

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматическая система контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива

УДК 681.518.2:662.61-032.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5В	Романов Даниил Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Консультант

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШИБ	Сотникова Анна Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
Р8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
Р10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, и <i>современных</i> методов.

P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
П.А. Стрижак
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5В	Романову Даниилу Сергеевичу

Тема работы:

Автоматическая система контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	06.05.2019, 3503/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом проектирования является водогрейный котельный агрегат КВГМ-50-150, производительностью 50 Гкал/час, мощностью 58,2 МВт. Основное топливо – композиционное водосодержащее топливо, приготовленное на основе влажного отхода углеобогащения и жидкого горючего компонента нефтяного происхождения. При разработке системы управления процессом сжигания топлива предусмотреть использование современных микропроцессорных технических
--------------------------	--

	средств автоматизации для реализации функций автоматического контроля параметров и управления системы топливоподачи.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Исследовательские изыскания. 2 Проектирование АСКУ процессом горения композиционного водосодержащего топлива. 3 Разработка щита управления АСКУ процессом горения композиционного водосодержащего топлива. 4 Расчет параметров настройки регулятора. 5 Мнемосхема проекта. 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схема функциональная. 2 Схема электрическая соединений. 3 Схема монтажная. 4 Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2019
--	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф-м.н, профессор		
Старший преподаватель ИШФВП	Вершинина Ксения Юрьевна	к.ф-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5В	Романов Даниил Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 93 с., 20 рис., 20 табл., 51 источник.

Ключевые слова: котлоагрегат, органоводоугольное топливо, композиционное жидкое топливо, автоматизированная система управления, микропроцессорные технические средства автоматизации.

Объектом автоматизации является котел КВГМ-50-150.

Цель работы – модернизация АСУ ТП топливосжигания котла типа КВГМ-50-150 на основе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, разработка функциональной схемы, разработка принципиальной электрической схем и общего вида щита управления, выбор приборов и технических средств автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

В результате исследования разработана автоматическая система контроля и управления процессом горения водогрейного котла на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

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

Обозначения и сокращения

ОВУТ – органоводогольное топливо;

САР – система автоматического регулирования;

АСР – автоматизированная система регулирования;

ВУТ – водоугольное топливо;

ОТМ – отработанное турбинное масло;

КВТ – композиционное водосодержащее топливо;

ПАВ – поверхностно активные вещества;

Фильтр-КЕК –типичные отходы углепереработки;

КЖТ – композиционное жидкое топливо;

КЕК СС – отходы углеобогащения каменного угля марки СС;

КЕК К – отходы углеобогащения каменного угля марки К.

Оглавление

Введение.....	10
1 Исследовательские изыскания.....	10
2 Проектирование АСКУ процессом горения композиционного водосодержащего топлива.....	28
2.1 Выбор структуры АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива	30
2.2 Проектирование функциональной схемы АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива	33
2.3 Выбор технических средств АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива	34
2.3.1 Выбор датчиков температуры.....	35
2.3.2 Выбор исполнительного механизма.....	36
2.3.3 Выбор блока управления исполнительного механизма	37
2.3.4 Выбор регулирующего устройства.....	38
2.3.5 Проектирование принципиальной схемы АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива	41
2.3.6 Проектирование монтажной схемы АСР процесса горения композиционного водосодержащего топлива	43
2.3.7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР.....	46
3 Расчет параметров настройки регулятора	47
3.1 Идентификация объекта управления.....	47
3.2 Расчет параметров настройки регулятора.....	50
4 Мнемосхема проекта.....	57
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	61
5.1 Организация и планирование работ.....	61
5.2 Продолжительность этапов работ	62
5.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	67
5.3.1 Расчет затрат на материалы.....	67
5.3.2 Расчет заработной платы	67
5.3.3 Расчет затрат на социальный налог	68
5.3.4 Расчет затрат на электроэнергию	68
5.3.5 Расчет амортизационных расходов	69
5.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе	

платежных документов.....	70
5.3.7 Расчет прочих расходов.....	70
5.3.8 Расчет общей себестоимости разработки	71
5.3.9 Расчет прибыли.....	71
5.3.10 Расчет НДС	71
5.3.11 Цена разработки НИР	71
5.3.12 Определение экономического эффекта проекта	72
6 Социальная ответственность	74
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	74
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	76
6.2 Профессиональная социальная безопасность.....	76
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	76
6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	77
6.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов.....	81
6.3 Экологическая безопасность	82
6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	82
6.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	83
6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	83
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	84
6.4.2 Анализ вероятных ЧС	85
6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	85
6.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	86
Заключение	87
Список использованных источников	60
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.010 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.010 Э3	Схема электрическая
ФЮРА.421000.010 Э7	Схема монтажная
ФЮРА.421000.010 ВО	Общий вид щита автоматизации

Введение

За счет огромных общемировых объемов добычи и переработки нефти и угля формируется большое количество отходов соответствующих отраслей промышленности. Захоронение, слив, или складирование являются распространенными способами обращения с отходами угле- и нефтепереработки. Однако эти методы неэффективны и представляют экологическую угрозу [1–3]. Вторичная переработка отходов требует серьезных финансовых вложений. Использование отходов угольного и нефтяного происхождения в качестве компонентов смесового топлива позволяет реализовывать достаточно масштабную утилизацию с одновременной выработкой полезной энергии.

Для энергообразующих компаний представляет интерес использование топливных смесей на основе отходов, поскольку это позволяет снизить затраты на сырье и расширить собственную топливно-энергетическую базу. Ученые по всему миру продолжают поиски новых способов утилизации отходов углеобогащения и к настоящему времени одними из основных направлений считаются строительство, изготовление новых композитных веществ, а также сжигание. Сжигание отходов в составе композиционных водосодержащих топливных смесей (КВТ) является самым масштабным, пожаробезопасным и экономически эффективным способом утилизации. В состав КВТ могут входить не только отходы углепереработки, но и побочные продукты нефтедобывающей промышленности [4–11]. В связи с этим перспективно введения в компонентный состав не только отходов, но и невостребованных продуктов нефтяной промышленности и отработанных масел (турбинных, автомобильных, и т.д.), которые ежегодно формируются в больших объемах.

На данный момент имеется достаточно большое количество исследований процессов подготовки и сжигания КВТ на основе отходов углепереработки. Перспективные исследования в этом направлении провела группа ученых из Института теплофизики СО РАН, г. Новосибирск. В поселке

Барзас Кемеровской области был установлен котел, мощностью 2 МВт, который работает на водосодержащем угольном топливе. При этом выбросы в атмосферу удовлетворяют всем нормативам. Активные исследования в этой области ведутся за рубежом (Китай, Непал).

Исследователи установили, что КВТ могут быть использованы в качестве основного топлива для различных котельных агрегатов. В качестве компонентов для водосодержащих топливных суспензий использовались высокосортные угли. Поскольку большая часть данных углей активно экспортируется государствами (Китай, Россия, США), то уместно использовать отходы переработки и обогащения именно этих углей. Актуальной задачей создания водоугольных топлив (ВУТ) и органоводоугольных топлив (ОВУТ) на основе отходов флотации угля с добавлением отработанных масел, является определение влияния различных компонентов топлива на основные характеристики топливной композиции (реологические параметры, теплоту сгорания, вязкость, времена задержки зажигания, длительность горения, полноту прогорания и др.) [12–15].

Представляет значительный интерес перевод котельных установок разных мощностей и назначения на сжигание водосодержащих топливных смесей на основе отходов. Целесообразно разрабатывать при этом современные системы контроля и управления процессом горения. Система управления сжиганием топлива называется АСКиУ процессом горения топлива.

Целью работы является экспериментальное исследование характеристик КВТ, включающих в свой состав отработанные масла, угли и отходы флотации углей, а также проектирование системы контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива в котельном агрегате.

1 Исследовательские изыскания

Отходы углеобогащения образуются ежегодно в больших объемах на территории государств-экспортеров угля. В частности, более 70% добываемого угля во всем мире обогащается. При этом типичные отходы углеобогащения (фильтр-кеки, шламы, промпродукт, концентрат) составляют 10...12% от массы добываемого (рядового) угля. При использовании технологий переработки угля суммарно в России, Китае и Индии по минимальным оценкам образуется от 220 до 300 млн. тонн в год отходов углеобогащения [16–19].

Утилизация отходов флотации обогащения угля является одной из основных задач как для отдельных комбинатов углеобогащения, так и для всей угледобывающей промышленности. Возможность расширения территорий для хранения отходов углеобогащения достаточно ограничена. В связи с большим количеством накопленных отходов и повышением темпа прироста новых, проблема их утилизации приобретает все большую значимость.

Антропогенные выбросы в атмосферу и риск возникновения нерегламентированных взрывов и возгораний на этапах приготовления, транспортировки и подачи топлива являются основными проблемами, типичными для электростанций использующие уголь как источник основной энергии [22,23].

Главной особенностью КВТ, в сравнении с пылеугольным топливом, является возможность низкотемпературного сжигания, улучшения пожаробезопасности, утилизации отходов и расширения сырьевой энергетической базы. За счет того, что основным компонентом топлива является низкосортный уголь или отход углеобогащения (фильтр-кек), стоимость топлива значительно снижается, что положительно сказывается на технико-экономических показателях работы станции или котельной.

Согласно анализу исследовательских работ, можно сделать вывод о том, что компонентами КВТ могут являться многие вещества и материалы. Потенциальными твердыми горючими компонентами являются угли

различных марок (древесный, бурый, длиннопламенный, слабоспекающийся, газовый, коксующийся, тощий, жирный), побочные продукты и отходы их обогащения, отходы переработки автомобильных шин, торф, различные твердые бытовые отходы (картон, пластмасса, бумага). Жидкие горючие компоненты – отработанные промышленные и моторные масла, легковоспламеняющиеся жидкости, нефтешламы. Для улучшения реологических характеристик топлива, в состав КВТ добавляют различные пластификаторы, стабилизаторы, ПАВ.

Одной из проблем использования КВТ является низкая калорийность топлива (по сравнению с традиционными топливами). Это обусловлено большой массовой долей воды в топливной смеси, а также использованием достаточно зольных отходов углеобогащения. Интерес представляет экспериментальное определение характеристик зажигания и горения топливных смесей на основе отходов. Данные исследования сложно реализовать на действующих энергоустановках по причине больших материальных расходов. Целесообразно проводить экспериментальные исследования влияния различных факторов на характеристики воспламенения и горения КВТ в лабораторном масштабе с применением модельной камеры сгорания.

Для экспериментальных исследований по определению скоростей выгорания, задержек зажигания и времен полного горения топлив использовался экспериментальный стенд, представленный на рисунке 1.1.

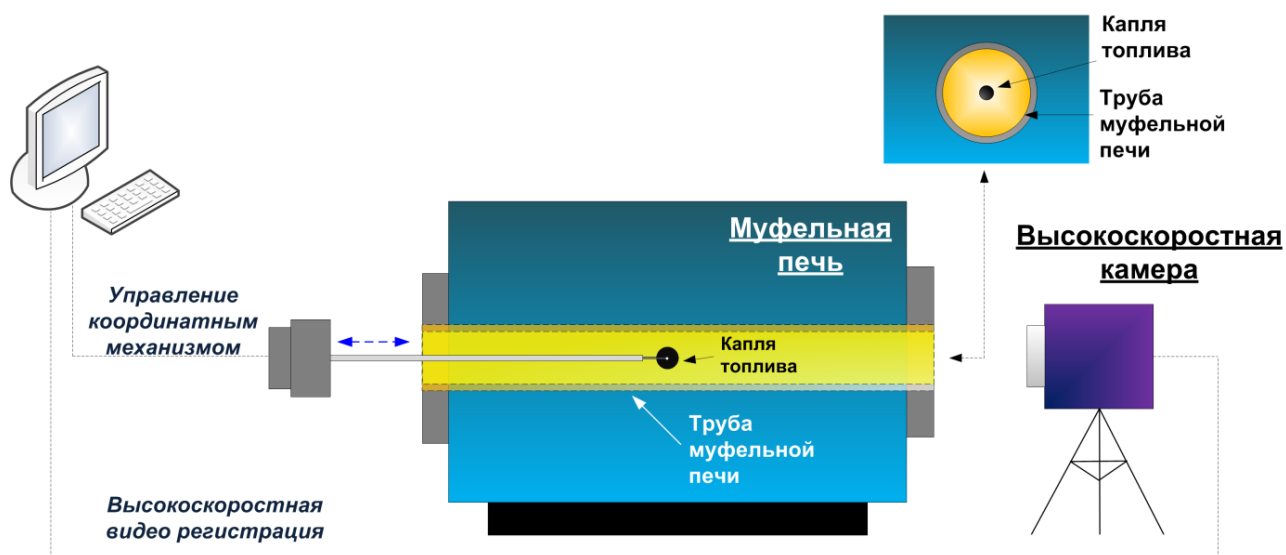


Рисунок 1.1 – Схема экспериментального стенда

Основными элементами стенда являются: муфельная трубчатая печь; координатный механизм с держателем для закрепления и перемещения капли топлива; высокоскоростная видеокамера для визуализации процесса и регистрации параметров; компьютер. Процедуры регистрации характеристик процессов выгорания капель топлив и погрешности измерений описаны в [25].

Перед каждым экспериментом показания встроенного в муфельную печь датчика температуры проверялись с помощью дополнительного термоэлектрического преобразователя (хромель-алюмель, диапазон измеряемых температур $0...1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, систематическая погрешность $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, инерционность не более 10 с). В качестве держателя капли топлива использовалась миниатюрная малоинерционная термопара (платинородий-платина, диапазон измеряемых температур $0...1600\text{ }^{\circ}\text{C}$, систематическая погрешность $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, инерционность не более 0,1 с, диаметр спая 0,1 мм). Температура воздуха варьировалась в диапазоне $700...1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Радиус капель, подвешенных на спаяе термопары, варьировался в пределах $0,5...1\text{ мм}$.

В экспериментах регистрировались следующие параметры: размер капли топлива (D_d); время задержки зажигания (τ_d); время выгорания (τ_b); температура в центре капли (T_d). Регистрация реализуемых режимов выгорания приготовленных топливных композиций осуществлялась с

помощью высокоскоростной видеорегистрации с частотой съемки до 10^5 кадров в секунду. Полученные кадры видеосъемки обрабатывались программным обеспечением Tema Automotive, позволяющим фиксировать геометрические размеры капель топлива (диаметр D_d), время задержки зажигания (τ_d), длительность выгорания (τ_b). Систематические погрешности измерения параметров τ_d , τ_b составляли не более 1 мс.

Время задержки зажигания τ_d это интервал от начала воздействия теплового потока из камеры сгорания, на частицу, до момента появления первых признаков воспламенения капли топлива. Параметр τ_b – полное время горения образца, от момента воспламенения до полного прогорания капли, которое характеризовалось отклонением T_d относительно установившегося значения (при $\tau \rightarrow \infty$) не более чем на $0,05T_d^{\max}$ (T_d^{\max} – максимальная температура капли в течение процесса выгорания) [26].

Параметры процессов зажигания и выгорания можно определить без термодарных измерений с применением высокоскоростной видеорегистрации. Такой подход основан на анализе свечения капли топлива в процессе нагрева и использован, например, в [31] для исследования выгорания наночастиц алюминия, в [32] для определения момента воспламенения частиц угля. В данной работе при обработке результатов видеорегистрации применялась цветовая модель RGB, в которой значение градиента 255 соответствует белому цвету, значение градиента 0 – черному. Границы диапазонов, соответствующих, области зажигания и потухания капли топлива, калибровались в соответствии с предварительными термодарными измерениями. Принято, что горению образца соответствовал диапазон RGB 220...255. Временем задержки зажигания τ_d считался интервал от момента входа капли суспензии в камеру сгорания до достижения параметра Threshold значения 220 в любой точке поверхности образца топлива [27]. Параметр τ_b представлял время от момента зажигания до момента окончания выгорания (т.е. при достижении параметра Threshold значения менее 220 по всей поверхности капли суспензии).

Для вычисления скорости выгорания использовалась формула при обработке результатов экспериментов [30]:

$$V_b = D_d^2 / \tau_b, \quad (1.1)$$

где V_b – скорость выгорания,

D_d – диаметр капли,

τ_b – время полного сгорания.

