

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Автоматизации теплоэнергетических процессов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование системы управления процессом сжигания органоводоугольных композиций в котельных агрегатах

УДК 621.182.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б3В	Шлегель Никита Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. АТП	Вершинина Ксения Юрьевна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Экологии и БЖД	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., доцент		

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 образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
Кафедра Автоматизация теплоэнергетических процессов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой АТП
_____ Стрижак П.А.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б3В	Шлегель Никите Евгеньевичу

Тема работы:

Проектирование системы управления процессом сжигания органоводоугольных композиций в котельных агрегатах	
Утверждена приказом директора №	3316/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.17
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом проектирования является водогрейный котельный агрегат НР-18 производительностью 0,65 Гкал/час, мощностью 0,8 МВт. Основное топливо – органоводоугольная топливная композиция, приготовленная 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 САУ топливоподачи. 3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего уровня и полевого. 4 Разработка щита управления САУ топливоподачи. 5 Расчет параметров настройки регулятора. 6. Мнемосхема проекта. 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая щита управления. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.17
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. АТП	Вершинина Ксения Юрьевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Шлегель Никита Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 104 с., 22 рис., 21 табл., 74 источников.

Ключевые слова: котлоагрегат, органоводоугольное топливо, система топливоподачи, автоматизированная система управления, микропроцессорные технические средства автоматизации, теплоэнергетика, проектирование, теплотехника.

Объектом автоматизации является система топливоподачи котла НР-18.

Цель работы – модернизация АСУ ТП топливоподачи котла типа НР-18 на основе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы АСУ ТП топливоподачи, 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 автоматизированная система управления топливоподачи 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;

ВУТ – водоугольное топливо;

КЖТ – композиционное жидкое топливо;

Фильтр-КЕК –типичные отходы углепереработки;

КЕК СС – отходы углеобогащения каменного угля марки СС;

КЕК К – отходы углеобогащения каменного угля марки К.

Оглавление

Введение.....	10
1 Исследовательские изыскания.....	15
2 Проектирование САУ топливоподачи.....	28
2.1 Выбор структуры автоматизированной системы управления топливоподачи.....	31
2.2 Разработка функциональной схемы САУ топливоподачи.....	34
2.3 Выбор технических средств САУ топливоподачи.....	36
2.3.1 Выбор датчиков температуры.....	36
2.3.2 Выбор регулирующего устройства.....	39
2.3.3 Выбор технических средств измерения расхода топлива.....	43
2.3.4 Выбор исполнительного механизма.....	45
2.3.5 Выбор блока управления исполнительным механизмом.....	46
3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего уровня и полевого.....	48
4 Разработка щита управления САУ топливоподачи.....	50
4.1 Проектирование принципиальной схемы САУ топливоподачи.....	50
4.2 Проектирование монтажной схемы САУ топливоподачи.....	52
4.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСУ.....	56
5 Расчет параметров настройки регулятора.....	58
5.1 Идентификация объекта управления.....	58
5.1 Расчет параметров настройки регулятора.....	60
6 Мнемосхема проекта.....	68
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 72	
7.1 Планирование работ и оценка времени выполнения.....	72
7.2 Смета затрат на проект.....	75
7.2.1 Материальные затраты.....	75
7.2.2 Затраты на амортизацию.....	75
7.2.3 Затраты на заработную плату.....	75
7.2.4 Затраты на социальные нужды.....	76
7.2.5 Прочие затраты.....	77
7.2.6 Накладные расходы.....	77

7.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы	78
7.4 Определение экономической эффективности проекта	79
8 Социальная ответственность	83
8.1 Производственная безопасность.....	84
8.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	84
8.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве	85
8.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов	86
8.2 Экологическая безопасность.....	87
8.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.....	87
8.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду	87
8.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	88
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
8.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	90
8.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве	90
8.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	90
8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	92
8.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	92
8.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	92
8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	93
Заключение.....	95
Список использованных источников.....	97
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.024 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.024 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.024 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.024 ВО	Общий вид щита автоматизации

Введение

В последние годы уголь занимает одну из лидирующих позиций в мировом энергетическом балансе. Сохраняющиеся на сегодняшний день значительные запасы и доступность угля во многих регионах мира способствовали увеличению добычи твердого топлива. Большая часть добываемого объёма угля обогащается. К примеру, в мире в среднем обогащается 70–90% добываемого угля, в Австралии и ЮАР обогащается весь добываемый уголь, а в Кузбассе – более половины. В результате переработки угля образуются отходы углеобогащения (фильтр-кеки). Ежегодно в угледобывающих регионах формируются миллионы тонн фильтр-кеков [1–7]. Например, углеперерабатывающие предприятия Кузбасса ежегодно производят свыше 2 млрд. тонн таких отходов. Как правило, отходы углеобогащения складываются в бункерах, гидроотвалах и прудах-накопителях, которые, в свою очередь, ухудшают экологическое состояние окружающей среды и занимают значительные площади. По этим причинам задача масштабной утилизации отходов переработки угля имеет мировое значение.

С точки зрения экономического, экологического и энергетического потенциала сжигание отходов углеобогащения представляет значительный интерес. Использование горючих отходов позволяет осуществлять их масштабную утилизацию. С другой стороны, для энергогенерирующих компаний вовлечение компонентов с низкой стоимостью (минимальной для отходов) позволяет расширять собственную ресурсную энергетическую базу, получать альтернативные традиционным топлива. Мировое научное сообщество разработало группу технологий утилизации отходов углеобогащения (основными направлениями считаются строительство, изготовление композитных материалов, сжигание). Одним из способов довольно масштабной, безопасной и ресурсоэффективной утилизации отходов углеобогащения, а также низкокачественных энергоресурсов (например,

бурых углей) является их сжигание в составе органоводоугольных (ОВУТ) и водоугольных (ВУТ) топлив [8–22]. Одним из преимуществ суспензий ОВУТ является возможность использования в их составе компонентов нефтяного происхождения. В этой связи обоснованный интерес вызывает перспектива вовлечения в энергетический сектор невостребованных продуктов нефтепереработки и отработанных масел (машинных, турбинных, моторных, трансформаторных), формирующихся ежегодно в объеме сотен миллионов тонн.

На сегодняшний день выполнено достаточно большое число исследований (например, [8–22]) процессов приготовления и сжигания органоводоугольных композиций на основе фильтров-кеков. Например, перспективные исследования особенностей использования водоугольных топливных композиций провела группа ученых из Института теплофизики СО РАН, ООО «ПРОТЭН», г. Новосибирск, ОАО «СКЭК», г. Кемерово (Мальцев Л.И., Кравченко И.В., Лазарев С.И., Лапин Д.А.). В поселке Барзас Кемеровской области работает в тестовом режиме АСУ котельного агрегата, использующего ВУТ, активные исследования в этой области ведутся и в Китае. Вопросами зажигания и горения ОВУТ также занимается научно-исследовательская группа Томского политехнического университета на кафедре автоматизации теплоэнергетических процессов.

Результаты экспериментов [8–22] дают представление о закономерностях и характеристиках процессов зажигания ОВУТ. В работах [8–22] экспериментально получены данные об основных характеристиках и закономерностях процессов зажигания и горения ОВУТ, а также представлены результаты численных исследований зажигания композиционных жидких топлив (КЖТ). Следует, однако, отметить, что существует недостаток результатов экспериментальных исследований влияния компонентного состава ОВУТ на характеристики его горения (особенно топлив, приготовленных на основе отходов угле- и нефтепереработки) при сравнительно низких температурах окислителя. Представляет интерес

получение экспериментальной базы данных энергетических (теплота сгорания, инерционность и пороговые температуры зажигания, температуры горения), экологических, реологических (стабильность, вязкость) характеристик ОВУТ в широком диапазоне варьирования значимых факторов (температуры в камере сгорания, вида и концентраций компонентов топлива, размеров капель и др.)

Результаты исследования будут интересны в сфере образования для изучения студентами и аспирантами:

- процессов тепломассопереноса при горении распыленной группы капель ОВУТ;
- изучения влияния свойств угля (или отхода его обогащения) на параметры процесса зажигания и горения (пороговая температура зажигания, время задержки зажигания и полного сгорания ОВУТ);
- влияния способа и длительности приготовления топлива на вышеупомянутые параметры;
- влияния концентрации и свойств органической составляющей топлива на характеристики ОВУТ;
- систем автоматического управления энергоустановок по сжиганию топлива.

Экспериментальная информационная база интегральных характеристик и условий низкотемпературного зажигания органоводоугольных топливных композиций будет востребована в научной сфере при разработке технологий сжигания таких топлив, создании математических моделей зажигания и горения, получения новых знаний о процессах тепломассопереноса и фазовых превращений, протекающих при горении капель композиционных суспензионных топлив. Развитие исследований в этом направлении позволит разработать эффективные автоматизированные технологии топливоприготовления и сжигания в энергоустановках отходов углеобогащения и нефтепереработки.

Возможности утилизации широкой группы промышленных отходов, сокращения площадей отвалов, расширения сырьевой энергетической базы, получения суспензионных топлив с низкой стоимостью обуславливает интерес промышленных предприятий (как энергетических, так и углеперерабатывающих) в результатах исследований различных характеристик ОВУТ и ВУТ.

В последние несколько лет выполнены экспериментальные исследования (например, [23–28]) процессов зажигания и горения капель органоводоугольных топливных суспензий на основе углей, отработанных масел и водонефтяных эмульсий. Показано [23–28], что суспензии ОВУТ могут быть использованы в качестве основного топлива для многих энергетических установок. Однако в качестве основных компонентов ОВУТ в экспериментах [23–28] использованы высокосортные угли разной степени метаморфизма. Так как большая часть таких углей активно экспортируется развитыми государствами (например, Китаем, США, Индией, Россией), то целесообразно при приготовлении ОВУТ использовать отходы переработки и обогащения этих углей (например, фильтр-кеки). Объемы последних к 2020 году могут вырасти в несколько раз [7]. Актуальна задача создания ОВУТ на основе фильтр-кеков с добавлением отработанных масел разного происхождения. Важно определить, как могут влиять наиболее типичные компоненты таких топливных суспензий на их основные характеристики (стабильность, вязкость, теплота сгорания, инерционность зажигания, длительность горения и другие). Так как достоверных экспериментальных данных о процессах зажигания и горения ОВУТ с разными компонентными составами пока опубликовано очень мало (для условий низкотемпературного (менее 900 К) [23–28] зажигания нет данных), то целесообразно для получения соответствующей базы данных провести эксперименты с разными фильтр-кеками и отходами нефтехимического происхождения. При этом для расширения возможных приложений результатов исследований условия нагрева топлив следует рассмотреть от низкотемпературных [26–28] до

соответствующих (более 1200 К) современным энергетическим установкам, блокам и агрегатам.

При использовании ОБУТ в котлоагрегате возникают некоторые проблемы, одна из них – это подача топлива в котел. При непрерывной подаче композиционного жидкого топлива с помощью форсунки необходимо регулировать количество воздуха, смешивающегося с ОБУТ для предотвращения выхода форсунки из строя. Кроме этого, для обеспечения жидкого шлакоудаления необходимо поддерживать в топке котельного агрегата высокие температуры (свыше 1300 °С).

Система управления процессом сжигания топлива называется САУ топливоподачи.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование характеристик ОБУТ, полученных на основе фильтр-кеков каменных углей и отработанных масел, а также проектирование автоматизированной системы сжигания органоводоугольной композиции в котлоагрегате.

1 Исследовательские изыскания

Результаты экспериментальных исследований по изучению ВУТ и ОВУТ в течение последних нескольких показали большую выгоду для человечества [29–33]. Главной энергетической особенностью ОВУТ в сравнении с традиционным пылевидным угольным топливом является возможность обеспечения низкотемпературного сжигания, а также снижения пожарной опасности, свойственной процессам подготовки, хранения и транспортировки высокореакционной угольной пыли на энергетических предприятиях. За счет вовлечения низкосортных углей, отходов углеобогащения (фильтр-кеков) и нефтепереработки снижается стоимость топлива, что положительно сказывается на экономическом аспекте.

Анализ исследований мирового научного сообщества [33–43] показывает, что в качестве компонентов ОВУТ может выступать довольно большая группа веществ. Твердые горючие компоненты: угли разных марок (древесный, бурый, каменный, антрацит, а также кокс и полукокс), продукты и отходы углепереработки и углеобогащения, отходы переработки отработанных автомобильных шин, торф и др. Жидкие горючие компоненты: отработанные индустриальные и автомобильные масла, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, нефтяные шламы и нефтяные отложения, образующиеся при очистке нефтепроводов и резервуаров, фусы, полимеры после регенерации поглотительного масла, каменноугольная смола и др. В качестве добавок для повышения сегментарной стабильности (замедления расслоения топлива) достаточно часто в состав ОВУТ добавляются смачиватели или пластификаторы. Кроме того, за счет специализированных дополнительных компонентов (например, порошок кремния, гумат натрия, углещелочной реагент, лигносульфонат, желатин, алюминиевая пудра и др.), как правило, интенсифицируются или стабилизируются процессы прогрева и горения ОВУТ.

Одной из основных проблем при использовании ВУТ и ОВУТ является меньшее тепловыделение по сравнению с традиционными угольными топливами. Это обусловлено, главным образом, высокой влажностью суспензии (в среднем, 40–50 %), а также использованием низкосортных углей и отходов углепереработки. Представляет интерес экспериментальное определение подходов, позволяющих повысить тепловыделение при сжигании ОВУТ, а также определение концентрации выбросов загрязняющих веществ при горении топливной композиции. Проводить такие исследования на действующих энергетических установках затруднительно вследствие больших материальных расходов и сложности контроля влияния только одного или двух факторов (неизбежны многофакторные эксперименты, которые затрудняют понимание соответствующих процессов и исследованных эффектов). Целесообразны лабораторные экспериментальные исследования влияния группы основных параметров на температуру горения ОВУТ с типичными компонентными составами.

Для экспериментальных исследований по определению концентраций выбросов использовался экспериментальный стенд, схема которого приведена на рисунке 1.1.

При проведении экспериментов топливная навеска взвешивалась на аналитических весах 2 ViBRA HT 84RCE. Масса навески в каждом эксперименте варьировалась в диапазоне 0,5–1,5 грамма. Далее образец помещался в изготовленный из нержавеющей стальной сетки (размер ячеек 0,5×0,5 мм) цилиндр (высотой 0,05 м, диаметром основания 0,015 м) без нижнего основания. При помощи крепежных элементов цилиндр с топливной навеской фиксировался в горизонтальном положении на конце полого металлического стержня, внутри которого размещался модульный зонд 3 газоанализатора 4. Собранный конструкция крепилась на координатный механизм 5, который в автоматическом режиме обеспечивал ее перемещение в сквозную керамическую трубу нагрева (диаметром 0,05 м, длиной 0,55 м) муфельной печи 1. Для защиты внутренней трубы печи 1 от длительного

воздействия высоких температур в нее помещалась трубка меньшего диаметра (0,04 м), выполненная из жаропрочного кварцевого стекла. Во время проведения эксперимента отверстие, через которое топливо помещалось в печь, герметично закрывалось минеральным теплоизоляционным материалом для устранения подсосов воздуха.



