Поэтому важно комбинировать различные виды заданий, чтобы не возникала монотония. Длительная повторяющаяся работа оказывает угнетающее воздействие на умственную деятельность, снижении уровня бодрствования, снижении тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы, снижении тонуса скелетной мускулатуры.

Нормы умственной нагрузки приведены в ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 «Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 1. Основные понятия, термины и определения» [52].

Степень монотонности труда определяется по продолжительности выполнения однообразных, повторяющихся операций и числу элементов в операции. Чем короче выполняемая операция и чем меньше число элементов в ней, тем более монотонна работа. Кроме того, учитываются условия временной регламентации, т.е. заданный или свободный ритм. Время выполнения операции

замеряется наблюдателем несколько раз (чем короче операция, тем больше требуется измерений).

При несовпадении времени на отдых, определяемого по длительности операции и числу элементов в ней, следует ориентироваться на длительность операции.

Для безопасной работы оператора необходимо рационально распределять рабочие задачи, чтобы не возникало перенапряжение и монотония.

11.2.7 Длительное сосредоточенное наблюдение

Технологический процесс является непрерывным, поэтому оператор АСУ должен постоянно отслеживать изменения параметров производственного процесса для обеспечения безопасности процесса, избегания аварийных режимов работы оборудования. Данный фактор влияет на самочувствие работника, приводит к перенапряжению зрительных органов, что приводит к потере концентрации, отвлечению внимания, также перенапряжение зрительных органов может быть причиной ухудшения зрения.

Нормы (таблица 60), которые описывают работу при активном наблюдении, закреплены в п.5 «Физические факторы (за исключением ионизирующего излучения)» табл. 5.75 СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [53].

Таблица 60 – Допустимые величины психофизиологических производственных факторов

Факторы трудового процесса	Допустимые	
	Женщины	Мужчины
Длительность сосредоточенного наблюдения (% от времени смены)	От 26 до 50	От 26 до 50
Число объектов наблюдения	От 6 до 10	От 6 до 10
Плотность сигналов (световых, звуковых) в среднем за час работы	От 76 до 175	От 76 до 175
Число элементов или повторяющихся операций	От 9 до 6	От 9 до 6

11.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды, селитебной зоны, литосферы, атмосферы, гидросферы – это нежелательное изменение ее свойств в результате антропогенного поступления различных веществ и соединений. Антропогенные загрязнения – это загрязнения, вызванные деятельностью человека, они подразделяются на химические загрязнители и газообразные загрязнители. Основными источниками химических загрязнителей являются: сжигание ископаемого топлива для производства энергии, производственные процессы в различных отраслях промышленности, транспорт. Газообразные загрязнители делятся на четыре группы: диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), диоксид углерода (CO_2), озон (O_3).

Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики обусловлены процессом горения органических топлив, они являются основным источником загрязнений атмосферы. Концентрация вредных веществ в дымовых газах напрямую связано с полнотой горения топлива, качеством и количеством сжигаемого топлива, эффективностью работы оборудования по очистке дымовых газов. В продуктах горения топлива содержатся твердые частицы золы и несгоревшего топлива, а также оксиды серы (SO_2 , SO_3), азота (NO_x), ванадия (V_2O_5).

Также стоит учесть, что при эксплуатации котельных агрегатов, работающих на твердом топливе, производится значительное количество отходов в виде золы. В большинстве случаев, золу не перерабатывают, от этого образуются золоотвалы. Золоотвалы влияют на гидросферу и литосферу, подземные воды, вымывающие компоненты золы попадают в грунтовые воды, которые в свою очередь уносят компоненты золы в различные водоемы. Компоненты золы создают негативные последствия на растительность и здоровье человека.

Кроме компонентов золы на гидросферу оказывает влияние тепловое воздействия и сточные воды от теплостанций. На каждой электростанции, которая использует воду в качестве средства производства электрической и тепловой энергии, образуется определенное количество сточных вод. В сточных водах содержится множество примесей различного химического состава, попадание этих примесей в водоемы недопустим. Качественный и количественный состав примесей таких вод зависит от качества воды и принятых методов ее обработки на предочистке.