Компонентный состав исследованных ВУТ и ОВУТ приведен в таблице 1. Свойства компонентов приведены в таблицах 2–4. Подготавливались суспензии ВУТ и ОВУТ на основе коксующегося угля и отхода его обогащения (фильтр-кека). Такие отходы формируются на обогатительных комбинатах в больших объемах (по минимальным оценкам 10...15% обогащаемого угля переходит в отход) и, как правило, сгружаются в отвалы или бункеры для хранения. Для углеобогатительных фабрик фильтр-кеки являются некондиционным продуктом, однако их можно использовать вторично для выработки энергии, поскольку они содержат значительную долю углерода. Фильтр-кеки имеют влажность 40...60%, гранулометрический состав 80...100 мкм. Такие технологические свойства позволяют считать фильтр-кеки готовым ВУТ. Использованные в данном исследовании угольные компоненты получены с фабрик «Северная» и «Черниговская-Коксовая» Кемеровской области (Россия). В качестве жидкого горючего компонента выбрано отработанное турбинное масло, как типичный отход производственной деятельности энергопредприятий.

Таблица 1 – Компонентный состав исследования

Водоугольное топливо	
ВУТ 1	уголь коксующийся – 55%, вода – 45%
ВУТ 2	влажный фильтр-кек коксующегося угля – 100%
ВУТ 3	уголь слабоспекающийся – 55%, вода – 45%
ВУТ 4	100% влажный фильтр-кек слабоспекающегося угля – 100%

Продолжение таблицы 1

Органоводоугольное топливо	
ОВУТ 1	уголь коксующийся – 50%, вода – 40%, ОТМ – 10%
ОВУТ 2	влажный фильтр-кек коксующегося угля – 90%, ОТМ – 10%
ОВУТ 3	уголь слабоспекающийся – 50%, вода – 40%, ОТМ – 10%
ОВУТ 4	влажный фильтр-кек слабоспекающегося угля – 90%, ОТМ – 10%

Таблица 2 – Результаты технического анализа твердых компонентов топлива

	A^d , %	V^{daf} , %	$Q_{s,v}^a$, МДж/кг	W^a (%)
Фильтр-кек коксующегося угля	26,46	23,08	24,83	–
Фильтр-кек слабоспекающегося угля	50,89	30,16	15,23	–
Коксующийся уголь	14,65	27,03	29,76	2,05
Слабоспекающийся уголь	21,68	27,40	26,23	2,76

В таблице 2 приняты следующие обозначения:

- 1) A^d – зольность;
- 2) V^{daf} – содержание летучих веществ;
- 3) $Q_{s,v}^a$ – удельная теплота сгорания;
- 4) W^a – влажность.

Таблица 3 – Результаты анализа характеристик фильтр-кеков в исходном (влажном) состоянии [34]

	Массовая доля сухого вещества, %	$Q_{s,v}^a$, МДж/кг
Фильтр-кек коксующегося угля	56,5	14,1
Фильтр-кек слабоспекающегося угля	62,1	9,5

Таблица 4 – Результаты элементного анализа твердых компонентов топлива

	C^{daf} , %	H^{daf} , %	N^{daf} , %	S_t^d , %	O^{daf} , %
Фильтр-кек коксующегося угля	87,20	5,090	2,05	1,022	4,46

Продолжение таблицы 4

Фильтр-кек слабоспекающегося угля	87,47	5,039	2,15	0,444	4,77
Коксующийся уголь	79,79	4,486	1,84	0,868	12,70
Слабоспекающийся уголь	2,76	21,68	27,40	26,23	2,76

В таблице 4 приняты следующие обозначения:

- 1) C^{daf} – содержание углерода;
- 2) H^{daf} – содержание водорода;
- 3) N^{daf} – содержание азота;
- 4) S_t^d – содержание серы;
- 5) O^{daf} – содержание кислорода.

В качестве горючего компонента применялось отработанное турбинное масло с механическими примесями. В таблице 5 приведены результаты технического анализа.

Таблица 5 – Результаты анализа характеристик жидкого горючего компонента [34]

Название компонента	Плотность при 293 К, кг/м ³	Влажность, %	Зольность, %	Температура вспышки, °С	Температура зажигания, °С	Теплота сгорания, МДж/кг
Отработанное турбинное масло	868	–	0,03	175	193	45,1

Экспериментальные исследования по определению зависимостей времени задержки зажигания, скорости выгорания и длительности полного выгорания при сжигании в модельной камере сгорания проводились для топливных композиций, приведенных в таблице 1.

Время задержки зажигания является одним из главных параметров процесса горения топлива [35–37]. При снижении данного параметра

уменьшаются тепловые и временные затраты на прогрев камеры сгорания. Результаты экспериментальных исследований зависимостей времен задержки зажигания от температуры в камере сгорания приведены на рисунках 1.2 и 1.3.

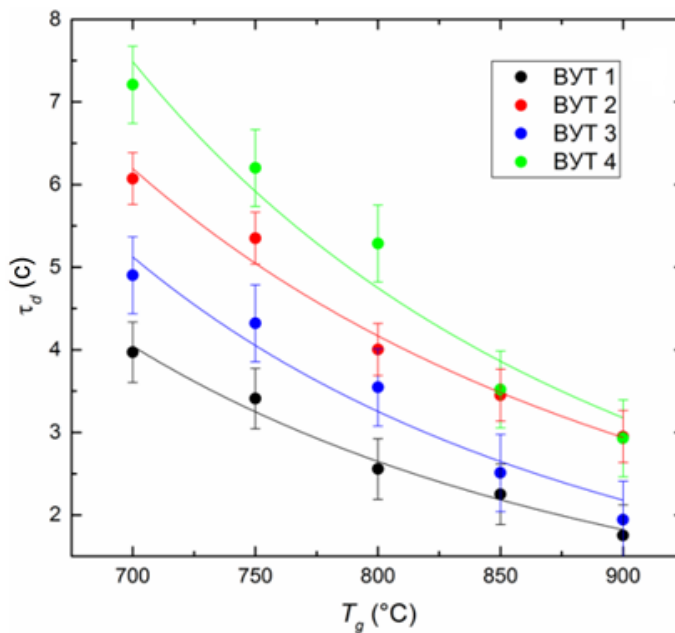


Рисунок 1.2 – Зависимость времен задержки зажигания капли ВУТ от температуры в камере сгорания ($D_d \approx 1,4$ мм)

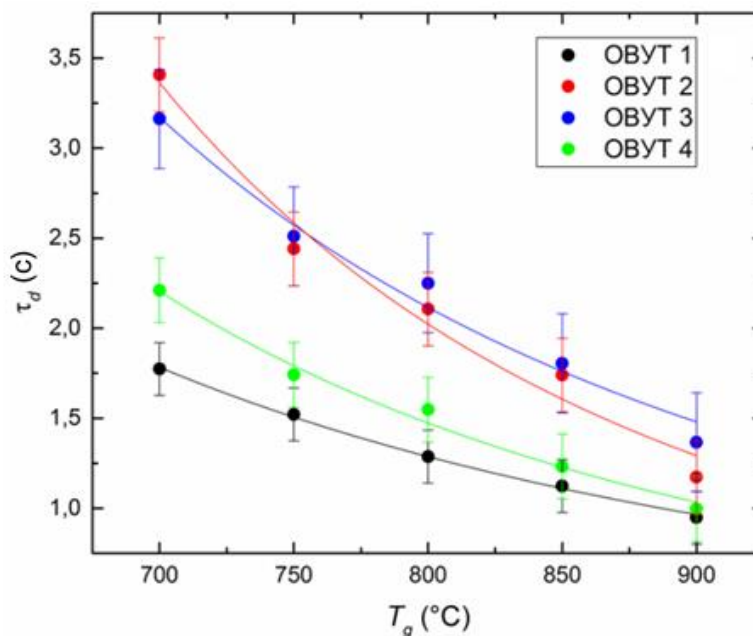


Рисунок 1.3 – Зависимость времени задержки зажигания капли ОВУТ от температуры в камере сгорания ($D_d \approx 1,4$ мм)

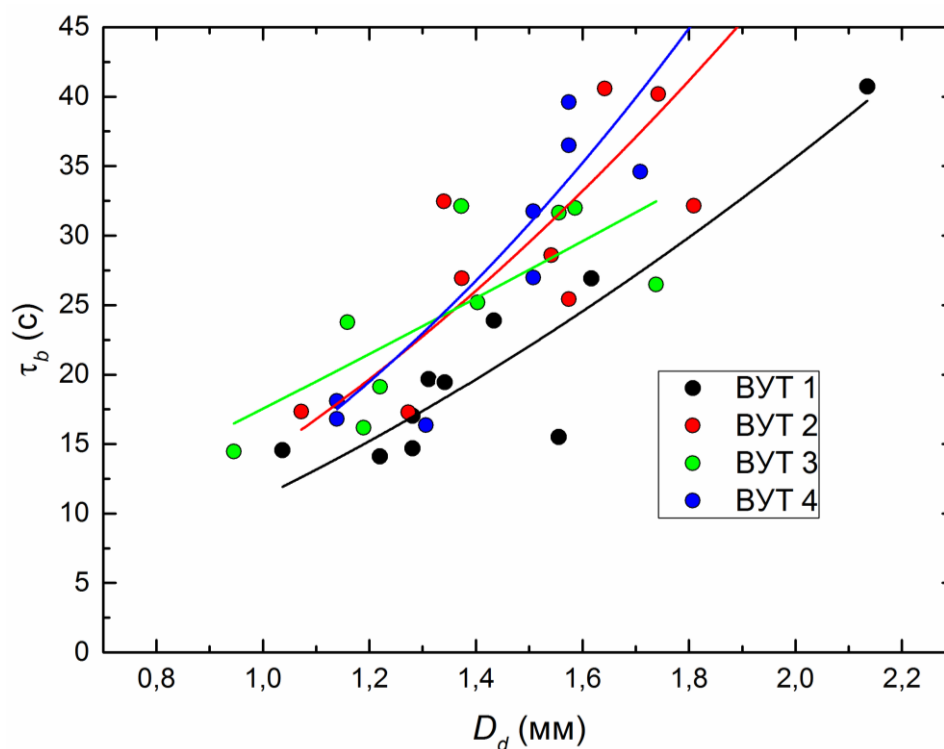


Рисунок 1.4 – Типичные длительности полного выгорания капель ВУТ при варьировании размеров капель и температуре в камере сгорания $T_g \approx 800$ °С

Установлены зависимости времен задержки зажигания капель ВУТ (рисунок 1.2) и ОВУТ (рисунок 1.3) от температуры в камере сгорания. Наименьшая инерционность зажигания (рисунок 1.2) характерна для суспензии на основе коксующегося угля, поскольку данный компонент имеет высокое содержание летучих и является наименее зольным (таблица 2). Капли других составов ВУТ имели большие времена задержки зажигания. Например, в рассматриваемом диапазоне изменения температуры в муфельной печи время задержки зажигания ВУТ 1 отличалось, в среднем, на 15...40% от аналогичного параметра ВУТ 2, полученного на основе отхода производства коксующегося угля. Аналогичные масштабы характерны для ВУТ 3 и ВУТ 4 (рисунок 1.2).

Важно, что инерционность зажигания капель всех составов имеет близкие значения при температуре примерно равной 900 °С. Для ВУТ 3, полученного из слабоспекающегося угля характерна более высокая зольность по сравнению с ВУТ 1 на основе коксующегося угля. Поэтому времена задержки зажигания

ВУТ 3 ближе к группе составов на основе отходов углеобогащения (ВУТ 2 и ВУТ 4). Можно сделать вывод о том, что в промышленном масштабе изменение инерционности зажигания не будет значительным при использовании ВУТ из отходов углеобогащения или ВУТ из обогащенного угля с зольностью выше 20%, особенно при устойчивой температуре в камере сгорания (для рассматриваемых композиций ВУТ – выше 900 °С). Однако существенное снижение инерционности зажигания (на уровне 30...40%) можно обеспечить при использовании угля с меньшей зольностью и большим содержанием летучих в составе ВУТ при сжигании в области более низких температур в камере сгорания. В целом для исследованных ВУТ характерно снижение длительности инициирования выгорания на 40...45% при увеличении температуры от 700 °С до 900 °С, что связано, в основном, с существенным ускорением эндотермических процессов (включающих испарение влаги и масла, а также термическую деструкцию угольного компонента).

На рисунке 1.3 приведены зависимости времени задержки зажигания от температуры в камере сгорания для составов с отработанным турбинным маслом. По сравнению с ВУТ (рисунок 1.2) для ОВУТ характерны меньшие времена задержки зажигания. Это связано с тем, что при добавлении даже сравнительного небольшого объема нефтепродукта (10% массовой доли) происходит замещение части воды на горючий компонент. Испарение нефтепродукта во много раз менее энергозатратный процесс (теплота испарения воды около 2 МДж/кг, теплота испарения нефтяных масел 160...350 кДж/кг). Кроме того, пары нефтепродукта формируют горючую газовую смесь с кислородом и летучими. При горении этой смеси в газовой фазе происходит дополнительный подвод теплоты к поверхности капли (коксового остатка) топлива. Вследствие наличия нефтепродукта, сгорающего в газовой фазе, у капель ОВУТ чаще всего газофазный факел больше, чем у ВУТ. В опытах с ВУТ размеры пламенной зоны выгорания зависят от концентрации летучих в составе твердого горючего компонента.

Снижение инерционности процесса зажигания при использовании нефтепродукта (даже отработанного) может быть достаточно существенным.

Например, для ВУТ 1 и ОБУТ 1 времена задержки зажигания отличаются в среднем в 1,5...2,2 раза; для суспензий на основе отходов τ_d отличаются в 1,7...2 раза для ВУТ 2 и ОБУТ 2; в 1,4...1,6 раза для ВУТ 3 и ОБУТ 3; в 2,3...3,2 раза для ВУТ 4 и ОБУТ 4 (рисунок 1.3). Отличия инерционности процесса зажигания между разными составами ОБУТ менее выражены по сравнению с ВУТ. Особенно это заметно при возрастании температуры. Полученный результат иллюстрирует большой вклад процессов испарения (эндотермический процесс) и окисления (экзотермический процесс) жидкого нефтепродукта в составе топлива на устойчивое зажигание коксового остатка.

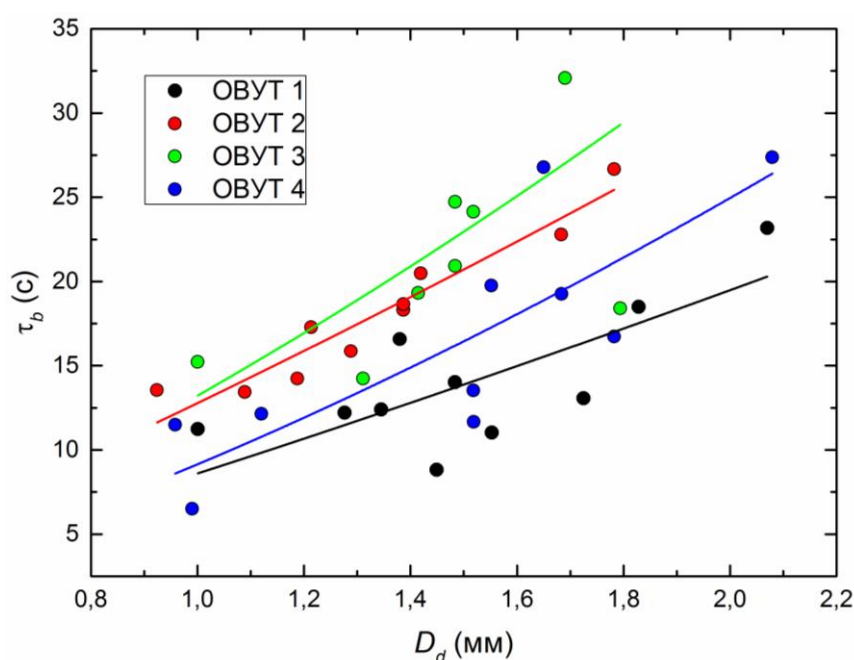


Рисунок 1.5 – Типичные длительности полного выгорания каплей ВУТ при варьировании размеров каплей и температуре в камере сгорания $T_g \approx 800$ °С

Рисунок 1.4 и 1.5 иллюстрирует влияние первоначального размера капли на инерционность зажигания, длительность и скорость сгорания. Уменьшение первоначального размера капли приводит к значительному снижению времен задержки зажигания (на 50...75%).

На следующем этапе исследования определялись зависимости времен задержки зажигания от температуры в камере сгорания, при варьировании массовой доли твердой части и жидкого горючего компонента.

Рисунок 1.6 иллюстрирует влияние массовой концентрации угля в составе топлива на инерционность зажигания, длительность и скорость сгорания. Увеличение доли угля способствует (рисунок 1.6) значительному снижению времен задержки зажигания (на 50...75%), поскольку при этом снижается доля воды и увеличивается масса способного к реагированию вещества. Увеличивается и общее количество летучих, оказывающих сильное влияние на достижение условий зажигания.