Рисунок 1.1 – Схема экспериментального стенда: 1 – муфельная печь; 2 – аналитические весы; 3 – модульный зонд; 4 – газоанализатор; 5 – координатный механизм; 6 – газоотборный шланг; 7 – персональный компьютер; 8 – пульт управления; 9 – воздуховод; 10 – вытяжная вентиляция

Температура нагрева в экспериментах варьировалась в диапазоне 800–1300 К. Выбор таких высоких температур обосновывается тем, что образование оксидов серы (SO_x) и азота (NO_x) происходит при температурах выше 950 К. Контроль и установление необходимой температуры нагрева

выполняется с помощью интегрированных регулятора и термопары типа S (платинородий-платиновая; максимальная рабочая температура 1623 К, предел допускаемых отклонений ± 1 К). Ввиду того, что исполнение печи однозонное, требуемый температурный режим с минимальными погрешностями (± 1 К) обеспечивается именно в центральной части трубки.

Установка модульного зонда 3 газоанализатора 8 в полую металлическую трубку необходима для защиты чувствительного элемента, расположенного на конце зонда, от воздействия пламени. Образующийся при горении топлива поток дымовых газов движется по металлическому стержню к чувствительному элементу зонда. Далее по прочному газоотборному шлангу 6, подключенному к корпусу газоанализатора 4, отобранная проба поступает к измерительным сенсорам. Встроенный мембранный насос автоматически поддерживает постоянство потока дымового газа к сенсорам, для защиты которых от высоких концентраций выбросов предусмотрена функция автоматической продувки сенсоров свежим воздухом.

Корпус газоанализатора 4 подключался по интерфейсу USB к ПК 8, на котором было установлено специализированное ПО «easyEmission», позволяющее в режиме реального времени видеть на экране текущие значения в процессе осуществления измерений.

В качестве твердых горючих компонентов ОВУТ применялись типичные отходы углепереработки – фильтр-кеки (на основе каменных углей марок К, СС). Данные отходы образуются на углеобогащительных фабриках. В результате технологического процесса угольная порода промывается водой с применением поверхностно-активных веществ. В дальнейшем происходит разделение угля по фракциям на грохотах. Вода, использованная для промывки породы, подается в специальные емкости, где происходит осаждение частиц угля. Водугольная суспензия откачивается и пропускается через ленточные пресс-фильтры для отжима воды. Влажный остаток (смесь воды и угля) представляет собой КЕК. Средний размер частиц угольной пыли в кеке составлял не более 100 мкм. Такой размер частиц типичен для

флотационных отходов и связан тем, что в промышленности наиболее востребованным и широко распространенным помолом обогащенных углей является диапазон 50–100 мкм. В таблицах 1 и 2 приведены результаты технического и элементного анализов кеков. В табл. 3 представлены: доля воды в исходном состоянии кеков (т.е. при получении на углеобогачительных фабриках), а также теплота сгорания.

Таблица 1 – Результаты технического анализа образцов фильтр-кеков (в сухом состоянии)

Фильтр-кек каменного угля	A^d , %	V^{daf} , %	$Q_{s,v}^a$, МДж/кг
марка К	26.46	23.08	24.83
марка СС	50.89	30.16	15.23

Таблица 2 – Результаты анализа элементного состава фильтр-кеков (в сухом состоянии)

Фильтр-кек каменного угля	C^{daf} , %	H^{daf} , %	N^{daf} , %	S_t^d , %	O^{daf} , %
марка К	87.20	5.090	2.05	1.022	4.46
марка СС	87.47	5.039	2.15	0.444	4.77

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

Фильтр-кек каменного угля в исходном (влажном) состоянии	Массовая доля сухого вещества, %	$Q_{s,v}^a$, МДж/кг
марка К	56.5	14.1
марка СС	62.1	9.5

В качестве жидких горючих компонентов ОБУТ применялось турбинное масло и мазут. В табл. 4 приведены результаты их технического анализа.

Таблица 4 – Результаты анализа характеристик жидких горючих компонентов

Название компонента	Плотность при 293 К, кг/м ³	Влажность, %	Зольность, %	Температура вспышки, К	Температура загорания, К	Теплота сгорания, МДж/кг
Отработанное турбинное масло	868	–	0.03	448	466	45.1
Мазут	1000	6.12	4.06	438	513	39.4

Экспериментальные исследования по определению зависимости максимальных концентраций выбросов при сжигании в муфельной печи, проведены для двух топливных композиций:

- 1) ОВУТ №1 (90 % фильтр-КЕК К (влажный), 10 % мазут);
- 2) ОВУТ №2 (90 % фильтр-КЕК СС(влажный), 10 % мазут).

Концентрация соответствующих выбросов обозначена γ (%) и α (ppm). Результаты экспериментов приведены на рисунках 1.2 – 1.5.

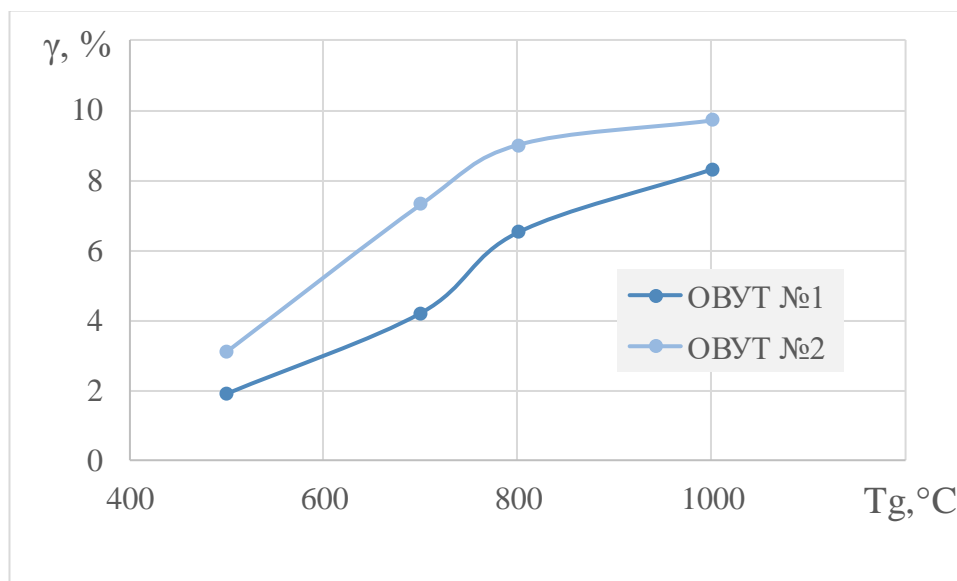


Рисунок 1.2 – Экспериментальные зависимости максимальных концентраций CO₂ от температуры в муфельной печи при сжигании ОВУТ на основе разных видов фильтр-кеков и мазута

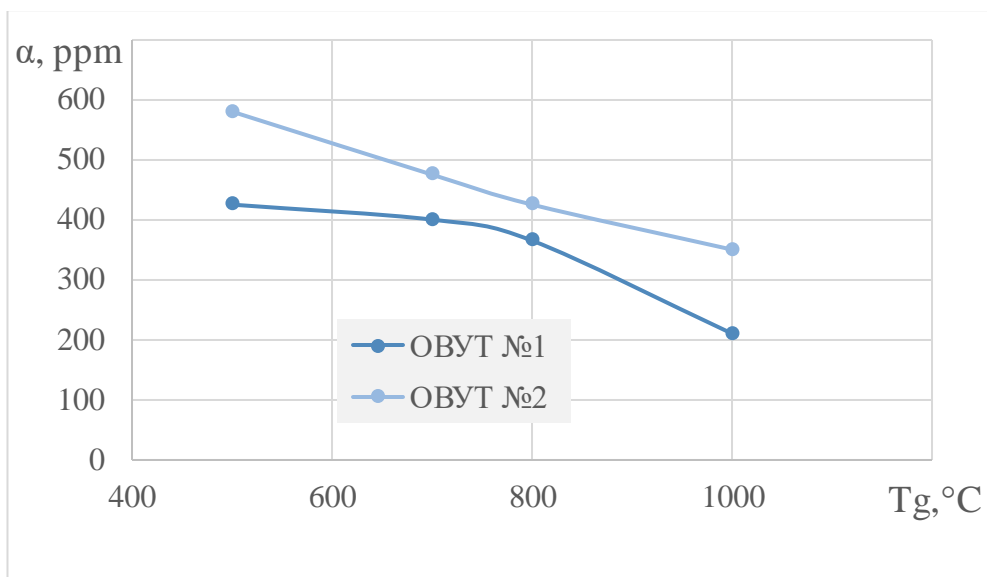


Рисунок 1.3 – Экспериментальные зависимости максимальных концентраций CO от температуры в муфельной печи при сжигании ОВУТ на основе разных видов фильтр-кеков и мазута

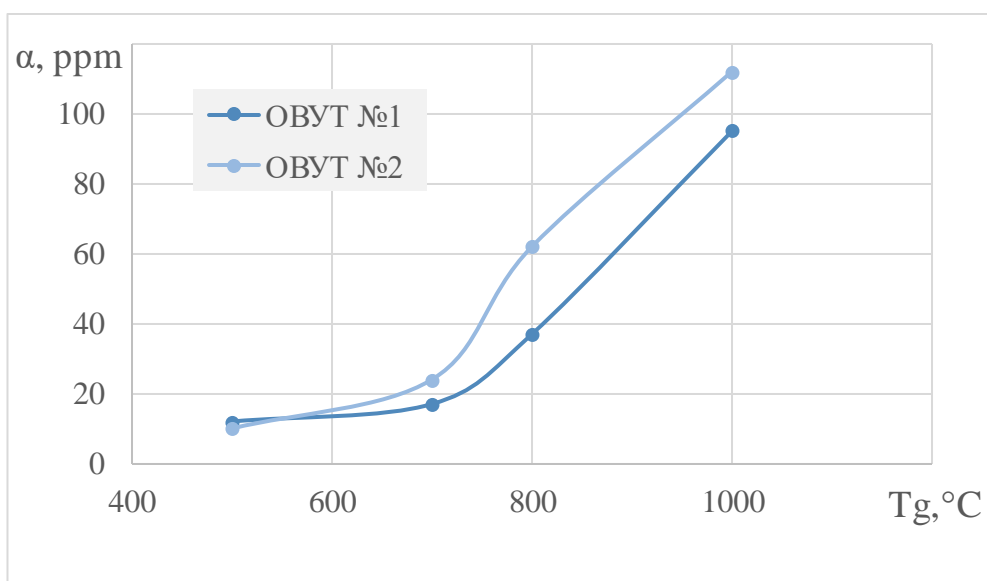


Рисунок 1.4 – Экспериментальные зависимости максимальных концентраций SO₂ от температуры в муфельной печи при сжигании ОВУТ на основе разных видов фильтр-кеков и мазута

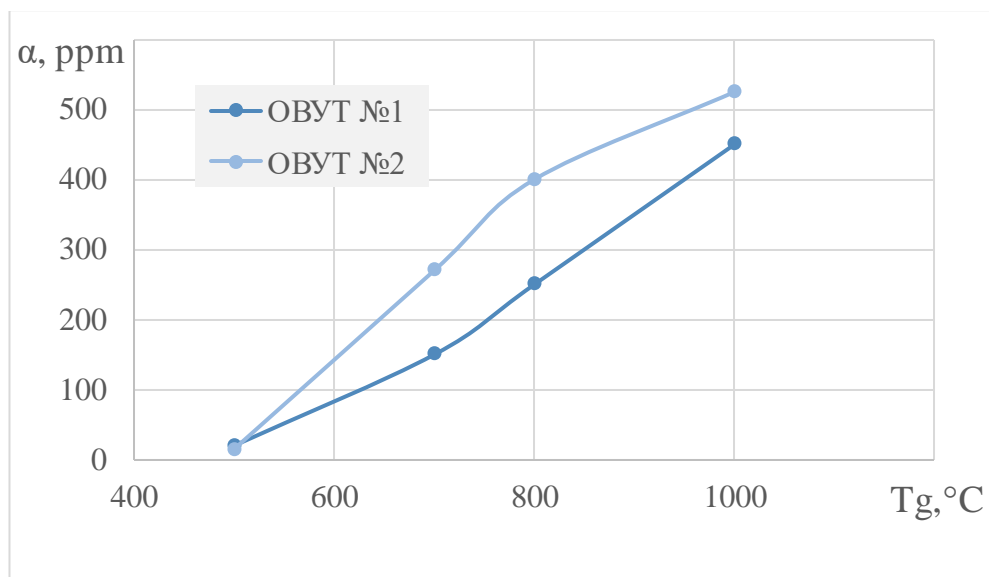


Рисунок 1.5 – Экспериментальные зависимости максимальных концентраций NO_x от температуры в муфельной печи при сжигании ОВУТ на основе разных видов фильтр-кеков и мазута

Выполненные эксперименты позволили установить диапазоны концентраций типичных антропогенных выбросов (CO_2 , CO , SO_2 , NO_x), образующихся при сжигании отходов углерепереработки (фильтр-кеков) в составе суспензий ОВУТ.

Сравнительный анализ зависимостей, представленных на рисунках 1.2–1.5 с экспериментальными данными для составов с различным твердым компонентом позволяет сделать заключение о том, что применение в качестве топлива ОВУТ с добавлением продуктов нефтепереработки (мазут), в общем, не способствует снижению концентраций CO_2 и CO , которые для ОВУТ и углей остаются в приблизительно одинаковом диапазоне (1–10 %). При этом прослеживается повышение концентрации CO_2 и уменьшение концентрации CO с ростом температуры в камере.

Исходя из данных, представленных на рисунках 1.2–1.5 было установлено, что диапазон выбросов SO_2 для суспензий ОВУТ (0–120 ppm) несколько выше, чем для каменных углей (0–50 ppm) соответствующих марок). Данный факт обусловлен химическим составом, используемых горючих жидкостей (содержание серы в рабочей части мазутов находится в

диапазоне 0,3–3,5 %.) Также установлено, что минимальными выбросами в процессе горения характеризуется состав на основе фильтр-кека каменного угля марки К.

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 1.2–1.5 показал, что добавление продуктов нефтепереработки, в целом, не приводит к снижению выбросов NO_x (диапазоны выбросов от сжигания ОВУТ и каменных углей сопоставимы между собой). Из этого следует, что с точки зрения экологии, возможно использование всех рассмотренных жидкостей с сопоставимым влиянием, оказываемым окружающую среду. В результате чего выбор той или иной жидкой горючей составляющей для ОВУТ обусловлен в большей степени характеристиками процессов зажигания и горения: температурой зажигания, теплотой сгорания, инерционностью зажигания и седиментационной стабильностью суспензий, а также стоимостью и объемами (запасами) сырья для приготовления ОВУТ.

На следующем этапе исследований определялось время задержки зажигания и время полного сгорания ОВУТ. Для выполнения данных экспериментальных исследований использовался стенд, схема которого приведена на рисунке 1.6.