Мероприятия по защите окружающей среды

Существует несколько методов по снижению количества выбросов:

- Увеличение температуры в камере сгорания;
- Регулирование избытка воздуха в камере сгорания;
- Применение материалов способных при нагревании поглощать сернистые соединения, образующиеся при сжигании органических топлив;
- Сжигание композиционного топлива на основе отходов угольной промышленности, таких как угольный шлак и фильтр-кек.

11.4 Безопасность в ЧС

Чрезвычайная ситуация (ЧС) — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. К природным катастрофам можно отнести наводнения, цунами, ураган.

Для подготовки к такого рода воздействиям необходимо проводить инструктажи для сотрудников, чтобы они знали, что им необходимо сделать при возникновении такой ситуации.

К техногенным авариям относят, аварии, возникшие в следствии не осторожного обращения с огнем или неправильным использованием

электрических приборов. Данные ситуации исключаются только проведением внеплановых инструктажей, чтобы сотрудники были аккуратны при пользовании электроприборами.

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является возгорание угольной пыли. Это связано с тем, что работа оператора непосредственно связана с работой производства, так как возгорание угольной пыли в элементах системы пылеприготовления может привести к взрывам и пожарам. Для избежания данной ЧС, была разработана инструкция по обеспечению взрывобезопасности топливоподач и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива. СО 153-34.03.352-2003" (утв. Приказом Минэнерго РФ от 24.06.2003 N 251), в которой приведены необходимые требования относящихся к производственным зданиям и помещениям, в которых размещается указанное технологическое оборудование.

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

- укрытие в защитных сооружениях;
- проведение эвакуационных мероприятий;
- использование средств индивидуальной защиты;
- наличие необходимого оборудования.

При работе котельной могут возникнуть некоторые чрезвычайные ситуации. Например, воспламенение котельной и прилегающей к ней территории. Опасность представляет сам котлоагрегат.

11.5 Выводы по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения правовой, производственной, экологической безопасности и безопасности в ЧС. Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности наладить стабильное производство, не подвергая опасности людей и окружающую среду.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что фактические значения потенциально опасных факторов соответствует нормативным значениям. Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (издание седьмое) данное производственное помещение относится к 1 категории по электробезопасности [54].

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

Тяжесть труда согласно СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» относится ко 2 б категории [53].

По степени пожароопасности помещения производства парокотельного цеха относится к категории «Г», согласно СП 12.13130.2009 [55]. Следовательно, появляется необходимость в дополнительном техническом обустройстве производства. Предохранительные и взрывные клапаны котла имеют отводы для удаления пароводяной смеси и взрывных газов при срабатывании клапанов за пределы рабочего помещения в места, безопасные для обслуживающего персонала, или должны быть ограждены отбойными щитами со стороны возможного нахождения людей.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была изучена конструкция парового котла с циркулирующим кипящим слоем серии DNX и определены требуемые параметры объекта автоматизации для разработки системы автоматического регулирования температуры и высоты кипящего слоя котла, сжигающего низкосортного топлива.

Разработанная система процесса горения топлива предназначена для поддержания показателей эффективности горения путем регулирования расхода воздуха, топлива и инертного материала в топку котла с помощью частотных преобразователей.

Пояснительная записка содержит алгоритм выбора приборов и средств автоматизации, этапы разработки конструкторской документации и расчет ПИИ-регулятора для управления системой. Разработан макет SCADA-системы технологического процесса в среде MasterSCADA. Также была изучена информация для написания разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент».

В комплекте с пояснительной запиской приведены графические материалы: структурная, функциональная, монтажная и принципиальная электрическая схема; заказная спецификация приборов и средств автоматизации, перечень элементов щитового оборудования и принципиальной электрической схемы; общий вид щита управления.