Рисунок 1.7 иллюстрирует влияние концентрации жидкого горючего компонента на инерционность зажигания капель суспензии. Увеличение доли масла до 20% приводило к снижению инерционности гетерогенного зажигания коксового остатка в 3,2...4,8 раза (рисунок 1.7). В этом случае необходимая для зажигания концентрация горючих газов достигается быстрее и они сгорают с большим тепловыделением. Соответственно, коксовый остаток прогревается в процессе газофазного выгорания не только продуктов разложения частиц угля, но и паров горючей жидкости.

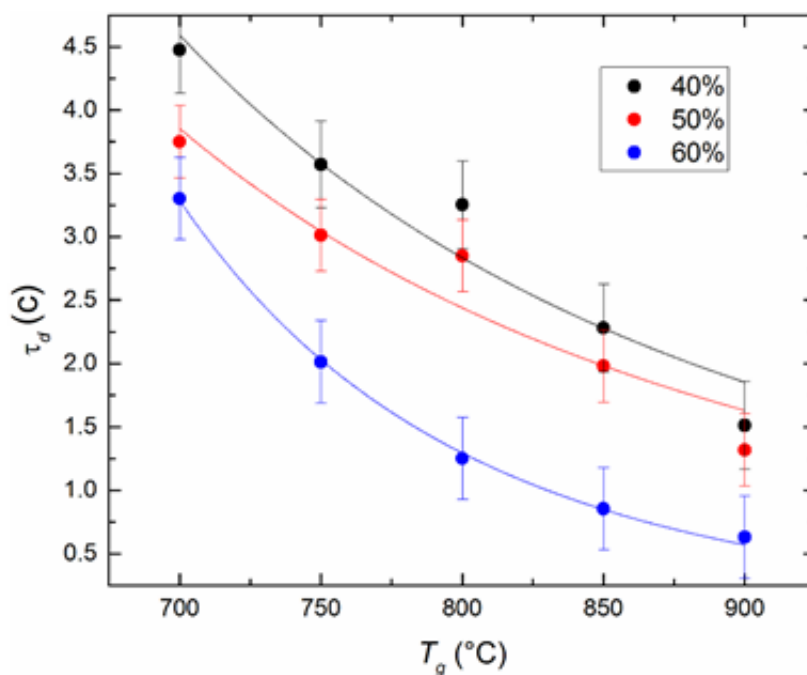


Рисунок 1.6 – Зависимости времен задержки зажигания капель ОВУТ на основе коксующегося угля и отработанного турбинного масла (10% масс.) от температуры в камере сгорания при $D_d \approx 1,7$ мм и варьировании концентрации угля.

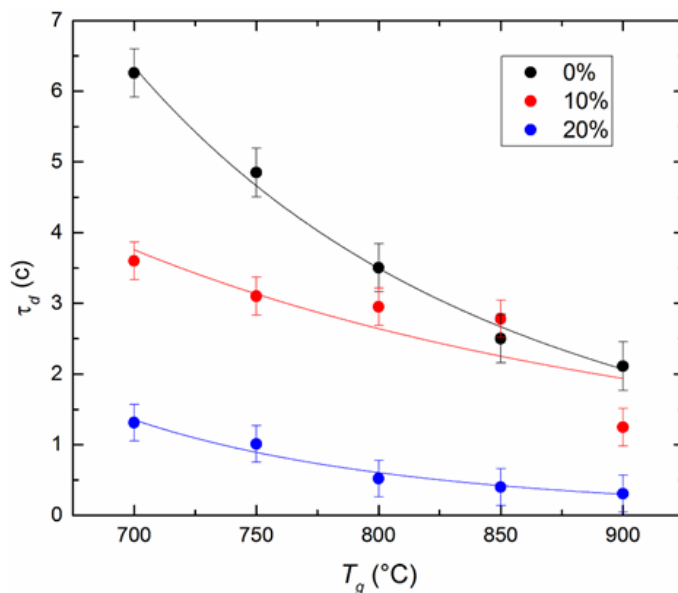


Рисунок 1.7 – Зависимости времен задержки зажигания капель суспензии на базе коксующегося угля и отработанного турбинного масла от температуры в камере сгорания при $D_d \approx 1,7$ мм и варьировании концентрации отработанного турбинного масла

Рисунки 1.8 и 1.9 иллюстрируют влияние массовой концентрации угля и отработанного турбинного масла в составе топлива на скорость выгорания капель. При повышении доли твердого вещества в составе суспензионного топлива зарегистрировано достаточно сложное по характеру изменение скорости выгорания (рисунок 1.8). Для капли топлива с более высокой концентрацией угольного компонента свойственна самая низкая скорость прогорания (рисунок 1.8). В то же время капля топлива со средней долей угля (примерно 50%) имела максимальную скорость выгорания (рисунок 1.8). При увеличении концентрации масла регистрировали увеличение скорости выгорания капли (рис. 1.9).

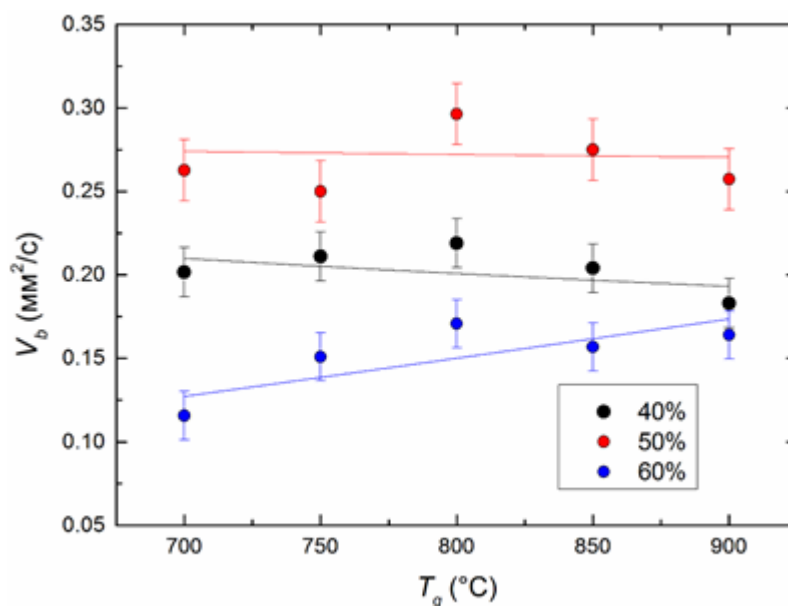


Рисунок 1.8 – Типичные скорости выгорания капель ОВУТ на основе коксующегося угля и отработанного турбинного масла (10% масс.) при варьировании температуры в камере сгорания при $D_d \approx 1,7$ мм и концентрации угля

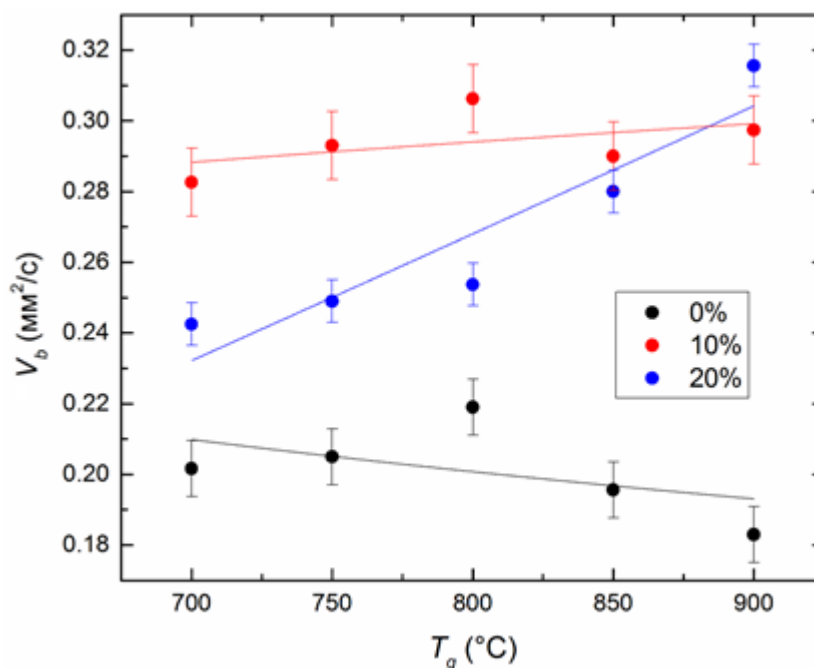


Рисунок 1.9 – Типичные скорости выгорания капель суспензии КЖТ на базе коксующегося угля и отработанного турбинного масла при варьировании температуры в камере сгорания при $D_d \approx 1,7$ мм и концентрации отработанного турбинного масла

Рисунок 1.10 иллюстрирует отличия скоростей выгорания капель ВУТ и ОВУТ разных составов. Во всех случаях добавление отработанного нефтепродукта приводило к ускорению выгорания. Отличие достаточно существенное и может достигать 50...60%. Самыми высокими скоростями выгорания обладают составы ОВУТ на основе коксующегося угля, а также на основе отхода обогащения слабоспекающегося угля. Высокие скорости сгорания достигаются за счет эффекта взрывного зажигания (с интенсивной фрагментацией капли) и выгорания, способствующего лучшему взаимодействию с окислителем.

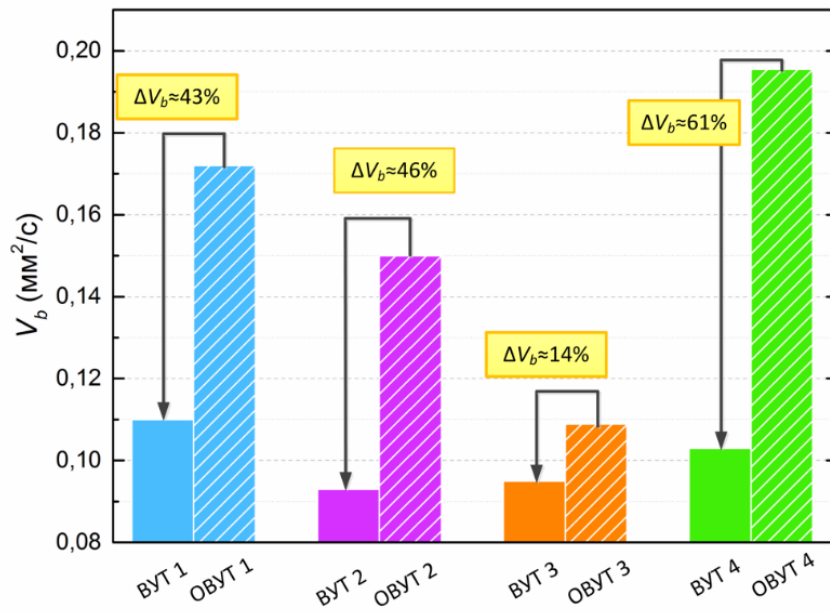


Рисунок 1.10 – Сравнение скоростей выгорания капель ВУТ и ОВУТ
 ($D_d \approx 1,4$ мм, $T_g \approx 700$ °C)

2 Проектирование АСКУ процессом горения композиционного водосодержащего топлива

Объектом автоматизации в данной работе является водогрейный котел КВГМ-50-150, который изготовлен ПО «САЭМ».

Котёл обладает вертикальной, башенной компоновкой: над камерой сгорания призматической формы, расположенной вертикально, находится конвективная поверхность нагрева. Система труб, подвешивается к каркасу за верхние коллекторы, и свободно расширяется в сторону основания камеры.

Котёл состоит из трубной системы, объединяющей камеру сгорания и поверхность конвективного нагрева, и газомазутных горелок. Котёл КВГМ-50-150 (ПТВМ-50) оборудован двенадцатью прямоточными-вихревыми газомазутными горелками (ГМПВ-6), расположенными на боковых сторонах по шесть штук с каждой стороны. Каждая горелка оборудована собственным дутьевым вентилятором для нагнетания потока воздуха. Котлы КВГМ-50-150 (ПТВМ-50) выполняются в облегчённой обмуровке с ее креплением непосредственно к экранным трубам. Общая толщина обмуровки составляет примерно 110...120 мм.

Технические характеристики котла КВГМ-50-150 представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики котла ПТВМ-50 (КВ-ГМ-50-150)

Наименование	Значение
Вид топлива	Газ, жидкое топливо (мазут)
Теплопроизводительность, ГКал/ч	50
Теплопроизводительность, МВт	58,1
Температурный график воды, °С	75...155
Рабочее давление, МПа	2,4
Расход воды через котел, т/ч	620
Гидравлическое сопротивление, МПа	0,24
Аэродинамическое сопротивление, МПа	750
КПД расчетный, %	92,8
Расход топлива, кг/ч	6260

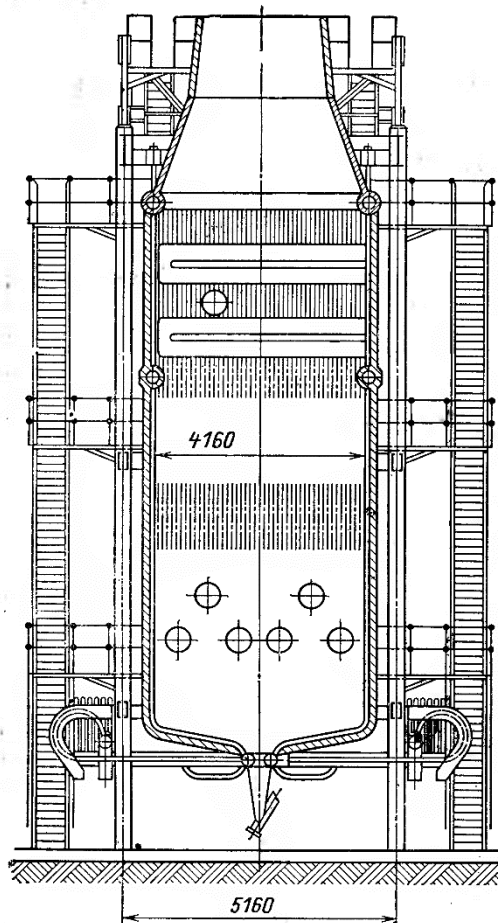


Рисунок 2.1 – Продольный разрез котла КВГМ-50-150

Оптимизация процессов горения на различных котельных агрегатах производится при помощи внедрения в исходную систему дополнительной автоматической системы управления. Работа котла контролируется посредством компьютера, при помощи ввода оператором заданных исходных параметров. При использовании автоматической системы управления процессами минимизируется участие человека в производственной деятельности, уменьшается время работы человека с оборудованием котельного агрегата, а также уменьшается влияние человеческого фактора. Автоматическая система регулирования процесса горения позволяет снизить концентрации антропогенных выбросов, уменьшить расход топлива, и повысить безопасность процесса производства энергии.

Автоматизация процесса выработки тепловой энергии может быть полной (включая основное, насосное и вспомогательное оборудование) или

частичной. На котельных небольшого размера можно установить блочные горелочные устройства с автоматическим регулированием процесса сжигания топлива. Все управление технологическими процессами на источниках полностью автоматизировано при помощи запрограммированного контролера (нижний уровень АСУ ТП). Контроль над технологическим процессом ведется обслуживающим персоналом с пульта управления через ПК. Персонал обслуживания отдает команды на завод или остановку необходимого в данное время оборудования. Также обслуживающий персонал делает корректировки в технологическом процессе выработки тепловой энергии.

2.1 Выбор структуры АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива

Структура управления объекта автоматизации оказывает значительное влияние на эффективность работы системы, стоимость оборудования для регулирования, ремонтпригодность и надежность. САР может состоять из одного или нескольких уровней управления (одноуровневые и многоуровневые системы). В рамках данной работы применяется многоуровневая АСР процесса горения композиционного водосодержащего топлива, включающая в себя три уровня управления.

Полевой уровень включает в себя показывающие приборы, первичные и нормирующие преобразователи, различные датчики, исполнительные механизмы и органы местного управления. На нижнем уровне выполняется контроль технологических параметров с заданной точностью и периодичностью; преобразование измеренных параметров в унифицированные электрические сигналы; контроль состояния исполнительных механизмов и сигнализаторов технологических параметров; интерфейс с аппаратурой управления исполнительными механизмами.