Генерация капель ОВУТ выполнялась электронным дозатором Finnpipette Novus (минимальный и максимальный дозируемые объемы – 1 мкл и 10 мкл, шаг варьирования – 0.1 мкл). Выполнялось взвешивание генерируемых образцов весами ViBRA HT 84RCE (дискретность измерения – 10^{-5} г) для контроля начальной массы в каждом эксперименте. С использованием высокоскоростной камеры 8 и программного обеспечения Tema Automotive определялся характерный диаметр капель.

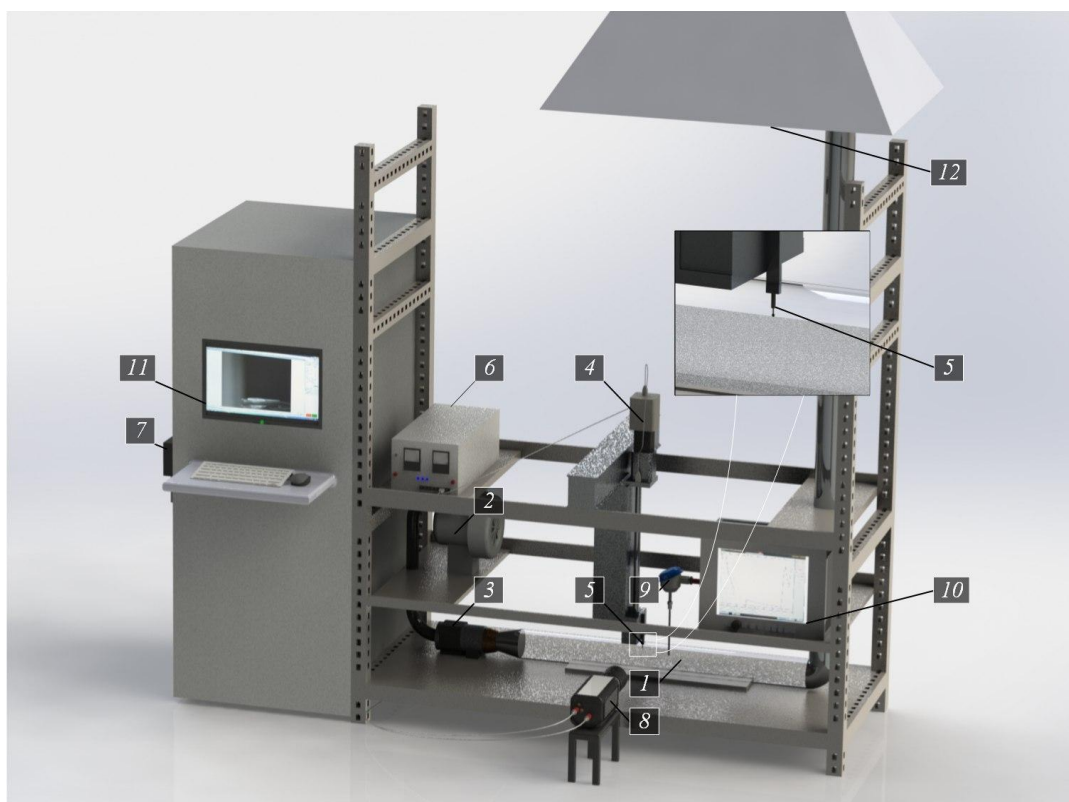


Рисунок 1.6 – Внешний вид стенда: 1 – полый стеклянный цилиндр; 2 – нагнетатель; 3 – воздухонагреватель; 4 – координатный механизм подачи капли; 5 – капля топлива; 6 – источник питания координатного механизма; 7 – пульт управления нагревателем; 8 – высокоскоростная видеокамера; 9 – термопара; 10 – регистратор многоканальный технологический; 11 – компьютер; 12 – вытяжка

Для каждого изображения последней вычислялись шесть характерных диаметров, затем среднее значение радиуса – R_d . Систематическая погрешность определения R_d с соответствующим разрешением высокоскоростной видеорегистрации не превышала 4 %. Начальные размеры (радиусы) капель до взаимодействия с потоком разогретого воздуха составляли от 0,25 мм до 2,5 мм.

Координатный механизм 4 применялся для ввода капли топливной композиции, в цилиндр 1. В каждом эксперименте контролировался процесс обволакивания наконечника пленкой ОВУТ. Допускаемое отклонение по толщине (δ) пленки относительно среднего значения принималось не более

10 %. С учетом специфических особенностей проведения эксперимента такое отклонение считалось приемлемым. Для контроля толщины пленки топлива (значения δ изменялись от 0.1 мм до 2.5 мм) на наконечнике использовалась высокоскоростная видеорегистрация и специализированное программное обеспечение Tema Automotive (с алгоритмами непрерывного слежения).

Координатный механизм 4 перемещал наконечник с каплей топливной композиции через одно из трех технологических отверстий от периферии к центру канала 1. Скорость перемещения капли ограничивалась диапазоном 0.5–0.6 м/с. Последний обусловлен требованиями сохранения целостности капли и ее начального положения на наконечники в процессе ввода в цилиндр 1. Смесь потока воздуха с продуктами испарения жидкого горючего компонента и термического разложения угля, также продуктами их окисления удалялась из цилиндра 1 при помощи воздухоотвода 10 и вытяжки 12, управляемой пультом 7.

Регистрировались следующие параметры: температура T_g и скорость движения V_g потока воздуха при обтекании капли топлива; начальный размер (средний условный радиус R_d) капли; время задержки зажигания τ_d , горения (τ_b) и полного сгорания ($\tau_c = \tau_d + \tau_b$). Параметр τ_d представлял время с момента ввода капли в канал 1 до выполнения условий начала горения кокса (контролировалось одновременное выполнение неравенства $T_d > T_g$ и достижения скорости изменения T_d не менее 10 К/с). Параметр τ_b – время от момента зажигания кокса угля до его полного сгорания (характеризуется выходом значения T_d на некоторое “установившееся” значение, соответствующее T_g). С учетом установленной частоты видеорегистрации – 10^3 кадров в секунду систематические погрешности определения значений τ_d , τ_b и τ_c не превысили 0.5 мс.

Методики оценки систематических и случайных погрешностей определения основных параметров процессов зажигания и горения в проведенных экспериментах аналогичны описанным в [43–55].

Время задержки зажигания является одним из главных параметров процесса горения топлива. При снижении данного параметра уменьшаются тепловые и временные затраты на прогрев камеры сгорания. Результаты экспериментальных исследований зависимости времен задержки зажигания и полного сгорания от температуры потока разогретого воздуха приведены на рисунке 1.7.

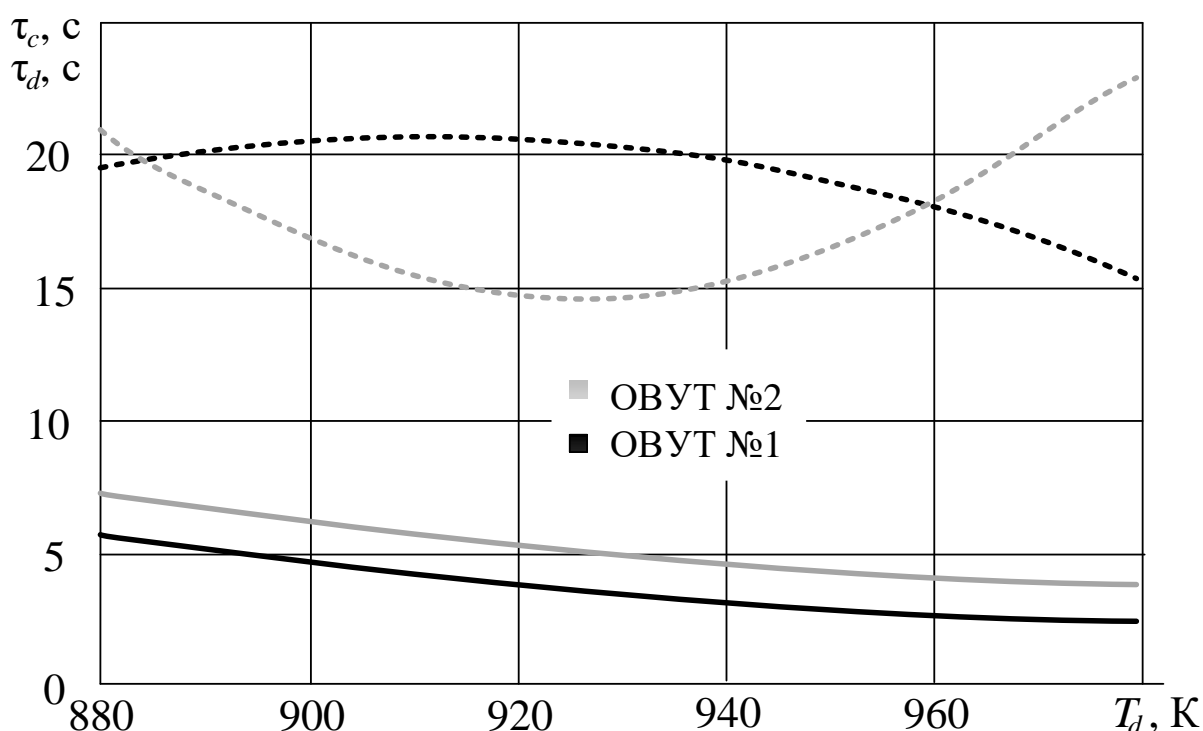


Рисунок 1.7 – Зависимость времен задержки зажигания (сплошная линия) и времени полного сгорания (пунктирная линия) от температуры потока для составов на основе фильтр-кеков К, СС

Из рисунка 1.7 видно, что наименьшим временем задержки зажигания обладает состав на основе фильтр-кека К. Таким образом приведённые эксперименты позволили установить влияние компонентов состава на характеристики зажигания ОБУТ. С экономической стороны использование кеков является оптимальным решением, из-за их низкой стоимости, поэтому использование кека марки К целесообразно в качестве основного компонента ОБУТ. Также сжигание кека является хорошим экологическим решением, для очистки территорий обогатительных фабрик. Для сжигания в водогрейном котле,

лучше всего подходит ОВУТ следующего компонентного состава: КЕК К 89%, пластификатор 1% и отработанное турбинное масло 10%. Такой состав сохраняет стабильность в течении 7 суток. Также при сжигании этого состава отмечены минимальные антропогенные выбросы в сравнении с суспензиями других компонентных составов.

2 Проектирование САУ топливоподачи

В качестве объекта автоматизации выбран котельный агрегат НР-18 мощностью 0,8 МВт, предназначенный для теплоснабжения промышленных и гражданских зданий [56].

Отличительная особенность парового котла – вертикальное расположение труб небольшого диаметра. При работе на жидком топливе на котлах НР-18 устанавливают ротационные горелки РГМГ или РМГ-1. Ранее устанавливались мазутные горелки завода «Ильмарине». Такие котлы конструируются без барабанов и выполняются из предварительно изогнутых или прямых сваренных труб. Состоят из двух пакетов – правого и левого. Пакеты могут быть разной длины в зависимости от теплопроизводительности котла. Пакеты котла свариваются из отдельных секций, каждая из которых состоит из трёх вертикальных стальных бесшовных труб диаметром 89 мм. Стальные секционные котлы работают под разрежением за счет естественной тяги, создаваемой дымовой трубой.

Стальные секционные котлы предназначены для нагрева воды до температуры не выше 115 °С. Секции котла НР-18 сваривают из трех труб $D = 89$ мм и одной трубы $D = 108$ мм (коллектор), в которые вверху и внизу вварены вертикальные трубы. Внутренний ряд труб отделен от двух других рядов вертикальной перегородкой из огнеупорного кирпича, образующей радиационную (боковые экраны) и конвективную части котла. Из топки высокотемпературные продукты сгорания через проем перетекают в конвективную часть котла. Опускаясь вниз по конвективной части, продукты сгорания поступают в газоход. Из газохода охлажденные продукты сгорания уходят в дымовую трубу. Стальные секционные котлы работают на твердом, жидком и газообразном видах топлив.

На рисунке 2.1 изображен продольный разрез котла НР-18.

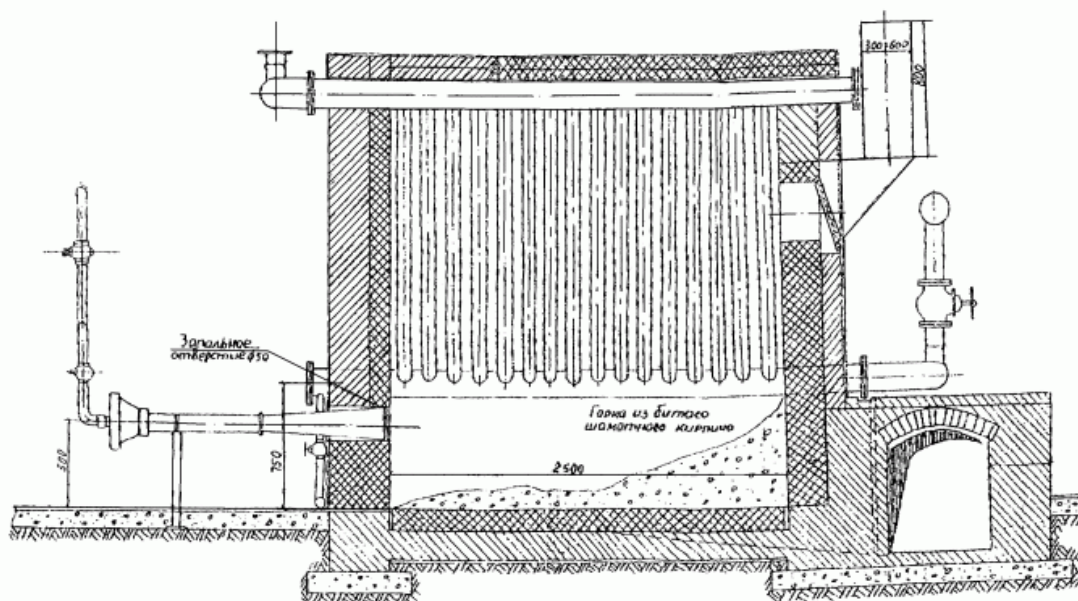


Рисунок 2.1 – Продольный разрез котла НР-18

Задача регулирования технологического процесса котельного агрегата сводится, в основном, к необходимости поддержания материального и энергетического балансов, при котором он будет работать в постоянном (стационарном) режиме, который характеризуется постоянством во времени давлений, температур, уровней, расходов и других контролируемых параметров.

Одна из основных задач, связанных с автоматизацией котлоагрегата – автоматическое регулирование экономичности процесса горения. На экономичность работы котлоагрегата в наибольшей степени влияет режим работы топki, т. е. организация процесса горения топлива. Топливо, поступающее в топку, должно сгорать по возможности полностью, а потери выделившегося тепла при его передаче поверхностям нагрева должны быть минимальными. Задача регулирования экономичности состоит в поддержании максимального значения КПД парогенератора или сведении к минимуму тепловых потерь, сопровождающих процесс сжигания топлива и передачи выделившегося тепла воде.