Список использованных источников

1. Бушуев В.В. Прогноз развития мировой энергетики до 2035 года // Энергетическая политика. - 2013. - № 6. - С. 3-16.
2. Алтухов И.В., Власенко Е.В. Анализ проблем по энергосбережению в топливно-энергетическом комплексе России // Сборник трудов конференции "Научные исследования и разработки к внедрению в АПК". - Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2018. - С. 154-161.
3. Ушаков В.Я. Основные проблемы в энергетике и возможные способы их решения // Известия Томского политехнического университета. - 2011. - №4. - С. 5-13.
4. Glushkov D., Kuznetsov G., Paushkina K. Switching coal-fired thermal power plant to composite fuel for recovering industrial and municipal waste: Combustion characteristics, emissions, and economic effect // Energies. – 2020. – № 13.
5. Qinwen Liu, Wenqi Zhong, Jinrao Gu Experimental tests on co-firing coal and biomass waste fuels in a fluidised bed under oxy-fuel combustion // Fuel. – 2021. – № 286.
6. Cliffe K.R., Patumsawad S. Co-combustion of waste from olive oil production with coal in a fluidised bed // Waste Management. – 2001. - № 21. – P. 49-53.
7. Zheng Gong, Chao Chen Study on the emission characteristics of nitrogen oxides with coal combustion in pressurized fluidized bed // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2019. - № 27. – P. 1177-1183.
8. Afsin Gungor Simulation of emission performance and combustion efficiency in biomass fired circulating fluidized bed combustors // Biomass and Bioenergy. – 2010. - № 34. – P. 506 – 514.
9. Wanqiang Wu, Lunbo Duan, Lin Li Three-dimensional full-loop numerical simulation of coal and sludge co-combustion in a circulating fluidized bed // Fuel. – 2023. - № 337.

10. Zeng Dan, Peng Zhou, Duo Bu Environmental, economic, and energy analysis of municipal solid waste incineration under anoxic environment in Tibet Plateau // *Environmental Research*. – 2023. – № 216.
11. Titova N.S., Kuleshov P.S., Favorskii O.N. The features of ignition and combustion of composite propane-hydrogen fuel: Modeling study // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2014. - № 39. – P. 6764 – 6773.
12. Glotov O.G., Poryazov V.A., Surodin G.S. Combustion features of boron-based composite solid propellants // *Acta Astronautica*. – 2023. - № 204. – P. 11 – 24.
13. Smirnov V.V., Kostritsa S.A., Kobtsev V.D. Experimental study of combustion of composite fuel comprising n-decane and aluminum nanoparticles // *Combustion and Flame*. – 2015. - № 162. – P. 3554 – 3561.
14. Guan-Bang Chen, Fang-Hsien Wu A study of Co-gasification of sewage sludge and palm kernel shells // *Energy*. – 2021. - № 218.
15. Huai-Wei Lo, Chao_Che Hsu Building a grey-based multi-criteria decision-making model for offshore wind farm site selection // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. – 2021. - № 43.
16. Chuncai Zhou, Guijian Liu Thermochemical and trace element behavior of coal gangue, agricultural biomass and their blends during co-combustion // *Bioresource Technology*. – 2014. - № 166. – P. 243 – 251.
17. Yuanyuan Zhang, Zhibin Ma Effect of oxygen concentration on oxy-fuel combustion characteristic and interactions of coal gangue and pine sawdust // *Waste Management*. – 2019. - № 87. – P. 288 – 294.
18. Xudong Yang, Zhonguang Luo Experimental and numerical investigation of the combustion characteristics and NO emission behaviour during the co-combustion of biomass and coal // *Fuel*. – 2021. - № 287.
19. Feihong Guo, Yi He Thermogravimetric analysis on the co-combustion of biomass pellets with lignite and bituminous coal // *Energy*. – 2020. - № 197.