К среднему уровню относятся щит управления, построенный на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые обеспечивают сбор информации, поступающей с датчиков технологических параметров и

формирование команд на исполнительные механизмы, и содержащий вторичные средства измерения, выполняющие функции преобразования сигналов от датчиков полевого уровня до контроллерного оборудования, а также искробезопасные барьеры и преобразователи. На уровне контроллеров выполняется сбор, обобщение, сравнение и первичная обработка информации, поступающей с полевого уровня, от датчиков и измерительных преобразователей, а также информации по учету и контролю количества и сопутствующих параметров газа; автоматическое тестирование элементов местной автоматики и контроллеров блоков управления; трансляция информации на компьютер оператору.

На верхнем уровне выполняется систематизация собранной информации от микропроцессорных контроллеров и устройств нижних уровней; составляются отчеты, сводки и справочные документы, о состоянии технологического процесса; формируется база данных, обрабатывается и хранится собранная информация; формируются и передаются управляющие воздействия на полевой уровень, для поддержания стабильности заданного технологического режим; диагностика работы технологического оборудования, технических и программных средств системы управления.

Верхний уровень включает автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора – программно-техническое средство вычислительной техники, предназначенное для накопления, хранения, обработки (обобщения) и представления оператору любой информации и приема команд управления объектами. На мониторе АРМ информация представляется оперативному персоналу в следующих видах:

- 1) технологические схемы с указанием текущих значений измеряемых параметров;
- 2) состояния технологического оборудования и исполнительных механизмов;
- 3) предупредительная сигнализация;
- 4) архив аварийных сообщений.

Основным способом предоставления оператору актуальной информации являются мнемосхемы – графические модели, отображающие динамически изменяющуюся функционально-техническую схему управляемого оператором объекта.

На рисунке 2.2 изображена структурная схема системы контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива. В проектируемой системе регулируется расход топлива подаваемого в топку котельного агрегата.

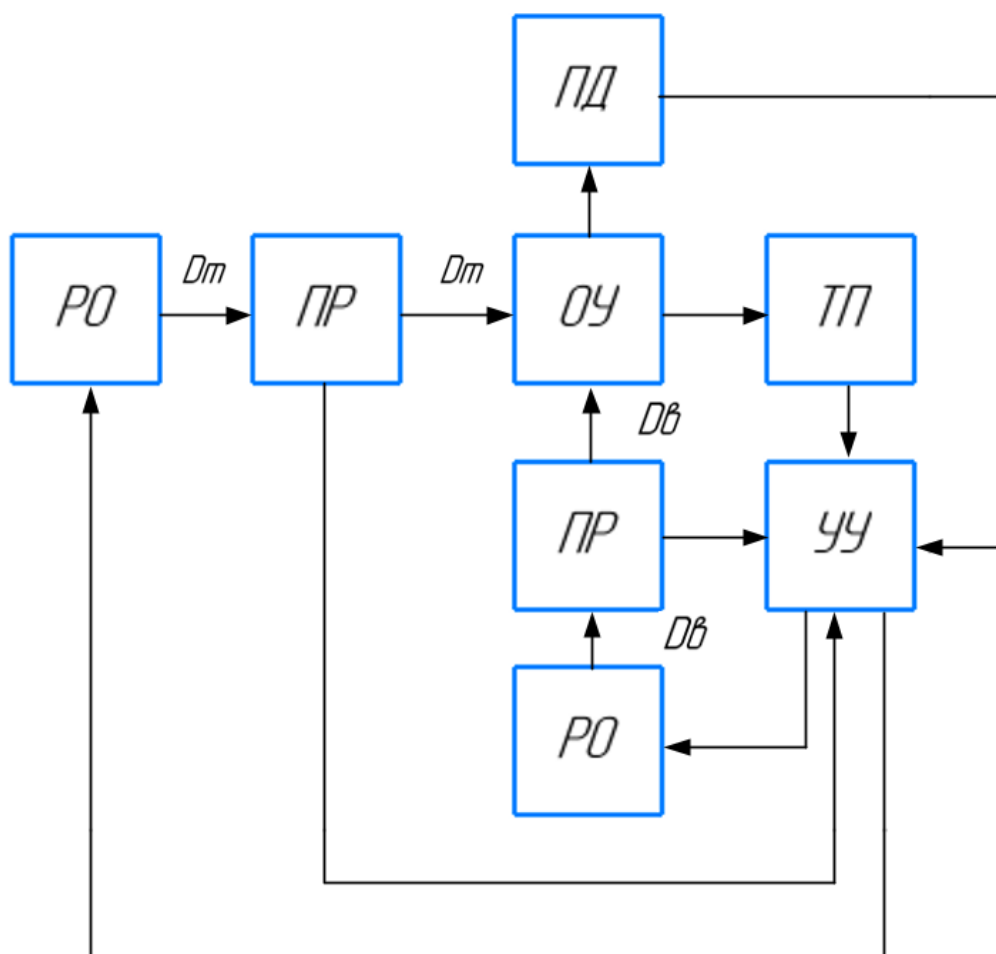


Рисунок 2.2 – Структурная схема системы контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива

(ОУ – объект управления; ТП – термоэлектрический преобразователь; ПР – преобразователь расхода; УУ – устройство управления; ПД – преобразователь давления; РО – регулирующий орган; D_T – расход топлива; D_B – расход воздуха;)

2.2 Проектирование функциональной схемы АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива

Функциональная схема систем автоматизации технологических процессов является основным техническим документом, определяющим структуру и характер систем автоматизации технологических процессов, а также оснащения их приборами и средствами автоматизации.

В процессе разработки функциональной схемы выполнены следующие задачи:

- Изучение схемы технологического объекта автоматизации;
- определение перечня регулируемых и контролируемых параметров и регулирование технологического процесса и оборудования. Перечень регулируемых параметров представлен в таблице 7.
- указание месторасположения точек отбора измерительной информации;
- определение предельно допустимых рабочих значений контролируемых и регулируемых параметров (таблице 7);
- выбор структуры измерительных каналов информационно-управляющей и исполнительной частей системы автоматизации: в состав структуры каналов измерительной части входит первичный преобразователь температуры без нормирующего преобразователя, в состав структуры каналов информационно-управляющей части входит ПЛК, в состав структуры исполнительной части входят пусковое устройство и исполнительный механизм;
- выбор методов и технических средств получения, преобразования, представления и передачи измерительной информации, а также технических средств выработки управляющих воздействий. Выбран контактный метод измерения температуры дымовых газов в камере сгорания посредством термоэлектрического преобразователя (ТЭП), т.к. термопреобразователи сопротивления (ТПС) медные не могут обеспечить измерение температуры до 600 °С, а платиновые ТПС имеют

большую стоимость. Для реализации функций контроля и управления предусмотрен ПЛК;

- размещение технических средств автоматизации (ТСА) на технологическом оборудовании: первичные преобразователи температуры расположены непосредственно на технологическом оборудовании, пусковое устройство находится в шкафу пусковой арматуры, ПЛК расположен в шкафу управления и автоматики.

Таблица 7 – Контролируемые параметры

Наименование параметра	Значение параметра
1. Температура в топке котла	750...1200 °С
2. Давление в топке котла	2,5 МПа
3. Расход топлива	6,26 т/ч

Функциональная схема АСР горения композиционного водосодержащего топлива представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 С2.

2.3 Выбор технических средств АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива

Система регулирования теплотехнических параметров должна проектироваться, как правило, на основе технических средств автоматизации, серийно выпускаемых отечественными предприятиями. Предпочтение должно отдаваться унифицированным системам и однотипным техническим средствам, обеспечивающим взаимозаменяемость, простоту сочетания друг с другом и удобство компоновки на щитах.

В процессе выбора первичных измерительных преобразователей необходимо учитывать предельные значения измеряемого параметра и давлений, в диапазоне которых можно применять различные первичные измерительные преобразователи, а также характеристики выходного сигнала

первичных измерительных преобразователей. Необходимо ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций.

2.3.1 Выбор датчиков температуры

В качестве датчиков температуры используются аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом. Датчик температуры выбираем по каталогу завода-изготовителя «EMERSON». По подходящим конфигурациям выбираем интеллектуальные преобразователи температуры типа «Метран 288».

«Метран 288» предназначены для измерения высоких температур различных сред, в том числе и агрессивных сред. Диапазоны измеряемых температур: 0...500 °С или 0...1000°С.

Предел допускаемой основной приведенной погрешности по аналоговому сигналу $\pm 0,4\%$. Рабочий спай термопары изолирован относительно корпуса датчика.

Альтернативным вариантом может быть преобразователь типа ТХАУ 205 с НСХ ХК(L) производства ООО НПО «Элемер». По техническим характеристикам он очень схож с «Метран 281», однако ТХАУ 205 не оборудован защитой от внешних помех, а также не предусмотрена автокомпенсация изменения ТЭДС от изменения температуры холодных спаев термопары.

Таким образом, в качестве измерительного преобразователя выбираем «Метран 288», так как он удовлетворяет условиям и соответствует техническим характеристикам.

Монтаж термопары на боковой стенке котельного агрегата осуществляется под прямым углом. Для данного типа термоэлектрического преобразователя предусмотрена защитная гильза и бобышка для монтажа термопары по месту, тем самым при заказе данного преобразователя, в комплекте предусмотрены все необходимые элементы для монтажа.

2.3.2 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм выбирается не только из вида регулирующего органа, но и от крутящего момента.

Максимальный крутящий момент МЭО вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 80 - 338 = 213,2,$$

где D_y - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе ИМ типа МЭО должно выполняться условие $M_H > M_{\max}$,

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

Выбираем ИМ типа МЭО-250/25-0,25 У-99К. Данный ИМ снабжен датчиком положения выходного вала и функцией управления вручную. Питание ИМ подводится от сети 220В переменного тока. Потребляемая мощность 240 Вт. Приблизительная стоимость данного устройства 18500 рублей.

Конструкция исполнительного механизма МЭО-250/25-0,25 У-99К представлена на рисунке 2.2.

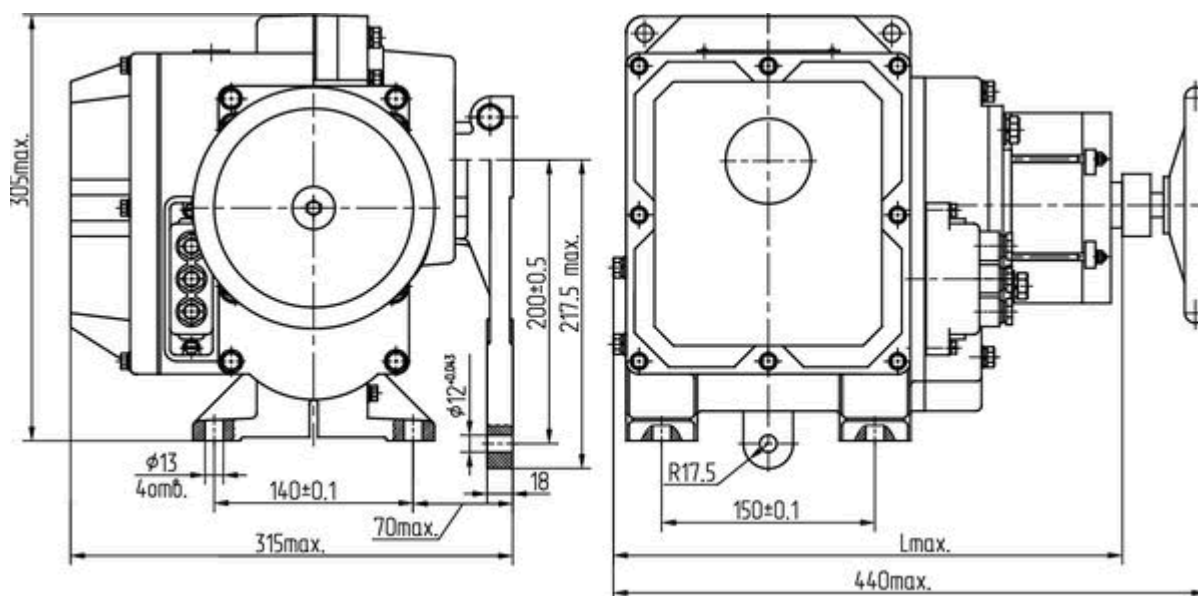


Рисунок 2.3 – Конструкция МЭО-250/25-0,25 У-99К:

2.3.3 Выбор блока управления исполнительного механизма

В качестве блока управления исполнительным механизмом будем использовать интеллектуальный блок серии БУЭР1-30-02, выполняющий пуск, реверс и останов однофазных электродвигателей [67].

Новые блоки управления типа БУЭР, разработанные и выпускаемые ЗАО «Волмаг» являются аналогами известных пускателей для исполнительных механизмов МЭО типа ПБР и ФЦ, разработанных ОАО «СКБ СПА» (г. Чебоксары) более 20 лет назад.

Режим работы – повторно-кратковременный с продолжительностью включения до 25 %. Блок управления содержит микропроцессорное устройство, два приемо-передатчика интерфейсного канала RS – 485 и преобразователь питания, что обеспечивает:

- резервирование цифрового канала;
- прием команд управления исполнительным механизмом;
- формирование управляющих импульсов;
- передачу по цифровому каналу значения сигнала датчика положения механизма;
- диагностику работоспособности блоков управления и исполнительного механизма.

Для обмена по каналу RS-485 используется стандартный протокол Modbus.

Настройка интеллектуального блока осуществляется при помощи переносного пульта ПК – 302.

Функции:

- управление электродвигателем (пуск, реверс, останов);
- прием команд управления исполнительным механизмом;
- создание управляющих импульсов;
- самодиагностика;
- диагностика работоспособности исполнительного механизма.

2.3.4 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства используется контроллер. В данной работе рассматривались 2 контроллера от различных производителей, таких как: «ОВЕН»; «Элсима М-01-24Р»; Для реализации задачи необходимо 13 аналоговых входов для регистрации температуры и расхода топлива. Также необходимо учитывать стоимость контроллера. Проведем сравнение характеристик контроллеров этих производителей.:

1) Элсима М-01-24Р производства АО «ЭлеСи».

Контроллер может быть использован для следующих операций:

- измерение и регулирование параметров, поступающих с полевого уровня, в виде унифицированного электрического сигнала; измерение аналоговых электрических сигналов;
- измерение величин входных сигналов, изменяющихся во времени (дискретные сигналы);
- управление технологическим процессом, при помощи дискретных выходов;
- обмен данными между устройствами при помощи типичных интерфейсов (RS-485, а также Ethernet по протоколам ModBus RTU (Master/Slave), IEC 870-104 ModBus TCP/IP (Slave)).

Чаще всего ПЛК может быть использован для создания систем автоматического контроля и управления, технологического процесса, в совершенно различных отраслях промышленности (пищевая промышленность, добывающая промышленность, энергетическая промышленность и т.д.).

Питание контроллера осуществляется от сети питания постоянного тока 24 В. Количество аналоговых входов – 4, количество дискретных входов – 20, количество дискретных выходов – 4. Полное время преобразования сигнала с термопары – 0,4 с. Габаритные размеры – 160x116x59 мм

Возможно расширение количества точек ввода/вывода с помощью подключения внешних модулей по любому из встроенных интерфейсов.

2) ОВЕН ПЛК 63 производства ООО «ОВЕН» [42].

Контроллер предназначен для:

- измерения и автоматического регулирования технологических параметров, значение которых первичными преобразователями может быть преобразовано в унифицированный электрический сигнал постоянного тока, а также сигнала с термопар;
- измерение аналоговых электрических сигналов;
- измерение входных дискретных сигналов;
- управление посредством дискретных выходов;
- осуществления обмена данными по интерфейсам RS-485, RS-323, ОВЕН, а также Ethernet по протоколам ModBus, DCON, CODESYS.

Контроллер фирмы «ОВЕН» имеет наименьшую цену (13000 рублей), а также встроенный источник питания. Рассмотрим ПЛК «ОВЕН 63» более подробно.

Имеется возможность управлять технологическим процессом непосредственно с лицевой панели контроллера с помощью встроенного текстового монохромного дисплея - для конфигурирования вывода и задания значения параметров программы, информации о ходе процесса и сигнализации и 9 кнопок управления - для управления индикацией задания значения параметров.

Встроена батарея бесперебойного питания, позволяющая выполнять программу при пропадании питания, и переводить выходные элементы в безопасное состояние.

Имеется 5 различных типов выходных элементов, которые можно выбрать при заказе контроллера, а также универсальные аналоговые входы для подключения широкого спектра датчиков и встроенные интерфейсы

RS-485, RS-232. В качестве выходных устройств выбираем 5 цифроаналоговых преобразователей, с аналоговым выходным сигналом 0... 10 В. В таблице 8 приведена характеристика контроллера [42].

Контроллер может применяться для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на транспорте, в различных областях промышленности.