Топливо в котел подается пневматической форсункой (рисунок 2.2), конструкция которой имеет хорошие показатели надежности благодаря распылу топлива вне тела форсунки за счет энергии сжатого воздуха и подачи

топлива по центральному каналу, имеющему относительно большой диаметр, а значит обеспечивающему низкую скорость движения топлива. Данная схема подачи и распыла ОВУТ позволяет снизить абразивный износ деталей форсунки при взаимодействии с абразивными компонентами топлива [57].

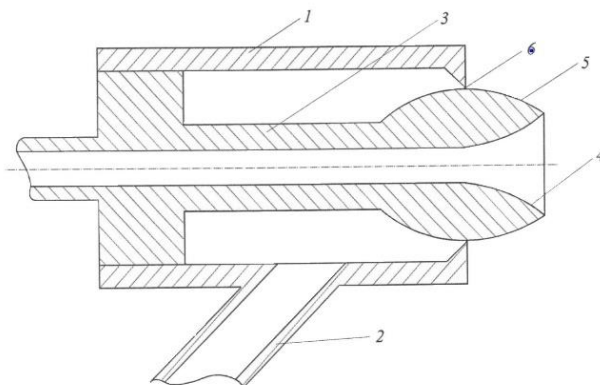


Рисунок 2.2 – Продольный разрез пневматической форсунки для распыла ВУТ: 1 – корпус с патрубком; 2 – патрубок для подачи сжатого воздуха; 3 – труба для подачи ВУТ; 4 – диффузорное сопло; 5 – кольцевая насадка; 6 – кольцевое газовое сопло

Пневматическая форсунка работает следующим образом. Газ подается в корпус 1 через патрубок 2. Струя газа, вытекающая из сопла 6, не отрываясь, в силу эффекта Коанда, движется вдоль сходящейся наружной стенки насадки 5 и образует за пределами форсунки сходящийся струйный газовый поток. В результате столкновения струй, образуется струйное течение вдоль оси форсунки и возвратная струя типа кумулятивной.

Подача жидкости под напором в трубу 3 приводит к формированию струи, вытекающей из сопла 4. Благодаря эффекту Коанда жидкость имеет тенденцию прилипать к стенкам диффузного сопла и растекаться вдоль них тонкой струей. Однако, процесс этот не является достаточно устойчивым и, при отсутствии газового потока, жидкость вытекает сосредоточенной струей, примыкая к стенкам диффузора 4 то в одном, то в другом месте.

Высокоскоростная возвратная струя газа, внедряясь в жидкостную струю вдоль ее оси, нарушает целостность струи и заставляет жидкость равномерно распределяться тонкой струей по стенкам диффузора 4. При этом,

возвратная газовая струя после соударения с жидкостной струей еще раз изменяет свое направление на обратное, растекается вдоль стенок диффузора и ускоряет поток жидкости, а внутри конуса, образованного основной газовой струей, формируется тороидальный вихрь. В результате взаимодействия жидкостной струи и газового потока на выходе из диффузора 4 образуется газокпельный поток. Какая-то часть мелких капель жидкости попадает и в возвратную газовую струйку. Однако капли только увеличивают среднюю плотность потока по сравнению с чистым газом и эффективность возвратной струйки как разрушителя сосредоточенной струи жидкости увеличивается.

Регулирование температуры воды в прямой сети осуществляется с помощью изменения расхода ОВУТ. Регулирование подачи топлива осуществляется по схеме «нагрузка–тепло».

На основании описанных свойств и параметров котлоагрегата произведём выбор структуры САУ.

2.1 Выбор структуры автоматизированной системы управления топливоподачи

В работе рассматриваются два варианта системы регулирования подачи топлива. Первый вариант предусматривает воздействие на подачу топлива B_T по схеме «задание по нагрузке-тепло». Структурная схема изображена на рисунке 2.3. В этом варианте регулятор топлива выполняет функции регулятора тепловой нагрузки. Входной сигнал «задание по нагрузке» формируется корректирующим ПИ-регулятором давления, получающим сигнал от датчика давления пара в паропроводе на выходе парогенератора или общей магистрали при параллельной работе группы агрегатов. Второй сигнал регулятора топлива «тепло» формируется двумя сигналами от датчиков расхода и давления пара в промежуточной точке (в зоне максимальной теплоемкости пароводяного тракта) [58].

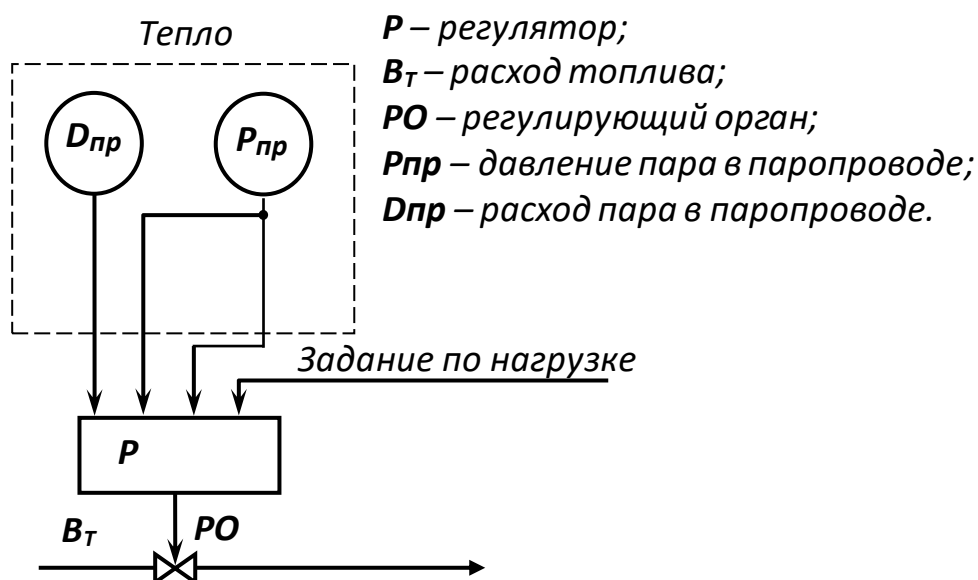


Рисунок 2.3 – Структурная схема регулирования подачи топлива по системе «нагрузка-тепло»

Второй вариант системы регулирования подачи топлива V_T по схеме «вода-тепло» (рисунок 2.4) предусматривает использование в качестве задания для регулятора топлива расхода питательной воды. Соответствие между подачей воды и топлива осуществляется в этом случае в прямой зависимости от расхода питательной воды [58].

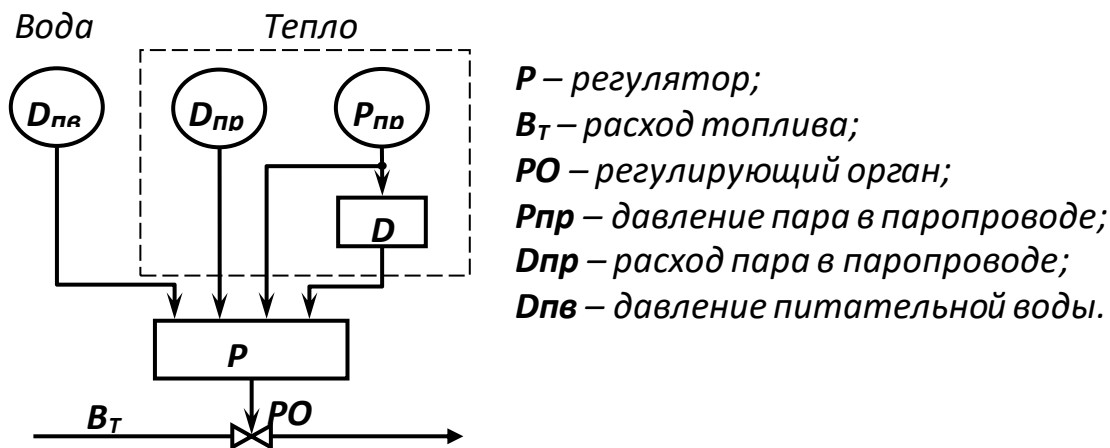


Рисунок 2.4 – Структурная схема регулирования подачи топлива по системе «вода-тепло»

Каждая из рассматриваемых схем регулирования тепловой нагрузки имеет определенные преимущества и недостатки. Так, например, регулятор питания имеет больший по сравнению с регулятором подачи топлива диапазон

регулирования и использование его в качестве ведущего при регулировании тепловой нагрузки может привести к рассогласованию в подаче воды и топлива. Использование регулятора питания в качестве регулятора тепловой нагрузки более целесообразно на блочных установках с независимым питанием. При этом будет обеспечиваться более быстрое соответствие между подачей воды и топлива при внешних возмущениях и с некоторой инерцией при нарушениях топочного режима.

Примем структурную схему регулирования расхода топлива по температуре воды на выходе из котла и температуре в топке котлоагрегата. Таким образом будет поддерживаться баланс между количеством сжигаемого топлива и нагревом воды, т.е. в топке котла будет сгорать столько топлива, чтобы количество тепла, вырабатываемого котельным агрегатом, соответствовало количеству потребляемого тепла. Окончательная структура системы контроля и регулирования расхода топлива представлена на рисунке 2.5.

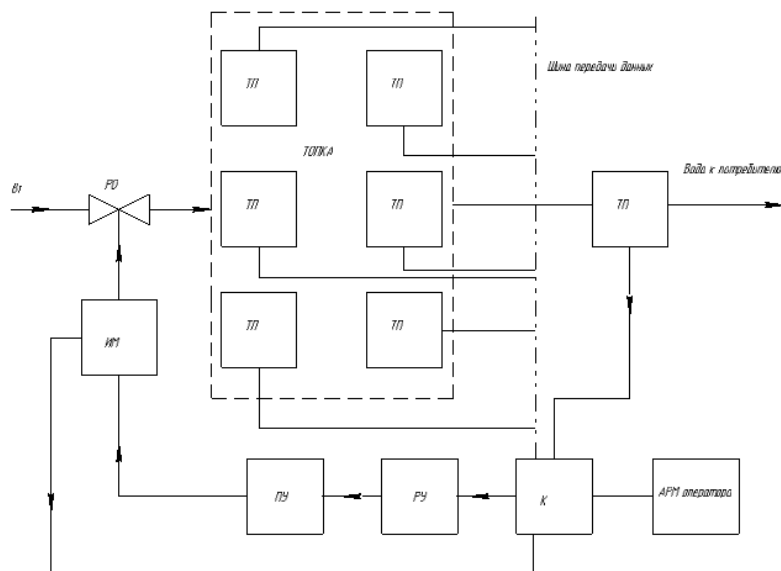


Рисунок 2.5 – Структурная схема автоматизированной системы управления расхода топлива ТП – термоэлектрический преобразователь; К – контроллер;

ЗУ – задающее устройство; РУ – устройство ручного управления;

ПУ – пусковое устройство; РО – регулирующий орган;

ИМ – исполнительный механизм

2.2 Разработка функциональной схемы САУ топливоподачи

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.

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного оборудования вместе с встроенными в него запорными и регулирующими органами, а также энергии, сырья и других материалов, определяемых особенностями используемой технологии.

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов должны быть решены следующие задачи:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- стабилизация технологических параметров процесса;
- контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

Технологическое оборудование и коммуникации при разработке функциональных схем должны изображаться, как правило упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения. Однако изображенная таким образом технологическая схема должна давать ясное представление о принципе ее работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

На технологических трубопроводах показывают только ту регулируемую и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в работе системы автоматизации или необходима для определения относительного расположения отборных устройств и первичных измерительных преобразователей.

Внутри контуров условных обозначений технологического оборудования или рядом с ними необходимо приводить поясняющие надписи.

Была разработана функциональная схема САУ расхода жидкого топлива водогрейный котла. Схема представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.024 С2.

На первом этапе разработки функциональной схемы были определены измерительные каналы (1–9,11) и канал управления (10). Для измерения температуры в магистрали воды, идущей на нужды потребителя, используется канал 1, а для температуры питательной воды канал 2. В топке установлены 6 датчиков температуры для контроля распределения температурного поля. Им соответствуют каналы измерения 3–8. По измеренным температурам осуществляется регулирование расхода ОБУТ в топку, измеряемого при помощи измерительного канала 9 расходомером. Канал 11 передает на контроллер информацию о работе заслонки.

На втором этапе разрабатывалась нижняя часть функциональной схемы. В этой части изображались приборы, установленные по месту, пусковой щит аппаратуры и щит управления. В щите управления установлен контроллер 10а [59].

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403–80, условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785–70, первичные и функциональные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.208-2013.

Измерительные каналы 1–8 формируют сигналы о величине температуры питательной и сетевой воды, а также о распределении температуры в топке. Измерительный канал 9 преобразует значения расхода ОБУТ, которые поступают к регулируемому устройству в виде унифицированного токового сигнала 4–20 мА с ультразвукового расходомера 9а. Контроллер формирует дискретный регулирующий сигнал, который поступает на пусковое устройство 10б, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма.

2.3 Выбор технических средств САУ топливоподачи

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 разрабатываемой автоматизированной системе управления расхода ОВУТ, регистрируется температура в топке котла и температура воды после нагрева в котлоагрегате. Для измерения температуры воды до и после нагрева в топке котла, используются как термопреобразователи сопротивления, так и термоэлектрические преобразователи. Для регистрации изменения процесса распространения температуры в топке используются платиновые термопары. В данной системе предполагается установка шести термопар. Компании «Метран» и «Элемер» представляют большой выбор датчиков для измерения температуры. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

Для измерения температуры прямой и обратной сети рассмотрим несколько ТПС:

А) Термопреобразователи сопротивления серии Метран-200

Термометры сопротивления предназначены для измерения температур жидких и газообразных сред. В линейку Метран-200 входит несколько

преобразователей с разным диапазоном температур. Связь датчика с контроллером осуществляется с помощью аналогового унифицированного сигнала 4–20 мА.

Тип и исполнение ТПС, НСХ первичного преобразователя температуры, диапазон измеряемых температур представлены в таблице 5 [60].

Таблица 5 – Основные технические характеристики первичных преобразователей температуры серии Метран–200

Наименование характеристик	ТСМ Метран-203, -204	ТСМ Метран-243
Диапазон измеряемых температур, °С - для класса допуска В - для класса допуска С	От -50 до +180	От -50 до +120
Класс допуска по ГОСТ 6651-2009	В; С	С
Условное обозначение НСХ по ГОСТ 6651-2009	50М; 100М	50М

Б) Термопары предназначены для измерения температуры разных сред, которые не вступают в химическую реакцию с защитным корпусом преобразователя. Рассмотрим несколько модификаций и область их применения:

1) ТП-1388 – предназначены для измерения температуры при переработке пластических масс и резиновых смесей, жидких, газообразных и твердых тел;

2) ТП-1388В – вибропрочное исполнение ТП-1388;

3) ТП-2088 – предназначены для измерения температуры жидких, газообразных сред (в том числе агрессивных, которые не разрушают защитную арматуру изделия) и твердых тел в различных отраслях промышленности. Чувствительный элемент – КТМС-кабель;

4) ТП-2088В – вибропрочное исполнение ТП-2088;

5) ТП-2088А – исполнение ТП-2088 повышенной надежности.