20. Panyang He, Xiaomin Zhang Waste-to-resource strategies for the use of circulating fluidized bed fly ash in construction materials: A mini review// Powder Technology. – 2021. - № 393. – P. 773 – 785.
21. Каталог датчики температуры выпуск 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/каталог-датчики-температуры-ru-ru-61696.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
22. Каталог датчики давления выпуск 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/каталог-датчики-давления-ru-ru-61692.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
23. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://izmerkoni.ru/SS_20.600_RUS.pdf свободный. – Загл. с экрана.
24. Руководство по эксплуатации выпуск 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yigittaslar.com/katalog/Manual%20VPFlowScope%20Probe.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
25. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kavtomatika.ru/images/Rosemount_8800D_vihrevye_ras_hodometry.pdf свободный. – Загл. с экрана.
26. Расходомеры и влагомеры для сыпучих материалов // MSS SYSTEMS URL: <http://www.swrsystems.ru/solidflow.html> (дата обращения: 20.10.2022).
27. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gasdetecto.ru/files/330/igs-98-sv-023_re.pdf?ysclid=1a21kvz1qt981641803 свободный. – Загл. с экрана.
28. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aiyi.nt-rt.ru/images/manuals/k3-5.pdf> свободный – Загл. с экрана.
29. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://propribory.ru/static/upl/01-11->

- 2019/NQz_mEрELkFZhfaE/manual_swg_300_ru.pdf свободный – Загл. с экрана.
30. Инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kiponline.ru/wpcontent/uploads/2020/10/1122/application/pdf/rukovodstvo-po-jekspluatacii-na-agm-501.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
31. Руководство по эксплуатации часть 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazanalizator.ru/files/akvt-01-rpe.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
32. Руководство по эксплуатации выпуск. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gasdetecto.ru/tehnologiya-i-promvybrosy/stacionarnye1/ag-0011-gazoanalizatory-stacionarnye-ag-0011/> свободный. – Загл. с экрана.
33. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/uploads/re_pcv3_1392.pdf свободный. – Загл. с экрана.
34. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.elesy.ru/index.php/s/nLr6Wa9DfZTRQ4o?dir=undefined&path=%2FРуководство%20по%20эксплуатации&openfile=119940> свободный. – Загл. с экрана.
35. Рахматов У.Р., Шарипов Н.З. Выбор типового регулятора аспр и определение параметров его настройки для заданного технологического параметра на процесс обжига цементного клинкера // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. № 4. Р. 229–233.
36. Куликов В.В., Куций Н.Н. Анализаторы чувствительности автоматических систем с пи-регулятором с переменными параметрами при использовании линии переключения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2020. № 3(19). 57–64.

37. Кудинов Ю.И. et al. Программное определение настроек ПИ регулятора методом расширенных частотных характеристик // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2021. № 3 (46). Р. 31.
38. Марголис, Б.И., Мешков И.С. Синтез настроек пид-регуляторов в системах автоматического управления альтернативным методом расширенных частотных характеристик. 2018. Vol. 23, № 4. Р. 1–16.
39. Jiri Findejs, Vladimir Havlena, Jan Jech, Daniel Pachner Model Based Control of the Circulating Fluidized Bed Boiler // IFAC Proceedings Volumes. – 2009. - № 42. – Р. 44 – 49.
40. КонсультантПлюс. Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 (изм. От 01.07.2020). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399, свободный. – Загл. с экрана.
41. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 19.12.2022). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/, свободный. – Загл. с экрана.
42. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.
43. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012832>, свободный. – Загл. с экрана.
44. 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.
45. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправками). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.
46. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.
47. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901702428>, свободный. – Загл. с экрана.
48. ТЕХЭКСПЕРТ. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – Введ. 2004-01-01. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный. – Загл. с экрана.
49. ТЕХЭКСПЕРТ. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197>, свободный. – Загл. с экрана.
50. ГАРАНТ. ГОСТ 12.1.005-88 - Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71350512/>, свободный. – Загл. с экрана.
51. ГАРАНТ. ГОСТ 33007-2014 Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков. Технические требования и методы контроля [Электронный ресурс]. –

- Режим доступа: <https://base.garant.ru/71350512/>, свободный. – Загл. с экрана.
52. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 1. Основные понятия, термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200167488>, свободный. – Загл. с экрана.
53. ТЕХЭКСПЕРТ. Об утверждении санитарных правил и норм 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.
54. ТЕХЭКСПЕРТ. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (Издание седьмое). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030216>, свободный. – Загл. с экрана.
55. ТЕХЭКСПЕРТ. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156>, свободный. – Загл. с экрана.