Питание контроллера осуществляется от сети питания переменного тока 220 В. Количество аналоговых входов – 8, количество дискретных входов – 8, количество дискретных выходов – 6. Полное время преобразования сигнала с термопары – 0,4 с. Габаритные размеры – 157x86x58 мм.

Контроллер ОВЕН ПЛК 63 по стоимости почти в два раза дешевле, чем Элсима М-01-24Р, но по техническим характеристикам контроллер фирмы ЭлеСи является в нашем случае более предпочтительным для эксплуатации. Поэтому оптимальным вариантом выбора будет контроллер Элсима М-01-24Р.

Таблица 8 – Технические характеристики ОВЕН ПЛК63 [42]

Наименование контроллера	ОВЕН 63	Элсима–М01-24Р	SIMATIC-S7-200
Питание			
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц; 24 В	~220 В, 50 Гц	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, для переменного тока, ВА	18	12	12
Цифровые (дискретные) входы			
Количество входов	8	20	6
Аналоговые входы			
Количество аналоговых входов	8	4	6
Разрядность АЦП, бит	15	15	
Среда программирования	Xcos	Xcos	Step7
Цена, руб.	12514	13990	13372

Крепление контроллера Элсима М-01-24Р [46] производится исключительно на металлический профиль (DIN-рейка) в шкаф автоматизации. То место, в которое крепится ПЛК, должно обеспечивать защиту контроллера от пыли, влаги и различных механических повреждений. Данный контроллер целесообразно эксплуатировать только при следующих рабочих условиях: взрывобезопасные помещения, атмосферное давление (80-110 кПа), диапазон рабочей температуры ($-40 \dots 60$ °С), влажность (5...95%).

При рассмотрении вариантов регулирующих устройств, выбор пал на отечественные фирмы «ОВЕН» и «ЭлеСи», т.к. эти фирмы зарекомендовали себя на рынке микропроцессорных контроллеров как поставщики надежных приборов контроля, а также регулирующих устройств.

На основе сделанного выбора технических средств составлена заказная спецификация средств автоматизации, приведенная в документе ФЮРА.421000.010 СО1.

2.3.5 Проектирование принципиальной схемы АСКУ процесса горения композиционного водосодержащего топлива

Принципиальная электрическая схема – графическое изображение аппаратов, устройств, приборов и связей между ними, обеспечивающих решение управленческих задач, задач регулирования, защиты, измерения и предупреждения.

Принципиальные схемы являются основными чертежами для разработки рабочих монтажных чертежей, проведения пусконаладочных работ и квалифицированной эксплуатации этих узлов, устройств и систем электрического принципа действия. Названия принципиальным электрическим схемам присваиваются в соответствии с функциональными принципами действия запроектированной системы. Эти схемы служат также для изучения принципа действия системы, они необходимы при производстве наладочных работ и в эксплуатации.

Для разработки принципиальной электрической схемы необходимо выполнить ряд действий:

- 1) нанести на схему технические средства автоматизации с соответствующими стандартами;
- 2) произвести соединение проводок с клеммами устройств по требованиям завода изготовителя оборудования;
- 3) произвести нумерацию проводников.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического и текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

В данном разделе была разработана схема электрическая автоматической системы контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива, которая приведена на первом листе с шифром ФЮРА.421000.010 ЭЗ.

Чтение электрических схем и эксплуатирование электроустановок становится значительно легче, за счет обозначения цепей по функциональному признаку в зависимости от того, как будет использована эта цепь. Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем

применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева направо.

Электропитание всех технических средств осуществляется от распределительного щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц.

Измеряемые величины преобразуются в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА, данный сигнал поступает на преобразователи измерительные разделительные ЕТ 422, которые выступают в роли устройства гальванической развязки, а также как барьеры искрозащиты. После ЕТ 422 унифицированный токовый сигнал поступает на вход контроллера Элсима М-01-24Р, и на модули ввода аналоговых сигналов Элсима А-01. Информация с данных модулей передается на контроллер при помощи Ethernet.

Контроллер обрабатывает информацию, полученную полевого уровня. На основе программно заданных алгоритмов формирует управляющий сигнал, который передается на блок управления электродвигателем. В соответствии с сигналами управления силовые ключи блока управления коммутируют цепи нагрузки обмотки электродвигателя исполнительного механизма.

Сигнал обратной связи о положении регулирующего органа микроконтроллер получает с исполнительного механизма, который подключен непосредственно к контроллеру А2 по четырехпроводной схеме.

Схема электрическая АСР процесса горения композиционного водосодержащего топлива, приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 ЭЗ.

2.3.6 Проектирование монтажной схемы АСР процесса горения композиционного водосодержащего топлива

Монтажная документация предназначена для выполнения монтажных работ. Эту документацию также используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ. Для сложных систем автоматизации отдельно выполняют монтажные схемы щитов, пультов, внешних электрических и трубных проводок. В нашем случае система объемная, монтажные схемы внешних электрических проводок и

щита управления выполнены на разных листах с десятичными номерами ФЮРА.421000.010 Э7 и ФЮРА.421000.010 ОВ.

Монтажная документация, разрабатываемая в процессе проектирования систем автоматического регулирования, включает в себя:

- монтажную документацию щитов и пультов;
- монтажную документацию внешних электрических и трубных проводок.

Монтажные схемы, показывают каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных:

- на конструкции;
- за пределами конструкций.

Для разработки монтажной документации используются следующие материалы:

- функциональная схема;
- принципиальная электрическая схема;
- техническая документация заводов изготовителей средств

автоматизации и других средств:

- техническое описание;
- инструкция по эксплуатации;
- общие виды щитовых и других конструкций.

В курсовом проекте необходимо разработать монтажную схему автоматической системы регулирования температуры перегретого пара, для этого нужно выполнить следующие этапы:

- нанести на монтажную схему технические средства автоматизации, в соответствии с принятыми обозначениями;
- выбрать проводки для соединения технических средств;
- произвести нумерацию проводников в соответствие со схемой подключений;
- выполнить подключения средств измерения и управления в шкаф автоматизации.

В верхней части чертежа располагается таблица, с пояснительными надписями. Ниже данной таблицы изображаются первичные измерительные преобразователи и другие средства автоматизации, которые устанавливаются по месту на участке технологического процесса.

Датчики температуры и исполнительный механизм изображены монтажными символами в соответствии с заводскими инструкциями. При этом, внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним жил кабелей, причем, изображены только использующиеся клеммы. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа.

В нижней части схемы изображен щит автоматизации, в форме прямоугольника. В щите автоматизации изображаются клеммные коробки, а также подведенные к каждой клемме промаркированные жилы кабелей и проводов.

Первичные преобразователи, внешние приборы и шкаф управления соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с помощью электрических кабелей, проводов и жгутов проводов.

К внешним электрическим и трубным проводкам относят такие проводки, которые расположены за пределами щитов и пультов.

Присвоены порядковые номера средств системы автоматизации. Проводники, подключаемые к зажимам и клеммам технических средств, маркированы в соответствии с принципиальной схемой.

Целью проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электропроводок, коммутации токоведущих жил и труб к техническим средствам автоматизации и вспомогательным элементам, проверки проводок и ввода их в эксплуатацию.

Для линий питания выбираем кабели с медными жилами типа АРВГЭ сечением 1 мм².

В щите автоматизации для соединения сборок зажимов с микроконтроллером используем провод с медной жилой и изоляцией из поливинилхлоридного пластика марки ПВ-1.

Схема монтажная внешних электрических проводок, представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 Э7.

2.3.7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР

Щиты автоматизации используются в качестве оболочки для монтируемых на них контролирующих и управляющих приборах технологического процесса, сигнализирующей аппаратуры, контрольно-измерительной аппаратуры, аппаратов, коммутирующих управляющее воздействие, различных защитных и блокирующих устройств, а также элементов связи между данными устройствами. Щиты устанавливаются в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

Для оперативного контроля за ходом технологического процесса разместим в необходимом и достаточном количестве на щите контроллер и сборки зажимов.

В данном случае для размещения средств автоматизации используем щит фирмы Rittal, высотой 1600 мм, шириной 800 мм и глубиной 500 мм – Rittal VX 8865.000 1600x800x500 мм.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, перечень составных частей.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.010 ОВ.

3 Расчет параметров настройки регулятора

3.1 Идентификация объекта управления

Идентификация систем управления – это множество методов, при помощи которых можно построить модель системы, изменяющейся во времени, по данным наблюдений. Математическая модель в данной ситуации будет являться математическим описанием поведения системы или процесса в конкретном временном интервале. Различают активную и пассивную идентификацию. В первом случае – объект наблюдения принудительно выводится из состояния равновесия, при воздействии на его входы специальных сигналов [51].

Активная идентификация используется при разработке новых технологий, применяемых на промышленных объектах. Второй случай используется при уточнении построенной математической модели.

В данной работе для получения кривой разгона была использована модель изменения температуры в топочной камере котла КВГМ 50-150, по времени. Математическая модель построена при помощи экспериментальных исследований, проведенных на реальном котельном агрегате. Кривая разгона представлена на рисунке 3.1.

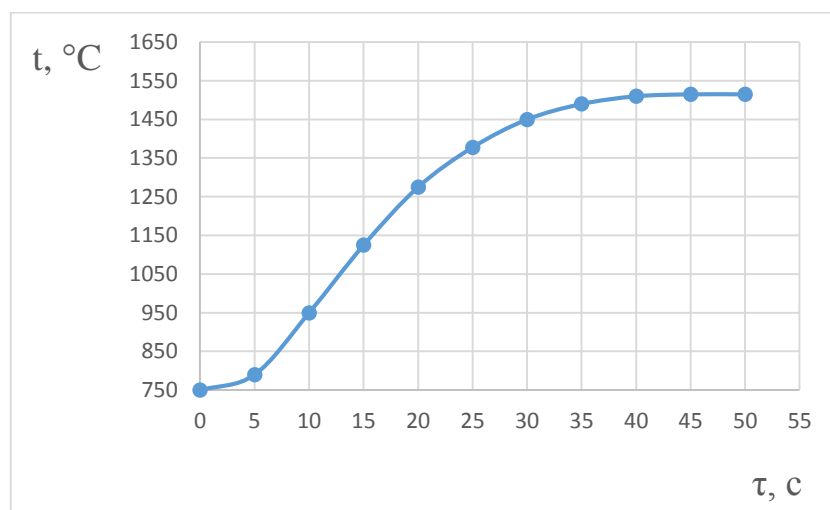


Рисунок 3.1 – Кривая разгона объекта управления, где τ – время,
T – температура

На полученной переходной характеристике определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени T ; запаздывание t , коэффициент передачи K .

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения 5.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (3.2)$$

Получаем два неизвестных значения времени запаздывания τ и постоянную времени T .

Получаем два неизвестных значения время запаздывания τ и постоянную времени T . Коэффициент усиления $k = \frac{h(T_y)}{A}$, где A – выходное воздействие; при единичном воздействии $k = h(T_y)$. Время чистого запаздывания заранее выделяется из $h(t)$. На кривой разгона строим две точки A и B . Точка A определяется как $0,33 k$, а точка B имеет ординату $0,7 k$.

Постоянная времени T и время запаздывания τ определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (3.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (3.4)$$

где t_A и t_B – значение времени при соответствующих точках на кривой;
 h_A и h_B – значение ординат при точках А и Б.

Определяем расположение на кривой точек А и Б и находим необходимые неизвестные параметры.

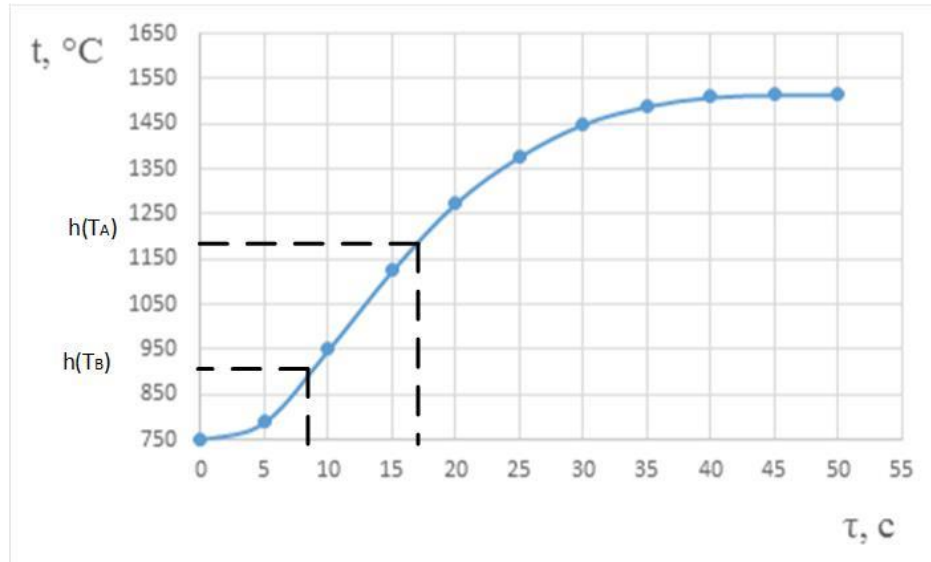


Рисунок 3.2 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора где τ – время, T – температура

Для наглядности и точности производится аппроксимация кривой по методу Орманна. Определяется время t_B по нормированной переходной функции $H(t)$, которое является корнем уравнения $h(t_B)$ и время t_A и $h(t_A)$. Затем вычисляются постоянная времени T и время запаздывания τ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (3.5)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (3.6)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 8 - 17) = 3,4 \text{ с}, \quad (3.7)$$

$$T = 1,25(17 - 8) = 11,25 \text{ с}. \quad (3.8)$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{800}{(11,25P+1)} e^{-3,4P}. \quad (3.9)$$

3.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 3.3 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

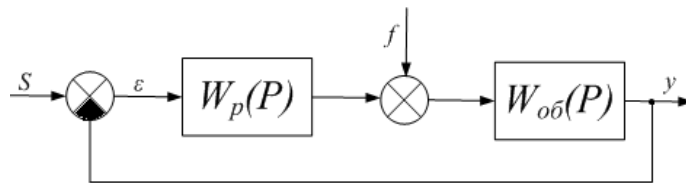


Рисунок 3.3 – Структурна схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной $\psi=0,65$.

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - 0,65) = 0,167.$$

(3.10)

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{800}{(11,25P+1)} e^{-3,4P}. \quad (3.11)$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 9 в виде листинга расчета. Полученные значения представлены для диапазона частот от 0 до $0,5 \text{ c}^{-1}$, шаг по частоте в $0,01 \text{ c}^{-1}$.

Таблица 9 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

$\omega, \text{ c}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0	1	0	1
0,01	0.80794	-0.736	1.093
0,02	0.21147	-0.788	0.816
0,03	-0.02439	-0.586	0.586
0,04	-0.09808	-0.438	0.449
0,05	-0.12197	-0.342	0.363
0,06	-0.12918	-0.277	0.305
0,07	-0.13025	-0.23	0.265
0,08	-0.12893	-0.196	0.234
0,09	-0.12672	-0.169	0.211
0,1	-0.12424	-0.147	0.193
0,11	-0.12175	-0.129	0.178

Продолжение таблицы 9

ω, c^{-1}	$\text{Re}_{06}(\text{m}, \omega)$	$\text{Im}_{06}(\text{m}, \omega)$	$A_{06}(\text{m}, \omega)$
0,13	-0.11712	-0.102	0.155
0,14	-0.11502	-0.091	0.146
0,15	-0.11306	-0.081	0.139
0,16	-0.11123	-0.072	0.132
0,17	-0.1095	-0.064	0.127
0,18	-0.10786	-0.057	0.122
0,19	-0.1063	-0.05	0.117
0,2	-0.10479	-0.044	0.114
0,21	-0.10333	-0.038	0.11
0,22	-0.10191	-0.033	0.107
0,23	-0.10051	-0.027	0.104
0,24	-0.09912	-0.023	0.102
0,25	-0.09774	-0.018	0.099
0,26	-0.09636	-0.014	0.097
0,27	-0.09498	-9.26e-3	0.095
0,28	-0.09357	-5.181e-3	0.094
0,29	-0.09215	-1.251e-3	0.092
0,3	-0.09071	2.546e-3	0.091
0,31	-0.08923	6.219e-3	0.089
0,32	-0.08773	9.778e-3	0.088
0,33	-0.08619	0.013	0.087
0,34	-0.0846	0.017	0.086
0,35	-0.08298	0.02	0.085
0,36	-0.08131	0.023	0.085
0,37	-0.0796	0.026	0.084
0,38	-0.07783	0.029	0.083
0,39	-0.07602	0.032	0.082
0,4	-0.07415	0.035	0.082
0,41	-0.07223	0.038	0.081
0,42	-0.07026	0.04	0.081
0,43	-0.06823	0.043	0.081
0,44	-0.06614	0.046	0.08
0,45	-0.06399	0.048	0.08
0,46	-0.06179	0.05	0.08
0,47	-0.05953	0.053	0.08
0,48	-0.05721	0.055	0.079
0,49	-0.05483	0.057	0.079
0,5	-0.0524	0.059	0.079

Параметра настройки ПИ–регулятора рассчитываются по следующим формулам:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)}, \quad (3.12)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{o6}(m, \omega) + \text{Re}_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)}, \quad (3.13)$$

где K_p - коэффициент передачи регулятора,

T_u – постоянная интегрирования.