Применяются в составе систем управления технологическими процессами на объектах использования атомной энергии;

б) ТП-2388 – предназначены для измерения температуры жидких, газообразных сред (в том числе агрессивных, которые не разрушают защитную арматуру изделия) и твердых тел в различных отраслях промышленности.

Метрологические характеристики представленных модификаций приведены в таблице 6 [60].

Таблица 6 – Номинальная статическая характеристика (НСХ) и класс допуска термопар

НСХ	Класс допуска	Рабочий диапазон температур, °С
ХА (К)	1	–40...+1000
	2	–40...+1200
ХК (L)	2	–40...+600
ХКн (E)	1	–40...+600
	2	–40...+600

Выбираем две ТПС фирмы «Метран» для прямой и обратной сети, типа Метран-204 и Метран-243 с НСХ 50М и классом допуска С, но с различным диапазоном измеряемых температур. Первый ТПС обладает диапазоном от -50 до +180 °С, а второй от -50 до +120 °С. В целом, данный датчик температуры удовлетворяет предъявляемым требованиям: имеет достаточную точность измерения и приемлемую цену.

Для измерения температуры в топке рассмотрим термопары фирмы «Метран». В таблице 7 приведены характеристики для термопар ТП-0395/2, так как эти термопары являются высоко температурными, что и требуется для решения данной задачи, то осуществим выбор НСХ [60].

Максимальная температура в топке достигает около 1700 °С, для измерения таких значений подходят термопары ТП-0395/2 с НСХ ПР(В). Необходимо 6 термопар.

Таблица 7 – Номинальная статическая характеристика (НСХ) и класс допуска термопар

НСХ	Диапазон измерений, °С	Класс допуска	Кол-во рабочих спаев
ХА (К)	0...+1250	1	1
НН (N)		2	2
ПП (R)	0...+1600	2	
ПП (S)			
ПР (В)	+600...+1800	2	
		3	
Показатель тепловой инерции, с			
40			
Длина монтажной части L, мм			
320, 400, 500, 600, 740, 1000, 1190			

2.3.2 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства используется контроллер. В данной работе рассматривались 3 контроллера от различных производителей, таких как: «ОВЕН»; «ВЭСТ»; «Siemens». Для реализации задачи необходимо 10 аналоговых входов для регистрации температуры и расхода топлива. Также необходимо учитывать стоимость контроллера. Проведем сравнение характеристик контроллеров этих производителей. Для начала рассмотрим ПЛК фирмы «Siemens», стоимость которого составляет 59000 рублей. Применяется для решения задач автоматизации среднего уровня. Исполнение контроллера блочно-модульное. Технические характеристики S7-200 приведены в таблице 8 [61].

Компания «ВЭСТ» разработала контроллер ВЭСТ-02 для автоматизации процессов в тепловой промышленности. Имеет бесплатное программное обеспечение АКИАР. Цена ПЛК составляет 15000 рублей. Рассмотрим технические характеристики в таблице 9 [62].

Таблица 8 – Технические характеристики контроллера S7-200

Центральные процессоры	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
1	2		3	4	5
Объем памяти программ (EEPROM), КБ (вкл/выкл редактирование в режиме RUN)	4		8 / 12	12 / 16	16 / 24
Объем памяти данных, КБ	2		8	10	
Время выполнения инструкций	0,2 мкс				
Арифметика с плавающей запятой	Поддерживается				
ПИД-регулирование	Поддерживается				
Скоростной счет, кГц	4x30	6x30		4x30 +2x200	6x30
Импульсные выходы, кГц	2x20			2x100	2x20
	только в моделях с транзисторными выходными каскадами				
Количество таймеров / счетчиков / флагов	256/256/256				
Часы	Оptionальный картридж		Встроенные		
Кол-во встроенных портов RS 485	1		2		
Кол-во встроенных входов-выходов	6 DI + 4 DO	8 DI + 6 DO	14 DI + 10 DO	14 DI + 10 DO 2 AI + 1 AO	24 DI + 16 DO
Кол-во модулей расширения, не более	–	2	7		
Макс. кол-во входов-выходов системы	6 DI + 4 DO	40 DI + 38 DO; 8(0)AI + 2(4)AO	94 DI + 74 DO; 28(0)AI+7(14)AO	94 DI + 74 DO; 30(2)AI + 8(15)AO	128 DI + 120 DO; 28(0)AI + 7(14)AO
Выходной ток встроенного блока питания	180 мА		280 мА		400 мА

Компания «ВЭСТ» разработала контроллер ВЭСТ-02 для автоматизации процессов в тепловой промышленности. Имеет бесплатное программное обеспечение АКИАР. Цена ПЛК составляет 15000 рублей. Рассмотрим технические характеристики в таблице 9 [62].

Таблица 9 – Технические характеристики контроллера ВЭСТ-02

Напряжение питания	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	3 ВА
Диапазон контроля температур	-50...+150 °С
Аналоговых входов	8 шт.
Цифровых входов	5 шт.
Симисторных выходов	6 шт.
Аналоговых выходов 0...10 В	2 шт.
Аналоговых выходов с ШИМ	2 шт.
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс связи	RS – 232, RS – 485
Средняя наработка на отказ	50000 ч
Средний срок службы	10 лет
Масса прибора	350 г

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 10 приведена характеристика контроллера [63].

Таблица 10 – Технические характеристики ОВЕН ПЛК63

Наименование контроллера	ОВЕН 63	ВЭСТ-02	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	3	12
Параметры встроенного вторичного источника питания, выходное напряжение, В	24±3	–	24±3
Цифровые (дискретные) входы			
Количество входов	8	8	6
Аналоговые входы			
Количество аналоговых входов	8	5	6
Разрядность АЦП, бит	15	15	
Среда программирования	Xcos	Xcos	Step7
Цена, руб.	12514	13990	13372

Контроллер фирмы «ОВЕН» подходит для реализации поставленной задачи, так как за наименьшую стоимость имеет необходимые характеристики. Для реализации автоматизированной системы управления расхода ОВУТ, необходимо 10 аналоговых входов в контроллер. Выбранный ПЛК имеет 8 аналоговых входов. Для увеличения количества входов установим модуль аналоговых сигналов фирмы «ОВЕН» МВ110-8А. Технические характеристики представлены в таблице 11 [63].

Таблица 11 – Технические характеристики модуля MB110-8A

Наименование	Значение
Напряжение питания:	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	6 ВА
Количество аналоговых входов	8
Предел основной приведенной погрешности при измерении: термоэлектрическими преобразователями, термометрами сопротивления и унифицированными сигналами постоянного напряжения и тока	$\pm 0,5$ % $\pm 0,25$ %
Электрическая прочность изоляции цепей	1500 В
Интерфейс связи с компьютером	RS-485
Максимальная скорость обмена по интерфейсу RS-485	115200 бит/сек
Протокол связи, используемый для передачи информации	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Степень защиты корпуса	IP20 со стороны передней панели, IP00 со стороны клеммной колодки
Габаритные размеры прибора, мм, не более	63x110x73
Масса прибора, кг, не более	0,5
Средний срок службы, лет	10
Средняя наработка на отказ	50 000 ч

Для подключения к контроллеру модуля ввода аналоговых сигналов используется интерфейс RS-485. Цена MB110-8A составляет 5664 руб. Модуль MB110-8A питается от постоянного напряжения 24 В. Выбран блок питания БП30Б-ДЗ-24, цена которого составляет 2006 рублей.

2.3.3 Выбор технических средств измерения расхода топлива

Для измерения количества сжигаемого топлива в топке котла необходимо установить расходомер в магистрали подачи ОВУТ. Датчики расхода работают по разному принципу и имеют разные характеристики. В данном проекте рассмотрим 3 расходомера, работающих по разному принципу:

- электромагнитный расходомер фирмы «Endress+Hauser» типа Promag 53P;

- кориолисовый расходомер фирмы «Endress+Hauser» типа Proline Promass 80F;

- ультразвуковой расходомер фирмы «Эй-Си Электроник» типа US800.

Технические характеристики электромагнитного расходомера типа Promag 53P представлены в таблице 12 [64].

Таблица 12 – Технические характеристики электромагнитного расходомера типа Promag 53P

Наименование	Значение
Токовый выход	0-20 или 4-20 мА
Импульсный частотный выход	верхнее значение частоты 2...1000 Гц,
Интерфейс	RS-485, MODBUS
Питание	220 В АС или 24 В DC
Потребляемая мощность	15 Вт
Нормальные рабочие условия	температура среды: +80 °С
Погрешность измерения	±0,5 %
Измерение расхода	до 9600 м ³ /ч

Технические характеристики кориолисового расходомера типа Proline Promass 80F представлены в таблице 13 [64].

Таблица 13 - Технические характеристики расходомера Proline типа Promass 80F

Наименование	Значение
Токовый выход	4-20 мА; импульсно-частотный
Питание	220 АС или 24 DC
Потребляемая мощность	15 Вт
Диапазон измерения	до 3200 т/ч
Погрешность измерения	По массе: ±0,35 %
Рабочая температура	минус 50 до плюс 350 °С
Рабочее давление	0–300 бар

Технические характеристики ультразвукового расходомера типа US-800 представлены в таблице 14 [65].

Таблица 14 – Технические характеристики ультразвукового расходомера фирмы «Эй-Си Электроник» типа US-800

Наименование	Значение
Токовый выход	4-20 мА
Интерфейс	RS-485
Питание	24 В
Потребляемая мощность	17 Вт
Рабочие условия	-40...+180 °С
Погрешность измерения	По массе:±1 %
Измерение расхода	до 6500 м ³ /ч

Проведя анализ технических характеристик преобразователей расхода делаем вывод о том, что расходомер фирмы Эй-Си Электроник типа US800 подходит для нашей системы по диапазону рабочих температур и классу точности. Цена данного расходомера составляет 42500 руб.

2.3.4 Выбор исполнительного механизма

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

Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 D_y - 338 = 6,89 \cdot 65 - 338 = 110 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где D_y – условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось 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-Р-99 [66]. Данный исполнительный механизм снабжен датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети переменного тока 220 В. Потребляемая мощность 240 Вт. Цена составляет 19000 рублей.

2.3.5 Выбор блока управления исполнительным механизмом

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.

Решения по выбору технических средств автоматизации приведены в заказной спецификации, представленной в таблице 15.

Таблица 15 – Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол		
1	2	3	4		
1а	Датчик температуры аналоговый, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0.5\%$. Выходной сигнал 4 ... 20 мА, Первый канал: шкала $-50 \dots +120$ °С, НСХ 50М, ПГ «Метран», г. Челябинск	ТСП-Метран-204	1		
2а	Датчик температуры аналоговый, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0.5\%$. Выходной сигнал 4 ... 20 мА, Первый канал: шкала $-50 \dots +180$ °С, НСХ 50М, ПГ «Метран», г. Челябинск	ТСП-Метран-243	1		
3а ... 8а	Датчик температуры аналоговый, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0.5\%$. Выходной сигнал 4 ... 20 мА, Первый канал: шкала 600 ... 1800 °С, НСХ ПР(В), ПГ «Метран», г. Челябинск	ТПР-Метран0395/2	6		
9а	Расходомер ультразвуковой, верхний предел измерения до 6.5 т/ч, класс точности 1.5 «Эй-Си Электроник», г. Чебоксары	US-800	1		
10а	Контроллер программируемый, логический, микропроцессорный, количество входов – 8 аналоговых и 8 дискретных, количество выходов – 6 (1 – з/м реле, 4 А, 220 В; 5 – ЦАП, 0...10 В). ОАО «ОВЕН», г. Москва	ОВЕН ПЛК63	1		
10б	Блок управления электродвигателем реверсивный, входной сигнал управления 24 ± 6 В, климатическое исполнение УХЛ 4.2. ЗАО «Волмаг», г. Чебоксары.	БУЭР1-30-02	1		
10в	Механизм электроисполнительный однооборотный. в составе с реостатным блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 2015. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭО-250/25-0,25-Р-99	1		
ФЮРА.421000.024 С01					
Исполнил	Шлегель Н.Е.	Спецификация приборов и средств автоматизации	Стад	Лист	Листов
Проверил	Вершинина К..Ю.		ТРП	1	1
			ТПУ	ЭНИН	
			Группа	553В	

3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего уровня и полевого

Автоматизированная система управления топливоподачи ОВУТ в котел, строится по трехуровневому принципу:

- верхний уровень;
- средний уровень;
- нижний уровень.

Основные функции автоматизированной системы управления являются: сбор, обработка, хранение данных, а также предоставление отчетности. Такая система должна работать непрерывно, 24 часа в день и 7 дней в неделю.

АСУ должна быть организована по трехуровневому принципу, с минимизацией участия диспетчеров в технологическом процессе. Также оборудование системы регулирования должно иметь возможность архивации данных о состоянии технологического процесса.

Структурная схема автоматизированной системы управления расходом органоводоугольной композиции представлена на рисунке 3.1.

Верхний уровень САУ является автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ). Оборудование АРМ-оператора предназначено для оперативного отражения состояний технологических объектов и оборудования комплекса на экране компьютера, а также предоставляет возможность дистанционного управления оборудованием и задания технологических уставок. В составе оборудования может поставляться промышленный компьютер, стойка сервера, источник бесперебойного питания и периферийное оборудование.

Нижний уровень представляет собой совокупность первичных средств измерения температуры и расхода, необходимого для контроля всех технологических параметров топливоподачи. Используются шесть датчиков температур непосредственно в топке котла, а также два датчика температуры на прямой и обратной сети. Установлен расходомер на магистрали топливо подачи.

Средний уровень используется для взаимосвязи нижнего уровня с верхним, выполнен с помощью щита автоматизации. Сигналы с нижнего уровня поступают в щит и далее передаются на верхний уровень управления, сигналы воздействия уже поступаю с АРМ.

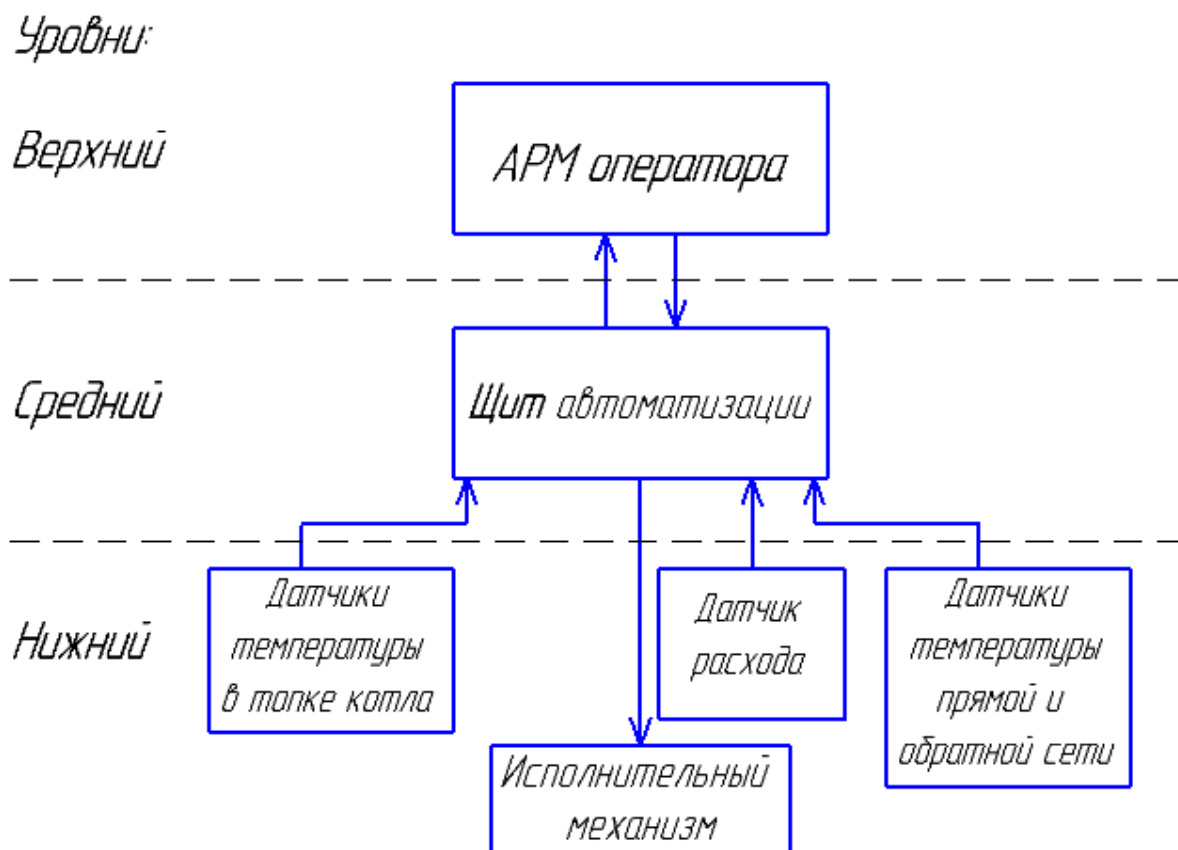


Рисунок 3.1 – Структурная схема автоматизированной системы регулирования расхода топлива в виде органоводоугольных суспензий

4 Разработка щита управления САУ топливоподачи

4.1 Проектирование принципиальной схемы САУ топливоподачи

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. 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 запроецированной 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 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 принципиальная АСУ расхода ОВУТ, которая приведена на первом листе с шифром ФЮРА.421000.024 ЭЗ.

Чтение принципиальных электрических схем и особенно эксплуатация электрических установок значительно упрощается, если при разработке схем производить обозначение цепей по функциональному признаку в зависимости от их назначения. Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева направо. В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 - 100, для цепей питания 101 - 200.

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

Термопреобразователи сопротивления В2 и В3, термопары В3 – В5, а также ультразвуковой расходомер В1 преобразуют измеряемые величины в унифицированные токовые сигналы 4 – 20 мА, которые поступают на соответствующие входы контроллера А2, подключения средств измерения осуществлено в соответствии с требованием производителя [68]. Для увеличения входных аналоговых сигналов установлен модуль (А2.1) МВ110–8А фирмы «ОВЕН» [69]. На модуль А2.1 поступают унифицированные сигналы с термопар В6 – В9. Связь контроллера А2 с блоком А2.1 происходит с помощью интерфейса RS-485 [68,69], также установлены два шунтирующих резисторов R3 и R4, имеющие сопротивление 100 Ом. Подключение ТПС В2 и В3, а также расходомера В1 [70], производится с помощью прецизионных R3-R11, сопротивление которых 500 Ом [71].

Контроллер А2 обрабатывает информацию, полученную с датчиков В1 – В9. На основе программно заданных алгоритмов формируется управляющий сигнал, который передается на блок управления А1 посредством цифрового интерфейса RS-485. Причем, для согласования линии используют терминальный (концевой) резистор R1. Для систем промышленной автоматики сопротивление согласующего резистора выбирается равным 120 Ом, мощность – 0,25 Вт [71]. Резистор ставят на конце или в начале линии.

В соответствии с сигналами управления силовые ключи блока управления А1 коммутируют цепи нагрузки обмотки электродвигателя исполнительного механизма М1, обеспечивая его вращение в соответствующем направлении.

Сигнал обратной связи о положении регулирующего органа микроконтроллер А2 получает с исполнительного механизма, который подключен непосредственно к контроллеру А2 по трехпроводной схеме [72].

4.2 Проектирование монтажной схемы САУ топливоподачи

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 не большая, монтажные схемы внешних электрических проводок и щита управления выполнены на одном листе с шифром ФЮРА.421000.024 Э4.

Монтажная документация, разрабатываемая в процессе проектирования систем автоматизированного управления, включает в себя:

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

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

- 1) на конструкции;
- 2) за пределами конструкций.

Для разработки монтажной документации используются следующие материалы:

- 1) функциональная схема;
- 2) принципиальная электрическая схема;
- 3) техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации и других средств:
 - техническое описание;
 - инструкция по эксплуатации.
- 4) общие виды щитовых и других конструкций.

В данном проекте необходимо разработать монтажную схему автоматизированной системы управления расхода ОВУТ, для этого нужно выполнить следующие этапы:

- 1) нанести на монтажную схему технические средства автоматизации, в соответствии с принятыми обозначениями;
- 2) выбрать проводки для соединения технических средств;
- 3) произвести нумерацию проводников в соответствии с электрической схемой;
- 4) выполнить подключения средств измерения и управления в шкаф автоматизации.

На схеме вверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, устанавливаемых непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

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.

Щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в верхней части чертежа. В прямоугольнике показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним жилы кабелей и провода с соответствующей маркировкой.

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

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 алюминиевыми жилами типа АКРВБГ сечением 2,5 мм² с броней из двух стальных оцинкованных лент.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 16 [73].

Таблица 16 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки САУ

№ линии	Марка	Кол-во жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
17, 12	АКРВБГ	4	2,5	15,51
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15,	КРВГ	4	1	10,54
5	КРВГ	10	1	23,7
11	КРВГ	12	1	25,65
16	КИПЭВ	2	0,6	9,2

Для защиты кабелей, которые необходимо протянуть на большие расстояния, применяем защитные трубы. В качестве защиты кабелей

выбираем стальные электросварные тонкостенные трубы по ГОСТ 10704-91, которые следует применять в сухих и влажных помещениях, а также при открытой и скрытой прокладке в жарких, пыльных пожароопасных помещениях. Для кабелей линий питания защитные трубы не выбираются, так как кабели изначально бронированные.

Для определения диаметра защитных труб использовался номографический метод, описанный в [58].

Тогда для кабелей КРВГ 4х1, диаметром 10,54 мм, выбираем защитную трубу диаметром $D = 20$ мм с толщиной стенки $\delta = 1$ мм.

Для кабеля КРВГ 10х1, диаметром 23,7 мм, выбираем защитную трубу диаметром $D = 25$ мм с толщиной стенки $\delta = 1,2$ мм.

Для кабеля КРВГ 12х1, 25,65 мм, выбираем защитную трубу диаметром $D = 30$ мм с толщиной стенки $\delta = 1,4$ мм.

Трубные проводки, связывающие объект с датчиками, выберем исходя из параметров среды. Выбираем бесшовные трубы из нержавеющей стали диаметром $D = 14$ мм с толщиной стенки $\delta = 2$ мм.

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

Схема монтажная внешних электрических проводок, представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.024 С4.

Контроллер 4в изображен условно сплошной линией в виде упрощенного контура с теми клеммами, которые используются. В щите автоматизации установлен клеммная сборка зажимов ХТ5, в который входят проводки, передающие унифицированный сигнал от:

- 1) термопреобразователей сопротивления;
- 2) шести термопар, установленных в топке котла;
- 3) расходомера, установленного на магистрали подачи ОВУТ в котлоагрегат.

Все вышеперечисленные технические средства подключаются сначала к соединительным коробкам КСК-14 и КСК-12 с помощью кабелей КРВГ 4×1, а далее собираются в единые кабели КРВБГ 12×1 и КРВБГ 10×1 соответственно, которые уже подключаются в щит автоматизации.

Также в щите расположены клеммный блок питания 220 В ХТ3, и клеммный блок ХТ4 перед модулем входа аналоговых сигналов 4б, в который поступают сигналы с термопар. Питание модуля аналоговых сигналов осуществляется с помощью блока питания БП30Б-ДЗ-24, который расположен в щите автоматизации.

Для связи контроллера с блоком управления используются кабели симметричной парной скрутки, использующиеся для связи по интерфейсу RS-485, КИПЭВ 1х2х0,6 в общем экране из алюмолавансановой ленты с контактным проводником. Кабель соответствует строгим требованиям пожарной безопасности, не поддерживает горение при условии одиночной прокладки.

4.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСУ

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линий связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

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.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим

для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования щит шкафной, односекционный с задней дверью (ЩШ-ЗД) исполнения 2.

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 с задней дверью одиночный, шириной 600 мм и глубиной 600 мм – ЩШ-ЗД-II-600×600. Фасадная сторона щитов (шкафных и панельных с каркасом) разбита на два (исполнение 1) или на три (исполнение 2) функциональных поля. Разбивка выполнена на основе рационального распределения приборов, органов управления и сигнальной арматуры. При проектировании щитов систем автоматизации технологических процессов рекомендуется в первую очередь применять щиты исполнения 2. Фасадные панели этого исполнения наиболее технологичны в изготовлении благодаря минимальным размерам и применению автоматизированного процесса пробивки отверстий в них.

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

Блок контроллера 4 рассчитан на утопленный монтаж на вертикальной панели щита управления. Все остальные блоки, входящие в состав контроллера, рассчитаны на навесной монтаж.

В нижней части панели щита расположены сборки зажимов ХТ1, ХТ2, на левой стенке – ХТ3.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.024 ВО.

5 Расчет параметров настройки регулятора

5.1 Идентификация объекта управления

Идентификация предназначена для получения математических моделей объекта управления. Существует активная и пассивная, в инженерной практике применяют активную идентификацию (на объект подается специализированное входное воздействие и по реакции объекта при обработке результатов получают математическую модель).

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в топке котла НР-18. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. Кривая разгона приведена на рисунке 5.1.

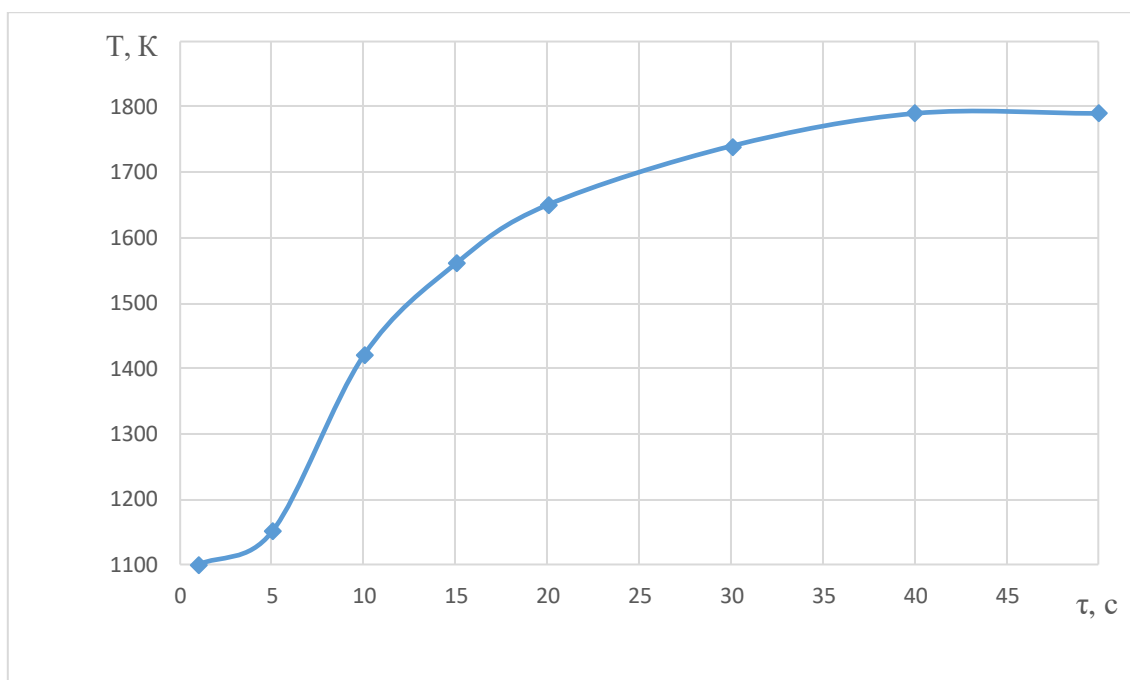


Рисунок 5.1 – Кривая разгона объекта управления, где τ – время,
 T – температура

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

Передаточная функция для кривой представляет собой аperiодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (5.1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения 5.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (5.2)$$

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:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1-h_A)}, \quad (5.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1-h_A) - t_A \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}, \quad (5.4)$$

где t_A и t_B – значение времени при соответствующих точках на кривой;

h_A и h_B – значение ординат при точках A и B .

Определяем расположение на кривой точек A и B и находим необходимые неизвестные параметры.

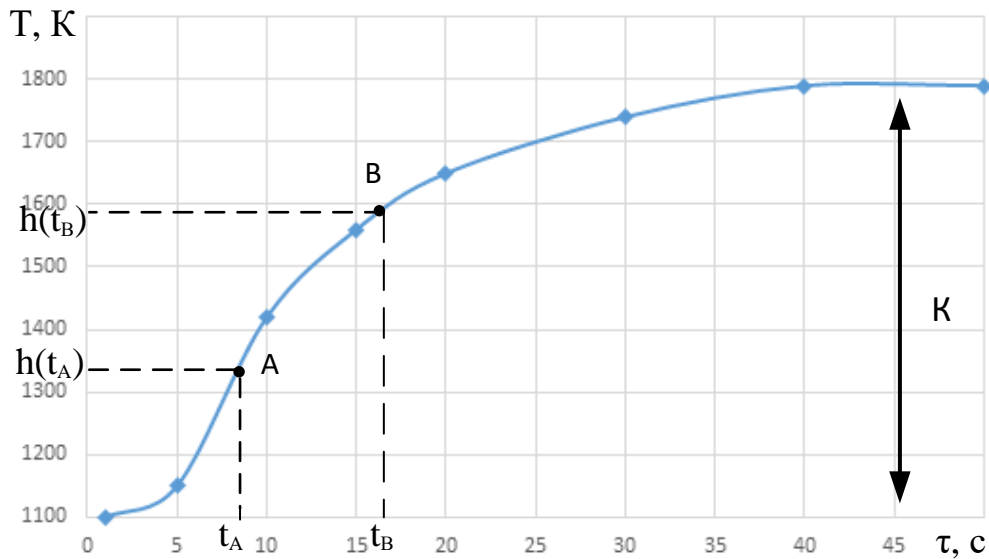


Рисунок 5.2 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора где τ – время, T – температура

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 :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (5.5)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (5.6)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 8 - 17) = 3,4 \text{ с}, \quad (5.7)$$

$$T = 1,25(17 - 8) = 11,25 \text{ с}. \quad (5.8)$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{700}{(11,25P+1)} e^{-3,4P}. \quad (5.9)$$

5.1 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 5.3 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

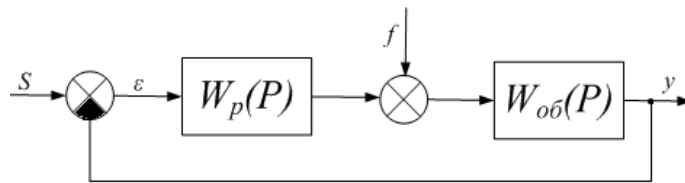


Рисунок 5.3 – Структурна схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной $\psi=0,75$.