Задаем диапазон изменения частоты $0,5 \geq \omega \geq 0$ (c^{-1}) с шагом $\Delta\omega = 0,0025$ (c^{-1}) определяем настройки регулятора и K_p с заданным шагом по частоте. Параметры настройки представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты расчета значений параметров регулятора

ω, c^{-1}	$\frac{K_p}{T_u}$	K_p
0	0,0000097	-0,333
0,002	0,00023	-0,277
0,0045	0,00082	-0,201
0,005	0,00098	-0,185
0,0055	0,00114	-0,168
0,006	0,0013	-0,152
0,0065	0,00148	-0,135
0,007	0,00166	-0,119
0,0095	0,00259	-0,033
0,012	0,00348	0,054
0,015	0,00419	0,14
0,017	0,00458	0,223
0,018	0,00461	0,255
0,02	0,00451	0,301
0,021	0,00419	0,345
0,023	0,00362	0,386
0,024	0,00278	0,424

Для удобства и визуального отображения строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 3.4. Полученная кривая

на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,65. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

По данным таблицы 10 строим график зависимости $\frac{K_p}{T_u} = f(K_p)$

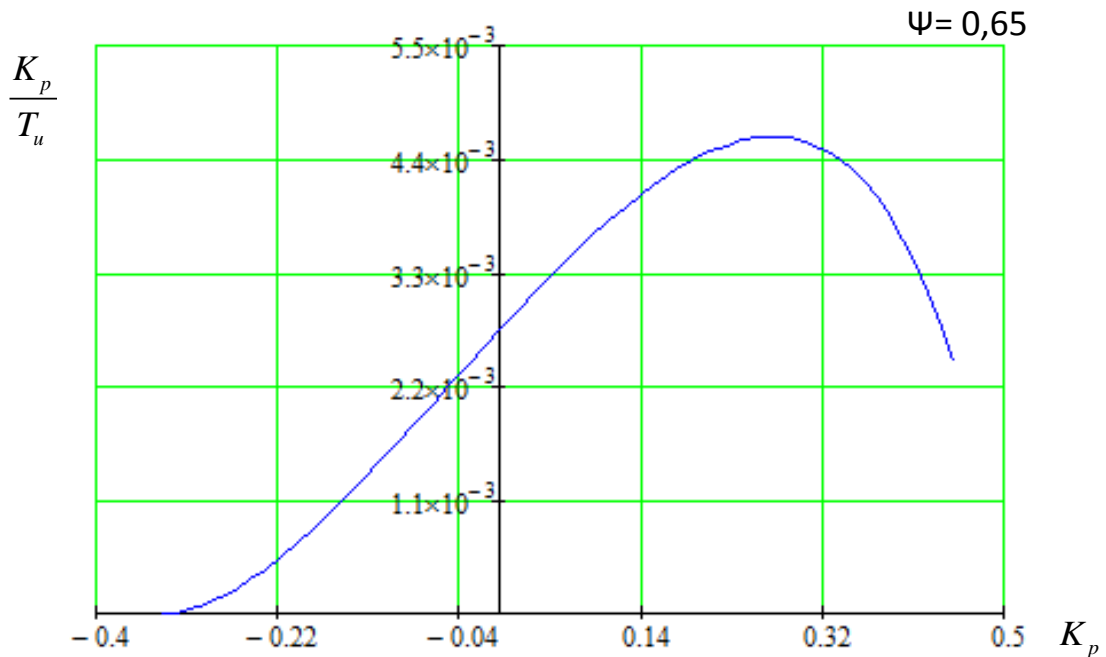


Рисунок 3.4 – Область параметров настройки ПИ – регулятора

В качестве критерия оценки качества используется вторая интегральная оценка. Минимальному значению этой оценки соответствует

точка $\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) \cdot 1,05$, соотношения K_p/T_u на линии заданного запаса устойчивости.

Из таблицы 18 определяем:

$$\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,00461, \quad K_p = 0,255, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,018 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 50,1 \text{ с.} \quad (3.14)$$

Произведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе при возмущении, которое идет по каналу регулирующего воздействия.

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (3.15)$$

где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора;

$W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта.

Переходный процесс идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 3.5 представлен график вещественной частотной характеристики.

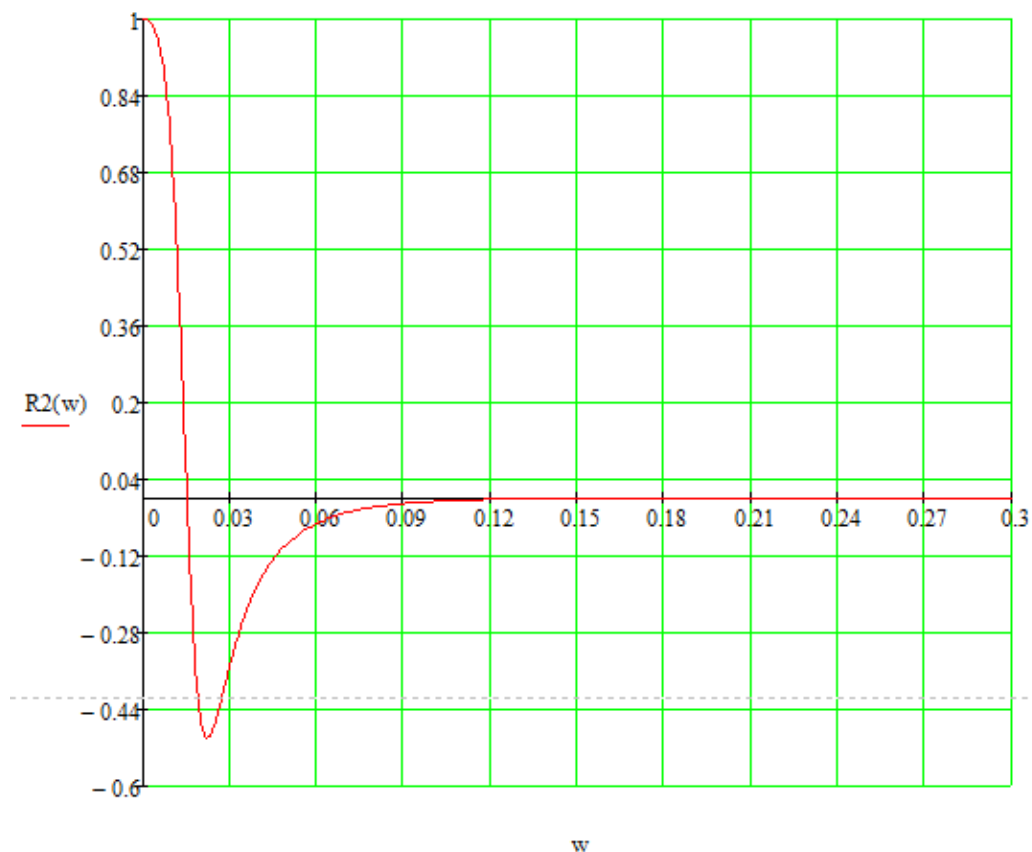


Рисунок 3.5 – Графическое изображение ВЧХ системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитываем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (3.16)$$

где $Re(\omega)$ – вещественная частотная характеристика системы;

ω - частота;

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение вещественной частотной характеристики системы стремится к 0. Из рисунка 10 определяем это значение.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,028} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (3.17)$$

На рисунке 3.6 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

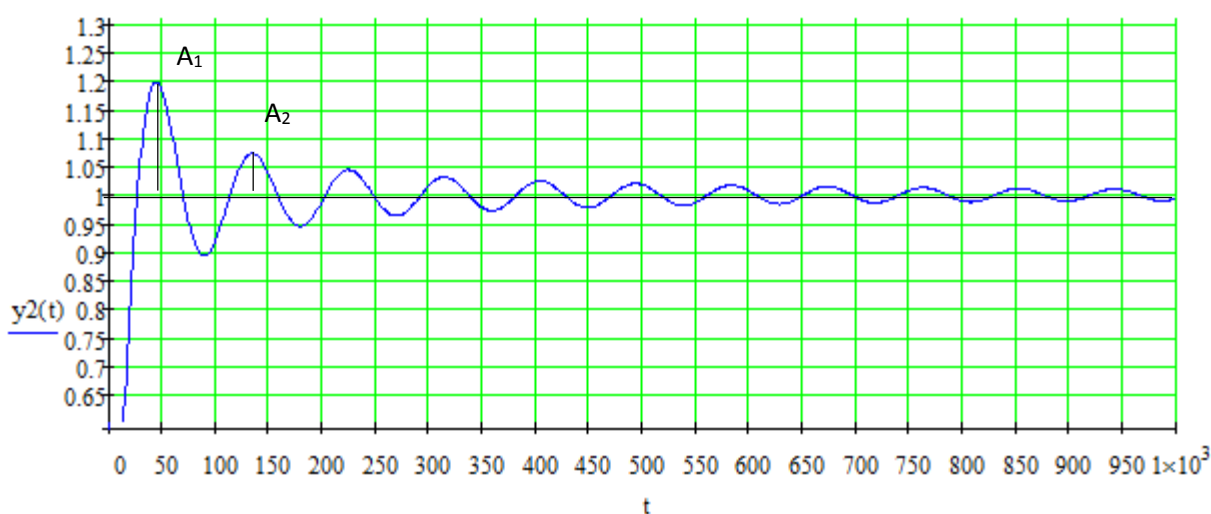


Рисунок 3.6 – Переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Далее рассчитываем прямые оценки качества переходного процесса:

1) динамическая ошибка $A_1 = 0,2$;

2) перерегулирование $\sigma = \frac{A_1 \cdot 100}{y(\infty)} = \frac{0,2 \cdot 100}{1} = 20\%$;

3) статическая ошибка $\varepsilon_{ст} = s - y(\infty) = 1 - 1 = 0$;

4) степень затухания $\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,2 - 0,07}{0,2} = 0,65$;

5) время регулирования $t_p = 200$ с.

4 Мнемосхема проекта

Мнемосхема – графическое изображение схемы автоматизации технологического объекта. Таким схема может описывать технологический процесс с программным управлением. Мнемосхема предназначена для работы оператора с производственным процессом, в процессе управления мнемосхема является источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов.

Требования, предъявляемые к мнемосхеме, устанавливает предприятие, для которого она предназначена. В данной работе схема разрабатывалась в соответствии с общими требованиями:

- 1) на мнемосхеме не должно быть лишних элементов, которые могли бы помешать оператору правильно вести контроль за технологическим объектом;
- 2) наиболее важные и необходимые элементы для контроля и управления, должны выделяться от остальных: размером, формой или цветом;
- 3) форма и размеры панели не должны мешать оператору правильно понимать обстановку, происходящую на технологическом объекте.

В соответствии с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема процесса сжигания КВТ в водогрейном котле КВГМ-50-150, которая приведена на рисунке 4.1.

На данной схеме условно показана топка котла, в которой установлены 3 датчика температуры, измеряющие распределения температуры. Температура изменяется в зависимости от изменения расхода КВТ, который является управляемым с операторной. По расходу КВТ соответственно изменяется расход воздуха необходимого для стабильного процесса горения. В случаи нехватки воздуха или КВТ, в правом нижнем угле мнемосхемы появляется ошибка, которую можно наблюдать на рисунке 4.2.

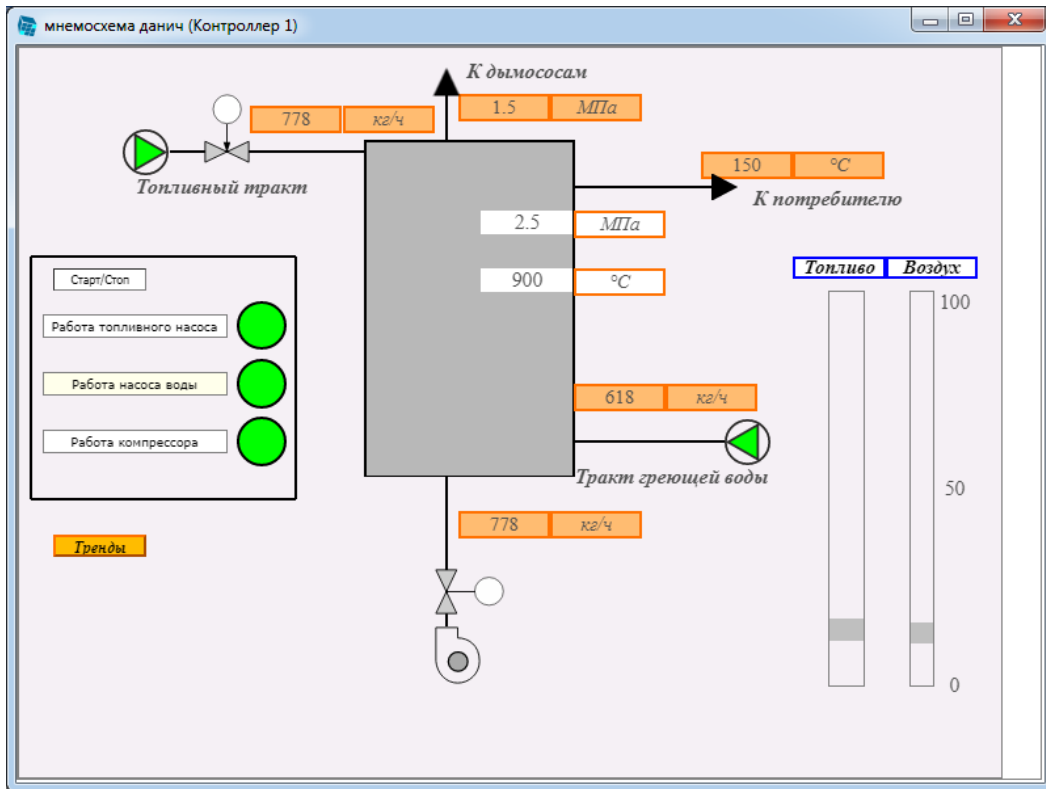


Рисунок 4.1 – Мнемосхема процесса сжигания КЖТ, при нормальной работе оборудования

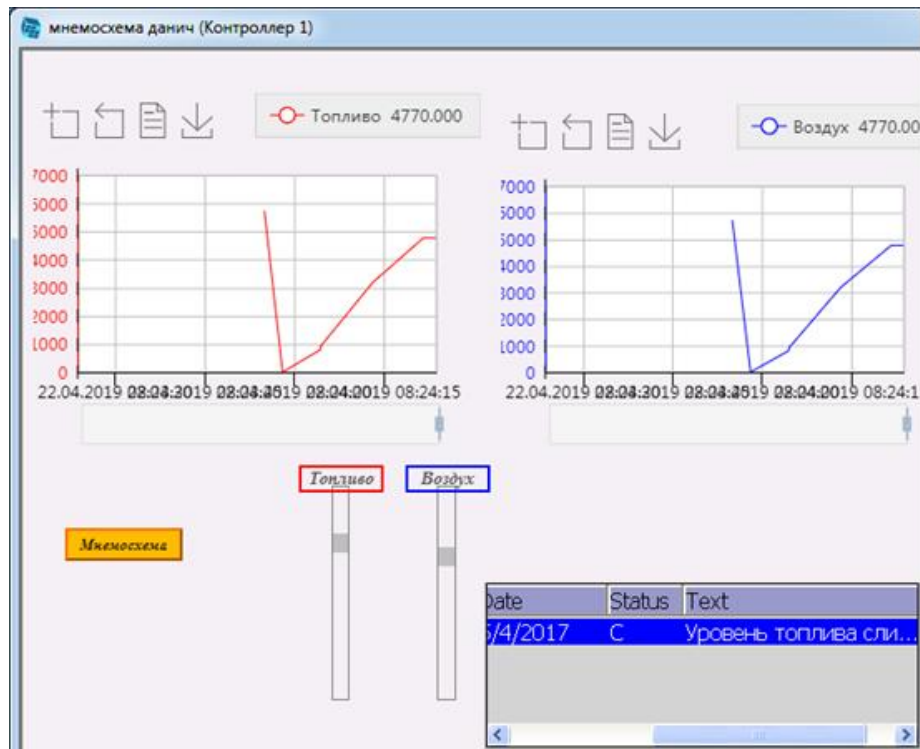


Рисунок 4.2 – Мнемосхема процесса сжигания КЖТ, при нормальной работе оборудования

Как видно из схемы при недостаточном количестве КВТ для стабильного процесса горения, возникает ошибка «Уровень топлива слишком мал», соответственная ошибка возникает и при увеличении количества подаваемого воздуха, так как расход воздуха влияет на недожог топлива и на количество выбросов оксида азота (NO_x).