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - 0,9) = 0,366. \quad (5.10)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{700}{(11,25P+1)} e^{-3,4P}. \quad (5.11)$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 17 в виде листинга расчета. Полученные значения представлены для диапазона частот от 0,0001 до 0,054 с^{-1} , с шагом по частоте в 0,02 с^{-1} .

Таблица 17- Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0.0001	1800.57985	-2.63835	1801
0.02	1787.29127	-553.8377	1871
0.0399	1523.14565	-1037.4691	1843
0.0598	1116.10341	-1328.54783	1735
0.0797	703.44485	-1424.5612	1589
0.0996	359.31742	-1391.67297	1437
0.1195	97.84364	-1294.30037	1298
0.1394	-93.05717	-1172.80162	1176
0.1593	-230.5367	-1047.76598	1073
0.1792	-329.29816	-928.30095	984.977
0.1991	-400.26581	-817.74153	910.447
0.219	-451.14904	-716.75727	846.922
0.2389	-487.30485	-624.88912	792.434
0.2588	-512.45904	-541.272	745.379
0.2787	-529.22567	-464.95964	704.462

Продолжение таблицы 17

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{06}(m, \omega)$	$\text{Im}_{06}(m, \omega)$	$A_{06}(m, \omega)$
0.2986	-539.46217	-395.06099	668.65
0.3185	-544.50757	-330.78921	637.111
0.3384	-545.34225	-271.4715	609.176
0.3583	-542.69563	-216.54234	584.302
0.3782	-537.11945	-165.53092	562.048
0.3981	-529.03827	-118.04725	542.049
0.418	-518.78471	-73.76926	524.003
0.4379	-506.62428	-32.43131	507.661
0.4578	-492.77314	6.18557	492.812
0.4777	-477.41094	42.26177	479.278
0.4976	-460.69019	75.94598	466.908
0.5175	-442.74315	107.36076	455.574
0.5374	-423.68697	136.60723	1.801

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)}, \quad (5.12)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega) + \text{Re}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)}, \quad (5.13)$$

где T_u – постоянная интегрирования регулятора,

K_p – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0 до 0,054 с^{-1} , с шагом по частоте в 0,02 с^{-1} . Полученные значения представлены в таблице 18 в виде листинга расчета.

Таблица 18 – Значение параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0.0001	-0.00055	0.000000009
0.02	-0.00043	0.00000353
0.0399	-0.0003	0.00001334
0.0598	-0.00016	0.00002836
0.0797	-0.00012	0.00004746

Продолжение таблицы 18

ω, c^{-1}	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0.0996	0.00013	0.00006945
0.1195	0.00028	0.00009315
0.1394	0.00043	0.00011738
0.1593	0.00057	0.000141
0.1792	0.00071	0.00016288
0.1991	0.00084	0.00018199
0.219	0.00097	0.00019733
0.2389	0.00108	0.000208
0.2588	0.00119	0.00021322
0.2787	0.00128	0.00021226
0.2986	0.00136	0.00020455
0.3185	0.00143	0.0001896
0.3384	0.00149	0.00016706
0.3583	0.00153	0.0001367
0.3782	0.00156	0.00009839
0.3981	0.00157	0.00005214
0.418	0.00157	-0.00000191
0.4379	0.00156	-0.00006353
0.4578	0.00153	-0.00013238
0.4777	0.00149	-0.00020798
0.4976	0.00144	-0.00028979
0.5175	0.00137	-0.00037717
0.5374	0.0013	-0.00046939

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 5.4. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,9. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

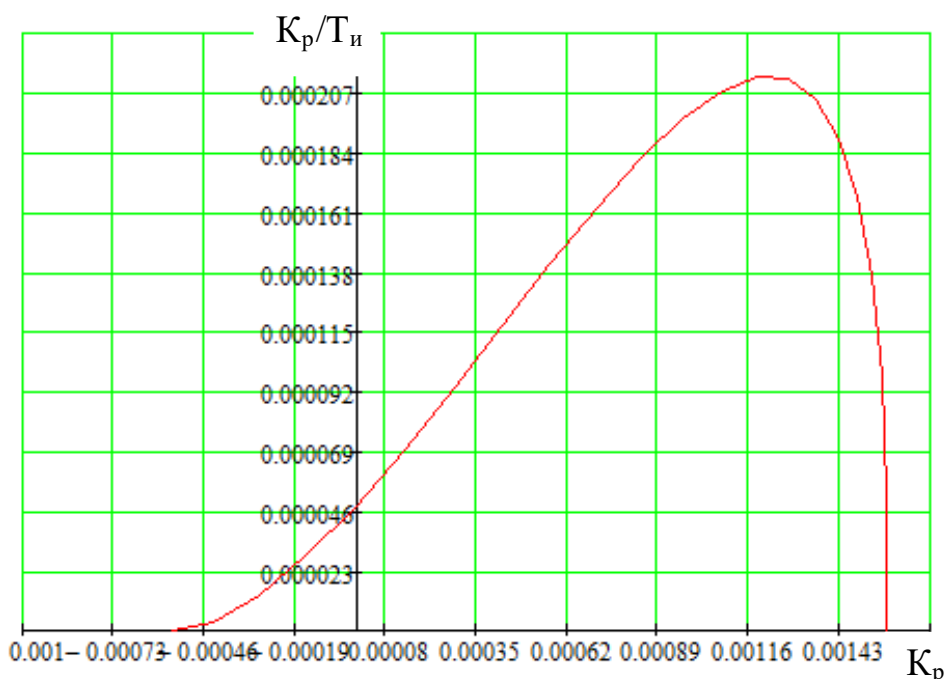


Рисунок 5.4 – Параметры настройки ПИ-регулятора

В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка. Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением отношения K_p/T_i на линии заданного запаса устойчивости.

Из таблицы 18 определяем:

$$\max \left(\frac{K_p}{T_u} \right) = 0,0002122, \quad K_p = 0,00119, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,2588 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 5,6 \text{ с.} \quad (5.14)$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (5.15)$$

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 5.5 представлен график вещественной частотной характеристики.

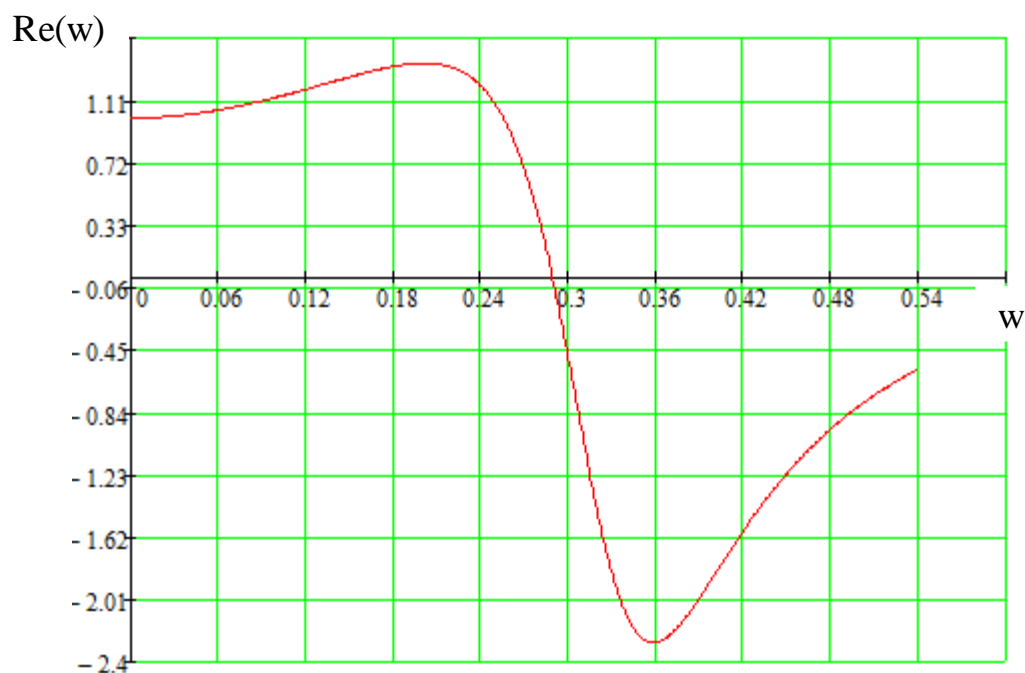


Рисунок 5.5 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (5.16)$$

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:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,29} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (5.17)$$

На рисунке 5.6 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.

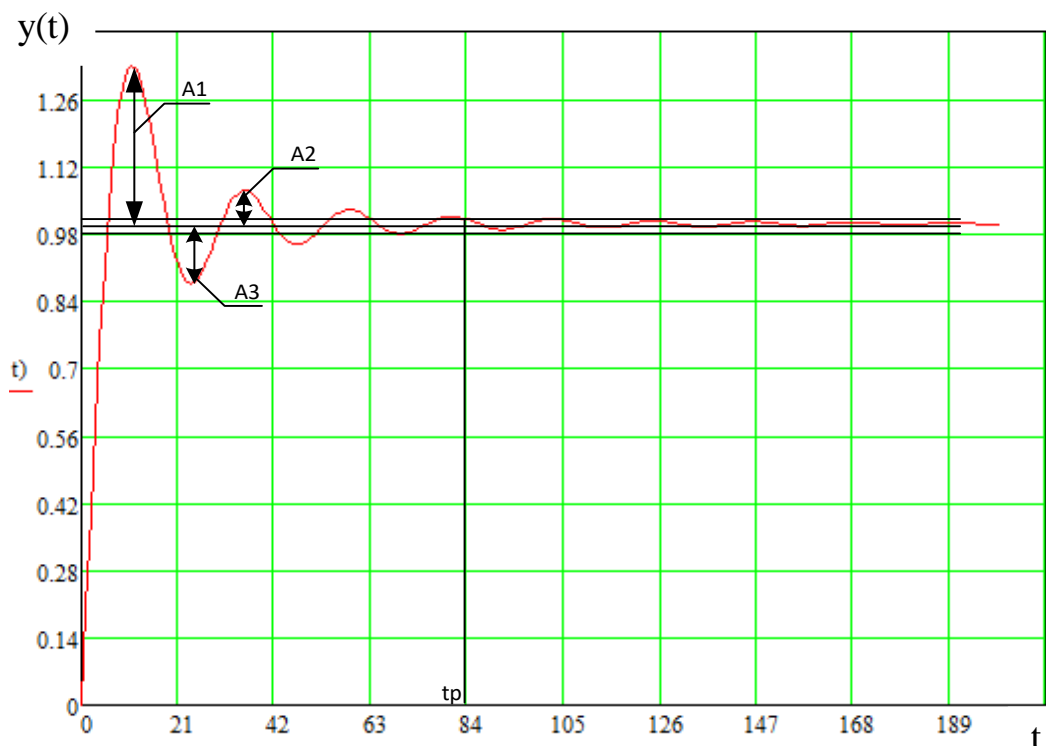


Рисунок 5.6 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

а) максимальная динамическая ошибка: $A_1=0,33$;

б) перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100\% = \frac{0,09}{0,33} \cdot 100\% = 27,3\%$,

где $A_3 = 0,09$ – первое минимальное отклонение регулируемой величины;

в) динамический коэффициент регулирования R_d :

$$R_d = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100\% = \frac{0,33 + 1}{700} \cdot 100\% = 0,19\%$$

где $K_{об} = 700$ – коэффициент передачи объекта;

г) степень затухания переходного процесса: $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,07}{0,33} = 0,79$,

где $A_2 = 0,07$ - второй максимальный выброс регулируемой величины;

д) статическая ошибка: $\varepsilon_{CT} = y(\infty) = 0$;

е) время регулирования: $t_p = 84$ с.

6 Мнемосхема проекта

Мнемосхема представляет собой графическое изображение функциональной схемы управляемого или контролируемого объекта. Таким образом, 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) мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом;
- 2) отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;
- 3) форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствии с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема процесса сжигания ОВУТ в водогрейном котле НР-18, которая приведена на рисунке 6.1.

На данной схеме условно показана топка котла, в которой установлены 6 датчиков температуры, измеряющие распределения температуры. Температура изменяется в зависимости от изменения расхода ОВУТ, который является управляемым с операторной. По расходу ОВУТ соответственно изменяется расход воздуха необходимого для стабильного процесса горения. В случае нехватки воздуха или ОВУТ, в правом нижнем угле мнемосхемы появляется ошибка, которую можно наблюдать на рисунках 6.2 и 6.3.