Также на мнемосхеме показано изменение расхода композиционного водосодержащего топлива в зависимости от времени.

В данном разделе работы приведены результаты разработки мнемосхемы процесса сжигания КЖТ в котлоагрегате.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5В	Романову Даниилу Сергеевичу

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 научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации ПК – 40% Нормы амортизации принтера – 40% Нормы амортизации муфельной печи – 10%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставки НДС и социального налога

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на выполнение ВКР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение затрат на выполнение ВКР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОСГН	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5В	Романов Даниил Сергеевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

5.1 Организация и планирование работ

Таблица 11 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Время выполнения (дни)
Получение задания на выполнение ВКР	Инженер	1
Изучение материалов в данной тематике	Инженер	5
Экспериментальные исследования, направленные на изучение характеристик горения композиционных водосодержащих топливных суспензий	Инженер	30
Анализ результатов исследований	Инженер	3
Разработка схемы автоматизации и структурной схемы, выбор оборудования	Инженер	7
Разработка щита управления АСУ	Инженер	7
Разработка схемы взаимодействия уровней управления	Инженер	2
Проектирование мнемосхемы	Инженер	5
Написание раздела «Социальная ответственность»	Инженер	5
Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер	5
Оформление пояснительной записки к ВКР	Инженер	7
Консультации	Научный руководитель	14
Итог	Научный руководитель	14
	Инженер	77

5.2 Продолжительность этапов работ

Ожидаемая продолжительность работ оценивается с помощью опытно-статистического метода. Для расчета ожидаемой продолжительности работ воспользуемся экспертным способом, для этого воспользуемся следующей формулой:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}, \quad (5.1)$$

где t_{min} – минимальное значение продолжительности работ, дн.;

t_{max} – максимальное значение продолжительности работ, дн.;

Для построения линейного графика проведения работ необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет длительности в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (5.2)$$

где $t_{\text{ож}}$ – вероятное (ожидаемое) значение продолжительности работ, дн.;

$K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающих влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, принимаем равным 1;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных издержек и согласование работ, принимаем равным 1;

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (5.3)$$

где $T_{\text{к}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}, \quad (5.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни (365);

$T_{\text{вд}}$ – выходные дни (52);

$T_{\text{пд}}$ – праздничные дни (10).

$$T_{\text{к}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

По данным таблицы 11 составлена продолжительность этапов работ и их трудоемкость по исполнителям, занятым на каждом этапе (таблица 2). Также построен линейный график осуществления проекта (таблица 3).

Таблица 12 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Получение задания на выполнение ВКР	И	1	2	1,4	–	1,4	–	1,68
Изучение материалов в данной тематике	И	3	7	4,6	–	4,6	–	5,54
Экспериментальные исследования, направленные на изучение характеристик горения композиционных водосодержащих топливных суспензий	И	20	40	28	–	28	–	33,729
Анализ результатов исследований	И	2	5	3,2	–	3,2	–	3,854
Разработка схемы автоматизации и структурной схемы, выбор оборудования	И	5	10	7	–	7	–	8,433
Разработка щита управления АСУ	И	5	10	7	–	7	–	8,433
Разработка схемы взаимодействия уровней управления	И	1	3	1,8	–	1,8	–	2,16

Продолжение таблицы 12

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Проектирование мнемосхемы	И	3	7	4,6	–	4,6	–	5,54
Написание раздела «Социальная ответственность»	И	3	7	4,6	–	4,6	–	5,54
Оформление графического материала	И	3	7	4,6	–	4,6	–	5,54
Оформление пояснительной записки к ВКР	И	5	10	7	–	7	–	8,43
Консультации		10	18	13,2	13,2	–	15,9	–
Итого:				87	13,2	73,8	15,9	88,9

Таблица 13 – Линейный график работ

Этап	НР	И	Март						Апрель						Май						Июнь		
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
1	1,69	–	■																				
2	1,95	6,51	■	■																			
3	–	34,95			■	■	■	■	■	■	■	■											
4	4,34	8,38									■	■	■										
5	2,02	20,24										■	■	■	■	■	■						
6	1,16	11,57															■	■	■	■			
7	–	11,57																		■	■	■	
8	5,59	6,99																			■	■	■

НР – ■; И – ■

5.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

5.3.1 Расчет затрат на материалы

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на материалы, расходуемые непосредственно в процессе выполнения работ. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи. Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов (5 ÷ 20 %).

Таблица 14 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4 500 листов	150	1 уп.	150
Картридж для принтера	700	1 шт.	700
Итого:			850

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 850 * 1,05 = 892,5$ руб.

5.3.2 Расчет заработной платы

Заработная плата – это вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также выплаты компенсационного и стимулирующего характера. Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO / 25,083, \quad (5.5)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Для учета в составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{пр}} = 1,1$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы

заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_i = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$ (при шестидневной рабочей неделе).

Таблица 15 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дд	Коэффициент	Фонд з/платы, руб
НР	49664	1980	14	1,699	47096,28
И	15 470	616,75	89	1,62	88923,05
Итого:					142925,65

5.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, в нашем случае:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зн}} \cdot 0,3 = 142925,65 \cdot 0,3 = 42877,69 \text{ руб.}$$

5.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (5.6)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{э}} = 5,748$ руб/кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется из расчета, что продолжительность рабочего дня инженера составляет 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (5.7)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени.

В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_c, \quad (5.8)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности равен 1.

Таблица 16 – Расчет затрат на технологическую электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования, час	Потребляемая мощность, кВт	Затраты, руб.
Персональный компьютер	712*0,8	0,7	2291,84
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Муфельная печь	30	3	517,32
Видеокамера	30	0,5	86,22
Итого:			2896,53

5.3.5 Расчет амортизационных расходов

В данной статье рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. Используется формула:

$$C_{ам} = \frac{H_a \cdot Ц_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_d}, \quad (5.9)$$

где H_a – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования (для шестидневной рабочей недели 2408 часов);

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Стоимость персонального компьютера составляет 50000 руб., время использования 712 часов, годовая норма амортизации оборудования 40 %, тогда амортизационные отчисления составляют:

$$C_{\text{ам.пк}} = \frac{0,4 \cdot 40000 \cdot 712}{2384} = 4778,523 \text{ руб.};$$

Стоимость струйного принтера составляет 2500 руб., время использования 60 часов, годовая норма амортизации оборудования 50 %, тогда амортизационные отчисления составляют:

$$C_{\text{ам.лп}} = \frac{0,5 \cdot 2500 \cdot 60}{2384} = 31,46 \text{ руб.}$$

Стоимость муфельной печи составляет 300000 руб., время использования 40 часов, годовая норма амортизации оборудования 10 %, тогда амортизационные отчисления составляют:

$$C_{\text{ам.лп}} = \frac{0,1 \cdot 300000 \cdot 40}{2384} = 503,35 \text{ руб.}$$

Стоимость высокоскоростной видеокамеры составляет 85000 руб., время использования 40 часов, годовая норма амортизации оборудования 25 %, тогда амортизационные отчисления составляют:

$$C_{\text{ам.лп}} = \frac{0,25 \cdot 85000 \cdot 40}{2384} = 356,54 \text{ руб.}$$

Итого начислено амортизации 5638,85 руб.

5.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных документов

Транспортные расходы состоят из 80 поездок от места проживания до университета и обратно на автобусе, стоимость одноразового проезда – 21 руб.

Суммарные расходы составляют 1680 руб.

5.3.7 Расчет прочих расходов

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1, \quad (5.10)$$

В данном случае:

$$C_{\text{проч}} = (892,5 + 42887,69 + 142925,65 + 2896,53 + 5638,85 + 1680) \cdot 0,1 = 20595,15 \text{ руб.}$$

5.3.8 Расчет общей себестоимости разработки

Таблица 17 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	892,5
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	142925,65
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	42887,69
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	2291,84
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	4730,89
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	1680
Итого:		20595,15

Таким образом, затраты на разработку $C = 20595,15$ руб.

5.3.9 Расчет прибыли

Поскольку мы не располагаем данными для применения сложных методов расчета прибыли примем её в размере 20 % от полной стоимости проекта: 31990,73 руб.

5.3.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(216003,72 + 43200,74) \cdot 0,2 = 51840,89$ руб.

5.3.11 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае цена составляет $C = 216003,72 + 43200,74 + 51840,89 = 311045,35$ руб.

5.3.12 Определение экономического эффекта проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта.

Экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{до} - I_{после} , \quad (5.11)$$

где $I_{до}$ – издержки производства тепловой энергии при использовании угля;

$I_{после}$ – издержки производства тепловой энергии при использовании КВТ.

$$I_{до} = B \cdot Ц , \quad (5.12)$$

$$I_{после} = B \cdot Ц , \quad (5.13)$$

где B – расход топлива; $Ц$ – цена топлива за кг.

Для котла КВГМ-50-150 годовой расход топлива составляет 50 370 т. При переходе на композиционные водосодержащие топливные суспензии, расход составляет 70518 т. в год, увеличение расхода связано с меньшей теплотворной способностью топлива. Цена одной тонны мазута М-100 составляет 18000 руб., а КВТ 7500 руб.

$$I_{до} = 50370 \cdot 18000 = 906\,660\,000 \text{ рублей в год,}$$

$$I_{после} = 70518 \cdot 7500 = 52885000 \text{ рублей в год,}$$

$$\mathcal{E} = 906\,660\,000 - 52885000 = 853755000 \text{ рублей в год.}$$

В данном разделе был составлен перечень необходимых работ, произведена оценка сроков их выполнения, произведен расчет цены разработки НИР и определена экономическая эффективность проекта. Данная оценка носит лишь приблизительный характер и не учитывает существующей инфраструктуры котельных агрегатов. Для более точного определения экономического эффекта, необходимо проведение дополнительных исследований на реальных станциях или котельных.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5В	Романову Даниилу Сергеевичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Автоматическая система контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Поражение электрическим током – Возгорание – Запыленность – Недостаток естественного света – Повышенная температура воздуха в помещении – Шум
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: возгорания, взрывы, угрозы возгораний

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5В	Романов Даниил Сергеевич		

6 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа по теме «Автоматическая система контроля и управления процессом горения композиционного водосодержащего топлива» посвящена изучению процесса горения композиционных водосодержащих топливных суспензий, состоящих из горючих и негорючих компонентов. В качестве горючего компонента используется уголь, отработанное турбинное масло, керосин, бензин, дизель и отходы флотации угля. В качестве негорючего компонента используется вода.

Основная задача работы – определение оптимальных параметров процесса горения (зажигание, стабильность воспламенения, длительность горения, максимальная температура горения) и создание топливной композиции, которая бы соответствовала данным требованиям.

В данном разделе, будут отмечены все основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе разработки данного проекта.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно Конституции РФ, нормами в области охраны труда являются:

1. Главный приоритет - сохранность жизни и здоровья работников;
2. Единство норм и правил;
3. Гарантия защиты интересов работника при получении травм на производстве.

Действующим нормативом по охране труда является ГОСТ 12.0.004-2015.

6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Охрана труда - это система законодательных актов, направленная на обеспечение безопасности, защиты здоровья и работоспособности человека в процессе труда. Включает в себя социально-экономические, организационно-технические, гигиенические, лечебно-профилактические мероприятия и средства.

Условия труда - совокупность элементов трудового процесса, влияющих на функциональное состояние организма работника.

Рабочее место - пространство, где должен находиться работник, предназначенное для выполнения производственных или обслуживающих операций, подконтрольное работодателю.

Требования охраны труда – государственные нормативные требования охраны труда, в том числе стандарты безопасности труда, а также требования охраны труда, установленные правилами и инструкциями по охране труда (часть десятая введена Федеральным законом от 30.06.2006 N 90-ФЗ) (в ред. Федерального закона от 24.07.2009 N 206-ФЗ).

Средства индивидуальной и коллективной защиты работников - средства, необходимые для предохранения от загрязнений, предотвращения отрицательного воздействия производственных факторов на работающих.

Требования охраны труда - установленные государством правила, процедуры, критерии и нормативы, выполнение которых обеспечивает безопасные условия труда и регламентирует поведение работающего. Обеспечение безопасных условий труда возлагается на работодателя и работника.

Профессиональный риск - это вероятность причинения вреда здоровью работника, связанная с влиянием вредных или опасных производственных факторов во время исполнения трудовых обязанностей по контракту или иных обстоятельств, установленных Трудовым Кодексом и/или другими законами. Кроме этого, необходимость управления профессиональными рисками установлена статьей 209 ТК, которой определено, что порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда. (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ).

Также необходимо соблюдать временной режим работы персонала при проведении экспериментов. Время проведения экспериментов не должно превышать 4 часов. В противном случае возможно снижение внимательности и работоспособности персонала.

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Выполняя планировку рабочего места, необходимо учитывать следующее:

- проход вокруг рабочего стола должен составлять не менее 500-550 мм;
- расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии примерно равным 600-700 мм, но не ближе чем 500 м;
- окраска корпуса ПК должна быть выполнена в спокойных нейтральных тонах;
- корпус ПК, клавиатура и другие блоки ПК должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики и мешать работе персонала;
- конструкция рабочего стола должна обладать удобной рабочей поверхностью и необходимым количеством места для монтажа оборудования;
- все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

6.2 Профессиональная социальная безопасность.

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Проведение экспериментальных исследований подразумевало работу с горючими веществами, например, уголь, древесные отходы, различные виды масел и легковоспламеняющиеся жидкости (керосин, дизель, бензин).

Уголь пагубно влияет на организм человека. При попадании внутрь организма угольная пыль оседает в дыхательных путях и легких, тем самым повышает риск возникновения злокачественных опухолей и прочих заболеваний дыхательных путей. Смесь топлива на основе угольной пыли воспламеняется при температуре не ниже 500°C. Так как для сжигания топлива необходимы высокие температуры, то в помещении, где установлен котел, нужна вентиляция, для обеспечения нормальных условий работы персонала. Для защиты от высокой температуры, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда и в обязательном порядке следует соблюдать правила пожарной безопасности (ППБ 01-03).

6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Микроклимат

Находясь на рабочем месте в производственном помещении человек подвержен влиянию определённых метеоусловий, или микроклимату рабочих помещений. Окружающая среда влияет на состояние организма. Основными параметрами производственного микроклимата являются действующими на организм человека температура окружающей среды, влажность и скорость потока воздуха, а также температура окружающих поверхностей.

Работа на ПК в офисном помещении относится к классу легких работ. Для данного типа работ допустимые величины микроклиматы должны обеспечиваться при следующих условиях:

- перепад температуры воздуха должен быть не более 3...3,5 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 3,5...4 °С.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 оптимальные параметры микроклимата приведены в таблице 18:

Таблица 18 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодное	21...23	60...40	< 0,1
Теплое	22...24	60...40	< 0,1

В таблице 19 приведены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах.

Таблица 19 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

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

* При температурах воздуха 25° С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии со специальными требованиями

** При температурах воздуха 26 - 28° С скорость движения воздуха в теплый период года должна приниматься в соответствии со специальными требованиями

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров на рабочем месте используются системы вентиляции и отопления.

Вредным веществом, содержащимся в воздухе, является углекислый газ, CO₂. ПДК CO₂ в воздухе, согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» составляют 20 мг/м³. Проблему уменьшения содержания CO₂ в воздухе также можно решить с помощью системы вентиляции.

Шум

Шум ухудшает условия труда, оказывая воздействие на организм человека. Процесс сжигания водоугольной смеси является шумным, так как необходимо при помощи специализированного оборудования доставлять топливную смесь в камеру сгорания.

Одним из методов уменьшения воздействия шума в лаборатории является снижение или ослабление шума в его источниках – генераторы, нагреватели, трансформаторы, вентиляторы, специализированные механизмы и устройства. Своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума. В качестве СИЗ от шума могут использоваться специальные наушники, беруши, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

Таблица 20 – Допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-2014)

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

Поражение электрическим током

В помещении с большим количеством аппаратуры, использующей однофазный электрический ток, промышленной частоты напряжением 220 В, есть вероятность поражения током.

Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения током практически минимальна, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое закорачивание частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПК;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незащищенного от земли человека к незащищенным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением (нарушение изоляции);
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного контактирования;
- установки защитного заземления;
- наличие общего выключателя (рубильника);
- своевременное ТО технического оборудования, осмотр целостности изоляции.

Тепловое воздействие

Во время работы с муфельной печью некоторые части оборудования сильно нагреваются (торцевые пробки, трубка муфельной печи, держатель топлива). Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам. Согласно ГОСТ Р 30331.4-95, мерами предосторожности являются:

- не контактируйте с нагретыми частями оборудования во время его работы (или после завершения работы при остывании печи);
- соблюдайте технику безопасности при работе с исследуемыми нагретыми образцами;
- выполняйте все работы по обслуживанию и чистке оборудования только при полностью отключенном от сети питанием оборудовании и после остывания нагретых частей;

- используйте перчатки из негорючего материала (краги, верхонки) для защиты рук от ожогов.

Механическое воздействие

Существует опасность получения травмы подвижными элементами модуля координатного механизма. Перед включением модуля следует убедиться в отсутствии каких-либо препятствий на пути подвижной части.

Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются:

- при эксплуатации модуля необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами;
- запрещается эксплуатация модуля при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов. Продолжать работу разрешается только после устранения причин неисправностей специалистами;
- при эксплуатации необходимо следить за чистотой всех механизмов модуля и двигателя, периодически очищать их от пыли и грязи, смазывать подвижные части. Обтирочные материалы, которыми очищается модуль, не должны оставлять следов и повреждений на протираемых поверхностях.

6.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя от действий опасных и вредных факторов

Для предотвращения ожогов при работе с муфельной печью необходима специализированная одежда, и выполнение техники безопасности для работы с лабораторным стендом.

Для предотвращения возможности поражения электрическим током соблюдаются требования:

- при производстве монтажных работ используются только исправные инструменты, аттестованные службой КИПиА;

- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов были заземлены;
- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели запрещены;
- все работы по устранению неисправностей производятся квалифицированным персоналом;
- постоянное наблюдение за исправностью электропроводки.

Для уменьшения загазованности и влажности в помещении устанавливается вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция во время проведения экспериментов работает постоянно.

6.3 Экологическая безопасность

Загрязнение (окружающей среды, природной среды, биосферы) – это привнесение в окружающую среду (природную среду, биосферу) или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов (загрязнителей), или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания органического топлива, являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы источника теплоснабжения.

6.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Антропогенные выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ – один из основных факторов, обуславливающих изменение химического состава атмосферы и ее теплового баланса. Как показано в исследованиях, процессы добычи, переработки и сжигания органического топлива являются источником 80 % суммарных объемов выбросов в атмосферу, в том числе 90 % диоксида углерода, изменения содержания которого называют основной причиной современного повышения температуры.

Негативное влияние вредных компонентов на здоровье населения, флору и фауну, объекты и сооружения не ограничивается территорией, прилегающей к источникам выбросов, а распространяется на сотни и тысячи километров. Поэтому в настоящее время загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения количества выбросов необходимо контролировать расход воздуха в камере сгорания. При нехватке окислителя, возникает большой недожог, что приводит к увеличению количества золовидных отходов процесса сжигания топливной композиции. А при избытке воздуха образуются оксиды азота.

Регулирование температуры в камере сгорания является одним из важных аспектов в системе сжигания топлива, так как наибольшее влияние на образование оксида азота оказывает температура. Улавливание сернистых соединений в выбросах производств является одним из наиболее сложных и трудоемких процессов по следующим причинам: количество выбрасываемых газов очень велико; поглощение сернистых соединений сопровождается отложением солей кальция и магния на стенках труб, т.е, забиванием аппаратуры. Сероочистка топлив разработана недостаточно и применяется в ограниченном объеме. Поэтому в мировой практике, как правило, очищают от

серы дымовые газы, для чего применяют различные процессы. Их можно разделить на три главные группы: процессы с применением жидких поглотителей – абсорбционные (мокрые) и процессы, основанные на взаимодействии газа с твердым веществом – адсорбционные и каталитические (сухие). Преимущественно в этих процессах поглотителем служат известняк или известь.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — 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.

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.

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

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

В лаборатории и на производстве наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо хранить, для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них.

Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха.

Самой распространенной причиной возникновения пожара является нарушение противопожарных правил. Поэтому персонал должен эти правила хорошо знать и выполнять.

6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Особое внимание стоит уделить пожаробезопасности и электробезопасности. При функционировании муфельной печи существуют риски возникновения опасных ситуаций, как и при работе любого высокомоощного электрического прибора. Так как установка работает при высоких температурах, одним из таких рисков является перегрев оборудования выше температуры, рассчитанной для его стабильной работы, что может привести к воспламенению экспериментального стенда, а вследствие и лаборатории. Для предотвращения появления такой ситуации необходимо тщательно следить за изменением температуры в муфельной печи и следить за правильностью подключения оборудования к электрической сети. Также, причиной возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с возгоранием помещения, может послужить короткое замыкание в проводке экспериментального стенда. Поэтому, для предотвращения возгорания помещение должно быть оборудовано средствами пожаротушения (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи.

6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Во избежание вышеперечисленных ситуаций необходимо осуществлять:

- качественный монтаж технических средств автоматизации;
- подбор проводов нужного сечения имеющих плотную изоляцию;
- произвести заземление оборудования;

- при изнашивании какого-либо электрического элемента системы произвести его замену или демонтаж.

6.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

В заключение всего вышеперечисленного хочется отметить основную задачу, поставленную данным разделом, – формирование у индивида социальной ответственности перед другими людьми и окружающей его средой обитания, а также необходимости выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий окружающего мира.

Преимуществом данной разработки является автоматизация топлива подачи в районной котельной. Автоматизированная система уменьшит количество обслуживающего персонала в отличие от привычной котельной. Не нужен будет котельщик, а значит производство тепловой энергии будет менее вредно для персонала. С экологической точки зрения перевод котельной на органомоделугольное топливо способствует уменьшению концентрации выбросов при сжигании в котлоагрегате, в сравнении с привычными твердыми видами топлив, что показано в разделе исследовательские изыскания.

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

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве;
- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;
- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;

Заключение

В рамках данного дипломного проекта была разработана автоматизированная система сжигания органоводоугольной композиции.

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

В ходе выполнения дипломного проекта была разработана проектная документация: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая, схема монтажная и общий вид щита.

Пояснительная записка к проекту содержит подробное описание основного оборудования, приборов и технических средств автоматизации, экспериментальных исследований, а также мнемосхема. При выборе приборов, руководствовались каталогами и сайтами производителей.

Также выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором рассчитан экономический эффект проекта, который составил 31916666 рублей, что говорит об эффективности реализации данного технического проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jianzhong L, Ruikun W, Jianfei X, Junhu Z, Kefa C. Pilot-scale investigation on slurring, combustion, and slagging characteristics of coal slurry fuel prepared using industrial wasteliquid // *Applied Energy*. – 2014. Vol. 115. – 309-319.
2. He Q, Xie D, Xu R, Wang T, Hu B. The utilization of sewage sludge by blending with coal water slurry // *Fuel*. – 2015. Vol. 159. –40–44.
3. Glushkov DO, Lyrshchikov SY, Shevyrev SA, Strizhak PA. Burning Properties of Slurry Based on Coal and Oil Processing Waste // *Energy Fuels*. – 2016. Vol. 30(4). –3441–3450.
4. Yao SC, Manwani P. Burning of suspended coal-water slurry droplet with oil as combustion additive // *Combustible Flame*. – 1986. Vol. 66(1). –87–89.
5. Kumar Majumder S, Chandna K, Sankar De D, Kundu G. Studies on flow characteristics of coal-oil-water slurry system // *International Journal of Miner Processing*. – 2006. Vol. 79(4). –217–224.
6. Strizhak PA, Vershinina KY. Maximum combustion temperature for coal-water slurry containing petrochemicals // *Energy*. – 2017. Vol. 120. –34–46.
7. Zhang K, Cao Q, Jin L, Li P, Zhang X. A novel route to utilize waste engine oil by blending it with water and coal // *Journal Hazard Materials*. – 2017. Vol. 332. –51–58.
8. Liu J, Jiang X, Zhou L, Wang H, Han X. Co-firing of oil sludge with coal-water slurry in an industrial internal circulating fluidized bed boiler// *Journal Hazard Materials*. – 2009. Vol. 167. –817–823.
9. Wang R, Liu J, Gao F, Zhou J, Cen K. The slurring properties of slurry fuels made of petroleum coke and petrochemical sludge // *Fuel Processing Technology*. – 2012. Vol. 104. –57–66.
10. Liu J-, Wang R-, Gao F-, Zhou J-, Cen K-. Rheology and thixotropic properties of slurry fuel prepared using municipal wastewater sludge and coal // *Chemical Engineering of Science*. – 2012. Vol. 76. –1–8.

11. Zhao XX, Chang HH, Li X, Wei WL. The preparation of coal pitch slurry with coking wastewater // *Energy Sources Recovery Utilization Environmental Efficiency*. – 2013. Vol. 35. –1796–1806.
12. Pinheiro CT, Ascensão VR, Cardoso CM, Quina MJ, Gando-Ferreira LM. An overview of waste lubricant oil management system: Physicochemical characterization contribution for its improvement // *Journal of Clean Production*. – 2017. Vol. 150. –301–308.
13. Hu G, Li J, Zeng G. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review // *Journal of Hazard*. – 2013. Vol. 261. –470–490.
14. Global waste management outlook. United Nations Environment Programme, 2015.
15. Kontorovich A.E., Epov M.I., Eder L.V. Long-term and medium-term scenarios and factors in world energy perspectives for the 21st century // *Russian Geology Geophysics*. – 2014. Vol. 55. –534–543.
16. Key world energy statistics 2017. International Energy Agency.
17. Xie W, Cao G, Ren X, Li Y. Effect of flotation promoter on the rate of coal slime flotation // *Journal of Mining Science* 2014. – 2014. Vol. 50. –601–607.
18. Gui X, Liu J, Cao Y, Miao Z, Li S, Xing Y, et al. Coal preparation technology: Status and development in China // *Energy Environmental*. – 2015. Vol. 26. –997–1013.
19. Zhao C, Luo K. Sulfur, arsenic, fluorine and mercury emissions resulting from coal-washing byproducts: A critical component of China's emission inventory // *Atmosphere Environmental*. – 2012. Vol. 135. –817–823.
20. Dmitrienko M.A, Strizhak P.A. Coal-water slurries containing petrochemicals to solve problems of air pollution by coal thermal power stations and boiler plants: An introductory review. *Science Total Environmental*. – 2018. Vol. 613. – P. 1117–1129.

21. Glushkov D.O, Kuznetsov G.V, Strizhak P.A. Simultaneous ignition of several droplets of coal–water slurry containing petrochemicals in oxidizer flow // *Fuel Processing Technology*. – 2016. –V. 152. – P. 22-33.
22. Osintsev K.V. Studying flame combustion of coal-water slurries in the furnaces of power-generating boilers // *Thermal Engineering*. – 2012. –V. 59(6). – P. 439-445.
23. Zhao X, Zhu W, Huang J, Li M, Gong M. Emission characteristics of PCDD/Fs, PAHs and PCBs during the combustion of sludge-coal water slurry // *Journal of the Energy Institute*. – 2015. – V.88(2). – P. 105-111.
24. Kijo-Kleczkowska A. Combustion of coal-water suspensions // *Fuel*. – 2011. – V.90(2). – P. 865-877.
25. Glushkov D.O, Syrodoy S.V, Zhakharevich A.V, Strizhak P.A. Ignition of promising coal-water slurry containing petrochemicals: Analysis of key aspects // *Fuel Processing Technology*. – 2016. – V.148. – P. 224-235.
26. Lapin D.A., Lyrshchikov S.Y., Strizhak P.A., Shevyrev S.A. Effect of the fractional composition of the solid components of coal-water fuel on the characteristics of ignition and combustion // *Solid Fuel Chemistry*. – 2017. – V.51. – P. 88-94.
27. Valiulin T.R., Vershinina K.Y., Glushkov D.O., Strizhak P.A. Droplet ignition of coal-water slurries prepared from typical coal- and oil-processing wastes // *Coke and Chemistry*. – 2017. - V.60. - P. 211-218.
28. Zhao H, Liu H-, Xu J-, Li W-, Cheng W. Breakup and atomization of a round coal water slurry jet by an annular air jet // *Chemical Engineering Science*. – 2012. - V.78. - P. 63-74.
29. Usui H. A thixotropy model for coal-water mixtures // *J Non-Newton Fluid Mech*. – 1995. -V.60(2-3). - P. 259-275.
30. Zhu M, Zhang Z, Zhang Y, Liu P, Zhang D. An experimental investigation into the ignition and combustion characteristics of single droplets of biochar water slurry fuels in air // *Applied Energy*. – 2017. - V.185. – P.2160-2167.

31. Bazyn T, Krier H, Glumac N. Combustion of nanoaluminum at elevated pressure and temperature behind reflected shock waves // *Combustion Flame*. - 2006. – V. 145(4). - P.703-713.
32. Kim R-, Jeon C-. Intrinsic reaction kinetics of coal char combustion by direct measurement of ignition temperature // *Applied Thermal Engineering*. - 2014. - V.63(2). - P.565-576.
33. Antonov D.V., Valiullin T.R., Iegorov R.I., Strizhak P.A. Effect of macroscopic porosity onto the ignition of the waste-derived fuel droplets // *Energy*. - 2017. - V. 119. - P. 1152–1158.
34. Valiulin T.R., Vershinina K.Y., Lyrshchikov S.Y., Shevyrev S.A. Ignition of fuel based on filter cake // *Coke and Chemistry*. – 2017. - V.60. - P. 127-132.
35. Glushkov D.O., Zakharevich A.V., Strizhak P.A., Syrodoy S.V. Effect of the Shape of an Organic Water–Coal Fuel Particle on the Condition and Characteristics of Its Ignition in a Hot Air Flow // *Russian Journal of Physical Chemistry B*. - 2016. - V. 10. - P. 935–945.
36. Valiullin T.R., Strizhak P.A. Influence of the shape of soaring particle based on coal-water slurry containing petrochemicals on ignition characteristics // *Thermal Science*. - 2017. - V. 21. P. - 1399–1408.
37. Miranda A.I, Ferreira J, Silveira C, Relvas H, Duque L, Roebeling P. A cost-efficiency and health benefit approach to improve urban air quality // *Sci Total Environment*. – 2016. – V. 569-570. - P. 342-351.
38. Noli F, Tsamos P. Concentration of heavy metals and trace elements in soils, waters and vegetables and assessment of health risk in the vicinity of a lignite-fired power plant // *Sci Total Environment*. – 2016. – V.563-564. P. 377-385.
39. Energy and Air pollution. World Energy Outlook Special Report 2016. International Energy Agency.

40. Liu W, Cai J, Huang C, Hu Y, Fu Q, Zou Z, et al. Associations of gestational and early life exposures to ambient air pollution with childhood atopic eczema in Shanghai, China // *Sci Total Environment*. – 2016. - V.572. – P. 34-42.
41. Wu C, Shen F, Li Y, Tsao T, Tsai M, Chen C, et al. Association of short-term exposure to fine particulate matter and nitrogen dioxide with acute cardiovascular effects. // *Sci Total Environment*. – 2016. - V.569-570. – P. 300-305.
42. ОВЕН. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://owen.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
43. Каталог продукции ОАО «Endress+Hauser». – М.: Изд-во «Endress+Hauser», 2013. – 215 с.
44. Расходомер ультразвуковой US-800. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.us800.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
45. Теплоприбор. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.рф> свободный. – Загл. с экрана.
46. ПЕРГАМ. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pergam.ru> свободный. – Загл. с экрана.
47. Каталог продукции ООО «МРУ Рус». – М.: Изд-во «MRU», 2015. – 215 с.
48. ВЭСТ-02 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npowest.ru/.html> свободный. – Загл. с экрана.
49. ЭлеСи. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru> свободный. – Загл. с экрана.
50. Звенигородский И.И., Кулеш Д.Ю., Чабала А.П. Разработка методики получения передаточных функций и математической модели процесса нагрева воздуха в рекуперативном теплообменном аппарате // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. – 2011. – №. 3. – С. 14–27.

51. СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm свободный. – Загл. с экрана.