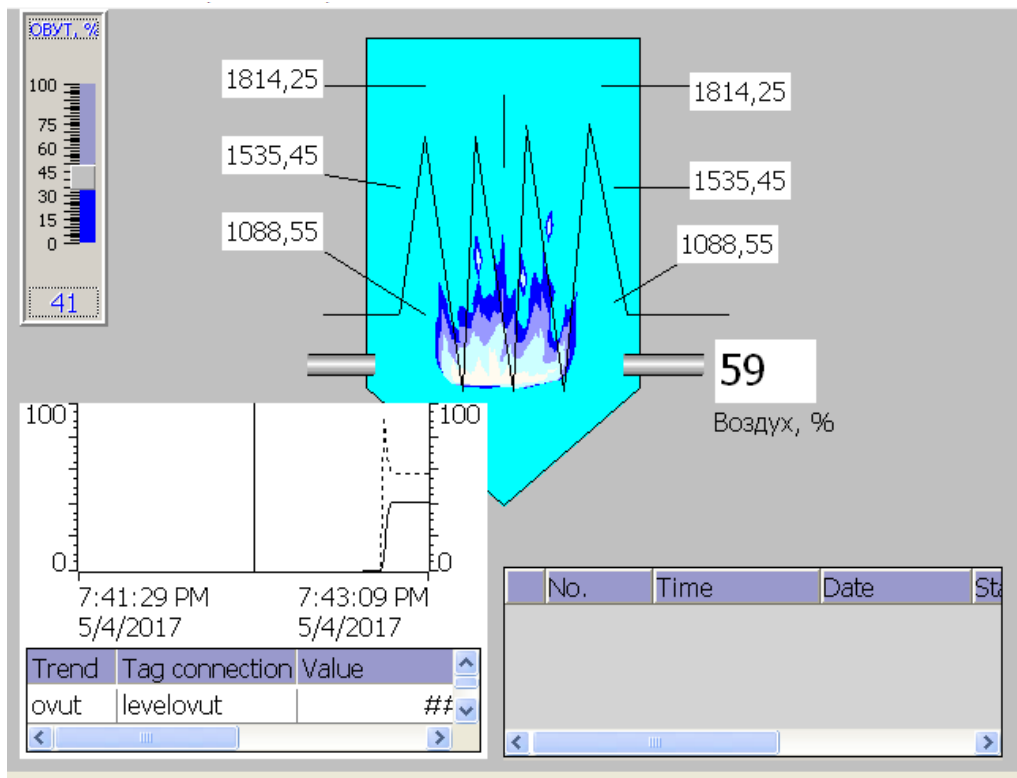


Рисунок 6.1 – Мнемосхема процесса сжигания ОВУТ при содержании воздуха в смеси 59 %

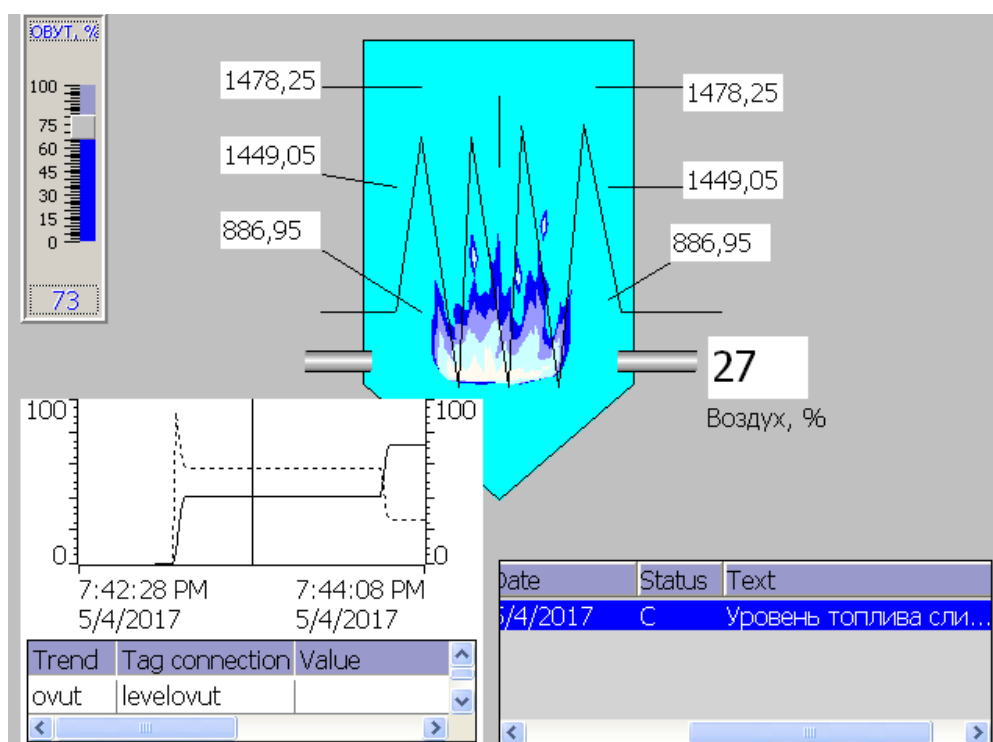


Рисунок 6.2 – Мнемосхема процесса сжигания ОВУТ при содержании воздуха в смеси 27 %

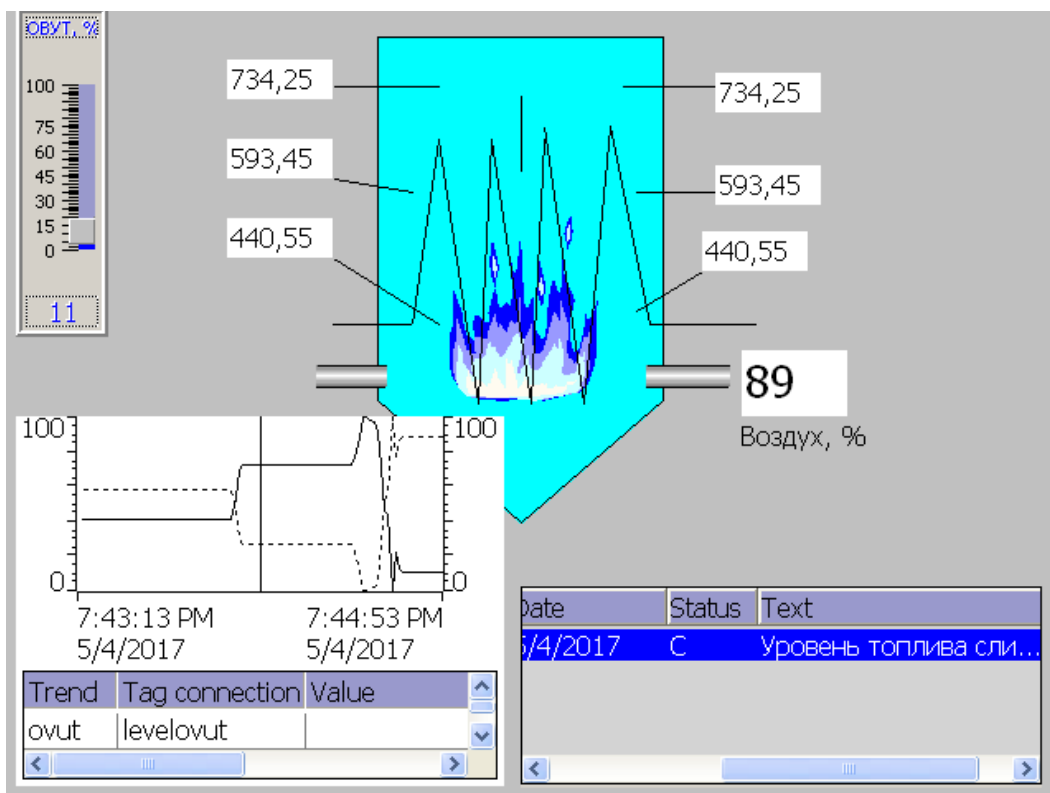


Рисунок 6.3 – Мнемосхема процесса сжигания ОВУТ при содержании воздуха в смеси 89 %

Как видно из схемы при недостаточном количестве ОВУТ 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 мнемосхему выводится изменение расхода органоводоугольного топлива в зависимости от времени.

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БЗВ	Шлегель Никита Евгеньевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТП
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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	Цена 1 кг бурого угля составляет 2,6 руб. Цена 1 кг ОБУТ составляет 1,5 руб.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисление в социальные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.17
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший Преподаватель кафедры менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Шлегель Никита Евгеньевич		

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания данного раздела является расчет экономической эффективности разработки автоматизированной системы технического и коммерческого учета потребляемой электроэнергии распределенным объектом.

Для выполнения данной задачи необходимо:

- 1) составить перечень работ и оценить время их выполнения;
- 2) составить смету затрат на проект;
- 3) составить смету затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта;
- 4) определить экономическую эффективность проекта.

7.1 Планирование работ и оценка времени выполнения

В таблице 19 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 19 – Перечень работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
Получение задания	Инженер	1
Обзор мировых работ, связанных с органоводоугольным топливом	Инженер	5
Проведение экспериментальных исследований, направленных на изучение выбросов при горении ОВУТ	Инженер	30
Анализ результатов исследования	Инженер	3
Разработка функциональной и структурной схем, подбор оборудования	Инженер	10
Разработка щита управления САУ	Инженер	10

Продолжение таблицы 19

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дни
Разработка схемы взаимодействия уровней управления	Инженер	1
Проектирование мнемосхемы	Инженер	8
Написание раздела «Социальная ответственность»	Инженер	6
Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер	6
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	7
Консультация	Научный руководитель	8
итого	Инженер	87
	Научный руководитель	8

По данным таблицы 19 построен график проведения работ, представленный на рисунке 19.

Диаграмма Гантта – это популярный тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту. Является одним из методов планирования проектов. Используется в приложениях по управлению проектами.

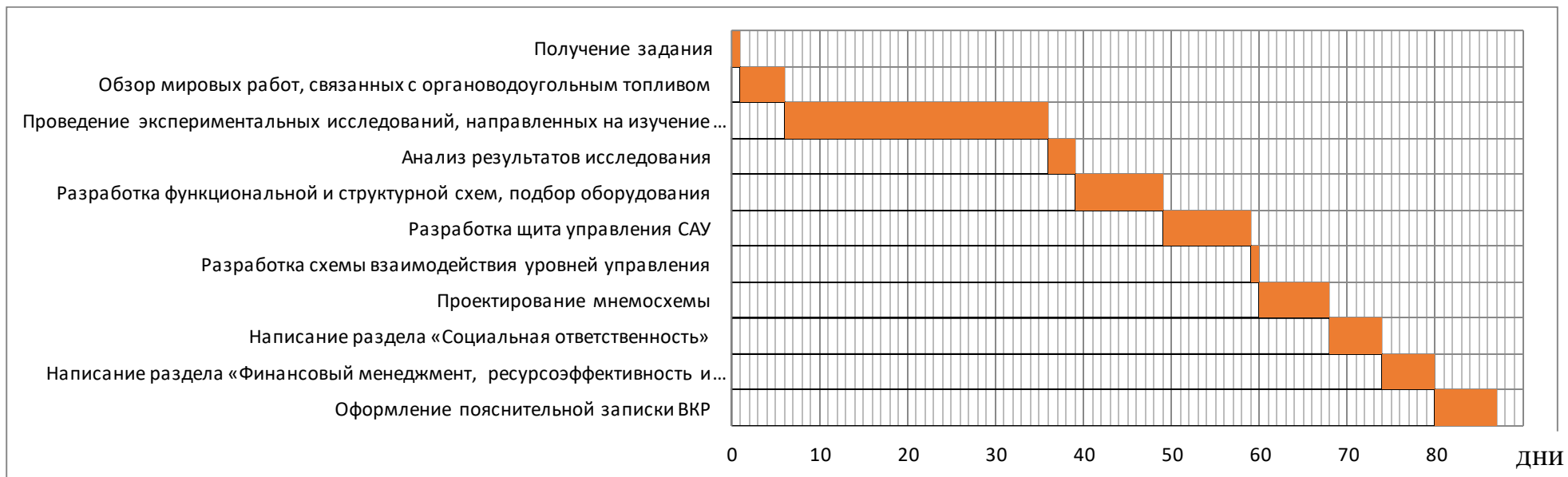


Рисунок 7.1 – График проведения проекта

7.2 Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (7.1)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

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

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

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

7.2.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем 1000 руб.

7.2.2 Затраты на амортизацию

Амортизацию оборудования в классическом понимании можно назвать постепенным переносом стоимости основной части финансов организации и ее активов нематериального значения по уровню их морального и физического износа на итоговую цену выпускаемых товаров.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (7.2)$$

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

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{87}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1397,26 \text{ руб./год.}$$

7.2.3 Затраты на заработную плату

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.

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \quad (7.3)$$

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

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

Месячный оклад:

$$ЗП_{инж}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}, \quad (7.4)$$

$$ЗП_{нр}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}, \quad (7.5)$$

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

$ЗП_{нр}^м$ - месячная заработная плата научного руководителя;

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

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

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

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (7.6)$$

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

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} - фактическое число дней в проекте.

Инженер:

$$ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{17000}{21} \cdot 87 = 70429 \text{ руб.}$$

Научный руководитель

$$ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{17000}{21} \cdot 8 = 6476 \text{ руб.},$$

$$K_{з/пл} = 70429 + 6476 = 76905 \text{ руб.}$$

7.2.4 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды – обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством государственного социального

страхования в Фонд социального страхования РФ, Пенсионный фонд РФ, фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Плательщиками страховых взносов являются:

- 1) организации;
- 2) индивидуальные предприниматели;
- 3) физические лица.

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

$$K_{\text{соц/н}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3, \quad (7.7)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 76905 \cdot 0,3 = 23072 \text{ руб.}$$

7.2.5 Прочие затраты

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

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1, \quad (7.8)$$

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1397,26 + 76905 + 23072) \cdot 0,1 = 11427,4 \text{ руб.}$$

7.2.6 Накладные расходы

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

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

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \quad (7.9)$$

$$K_{\text{накл}} = 76905 \cdot 2 = 286274 \text{ руб.}$$

В таблице 20 представлена смета затрат на проект.

Таблица 20 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1397,26
Затраты на заработную плату	76905
Затраты на социальные нужды	23072
Прочие затраты	11427,4
Накладные расходы	153810
Итого:	267611,66

7.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 21 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 21 – Затраты на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК ОВЕН 63	13000	1
Модуль аналоговых входов МВ110-8А	5664	1
Блок питания	2006	1
Датчики температуры (ТПС)	1000	2
Датчики температуры (ТЕП)	6000	6
Расходомер	42500	1
Исполнительный механизм	19000	1
Блок управления	20000	1
Провод ПВС 1x1,0	80	1
Провод ПВС 3x1,5	250	1
Провод КРВГ 4x1	1580	1
Провод КРВГ 10x1	2600	1
Провод АКРВБГ 4x2.5	3500	1
Компьютер	25000	1
Итого	173180	20

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

$$I_{\text{монт}} = 0,2 \cdot I_{\text{обор}}, \quad (7.10)$$

где $I_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование.

$$I_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 173180 = 34636 \text{ руб.}$$

7.4 Определение экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{\text{до}} - I_{\text{после}}, \quad (7.11)$$

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

$I_{\text{после}}$ – издержки производства тепловой энергии, при использовании ОВУТ.

$$I_{\text{до}} = V \cdot Ц, \quad (7.12)$$

$$I_{\text{после}} = V \cdot Ц \quad (7.13)$$

где V – расход топлива;

$Ц$ – цена топлива за кг.

Для районной котельной годовой расход твердого топлива составляет 2000 т. При переходе на ОВУТ расход составляет 2800 т. в год, увеличение расхода связано с меньшей теплотой сгорания ОВУТ. Цена одного килограмма бурого угля составляет 2,6 руб., а ОВУТ 1,5 руб.

$$I_{\text{до}} = 2000000 \cdot 2,6 = 5200000 \text{ рублей в год,}$$

$$I_{\text{после}} = 2800000 \cdot 1,5 = 4200000 \text{ рублей в год,}$$

$$\mathcal{E} = 5200000 - 4200000 = 1000000 \text{ рублей в год.}$$

В данном разделе был проведен расчет проекта по переводу котла НР-18 на ОВУТ. Для этого были решены следующие задачи:

- 1) составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения;
- 2) составлена смета затрат на проект;
- 3) составлена смета затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта;

4) определена экономическая эффективность проекта.

Не смотря на большие затраты для реализации данного проекта, такие как разработка проекта, монтаж и покупка технических средств, срок окупаемости очень мал. Использование такого проекта в районной котельной будет являться экономически эффективным, показатель экономической эффективности составил 1 000 000 рублей в год.