

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

---

Инженерная школа энергетики

НОЦ И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Автоматизированная система управления впрыском суспензионного топлива в топочную камеру сгорания

УДК 681.51:662.75:621.18.016

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Ткаченко Павел Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук	Василевский М.В.	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2018 г.

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата, указанными в ФГОС ВПО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Универсальные компетенции</i>
P1	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.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	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.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	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>
P7	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.
P8	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.
P9	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.
P10	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 на основе АСУТП; 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»**

---

Инженерная школа энергетики

НОЦ И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля

Стрижак П.А.

\_\_\_\_\_ (Подпись)

\_\_\_\_\_ (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Ткаченко Павлу Петровичу

Тема работы:

Автоматизированная система управления впрыском суспензионного топлива в топочную камеру сгорания.

Утверждена приказом директора (дата, номер)

571/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

Объектом автоматизации является система впрыска суспензионного топлива, в качестве которого применяется ВУТ и ОВУТ, в топочную камеру сгорания водогрейного котла КВа-1,0 мощностью 1 МВт (0,86 Гкал/час). Котел предназначен для теплоснабжения промышленных и гражданских зданий. Для определения эффективных параметров впрыска целесообразно проведение экспериментальных исследований на макете топочной камеры с использованием панорамных оптических методов диагностики потоков. При разработке автоматизированной системы управления впрыском суспензионного топлива необходимо предусмотреть использование современных отечественных серийно выпускаемых технических средств автоматизации.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Научно-исследовательская работа.</li> <li>2. Проектирование АСУ впрыска суспензионного топлива.</li> <li>3. Разработка щита управления АСУ впрыска суспензионного топлива.</li> <li>4. Расчет параметров настройки регулятора.</li> <li>5. Мнемосхема проекта.</li> <li>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>7. Социальная ответственность.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схемы структурная.</li> <li>2. Схема функциональная.</li> <li>3. Схема принципиальная электрическая щита управления.</li> <li>4. Схема монтажная.</li> <li>5. Общий вид щита управления.</li> </ol>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
<b>Финансовый менеджмент</b>	Кузьмина Наталия Геннадьевна, старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук
<b>Социальная ответственность</b>	Василевский Михаил Викторович, доцент Отделения контроля и диагностики

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2018
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Ткаченко Павел Петрович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 101 с., 17 рис., 15 табл., 55 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: котлоагрегат, органоводоугольное топливо, суспензионное топливо, композиционное жидкое топливо, система впрыска топлива, автоматизированная система управления, средства автоматизации, теплоэнергетика, проектирование, теплотехника.

Объектом автоматизации является система впрыска суспензионного топлива в топочную камеру сгорания котла КВа-1,0.

Цель работы – разработка АСУ ТП впрыска суспензионного топлива в топочную камеру сгорания котла КВа-1,0 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 ходе выполнения выпускной квалификационной работы были проведены экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, разработка конструкторской документации.

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

## Оглавление

Введение.....	10
1. Научно-исследовательская работа .....	16
1.1. Описание экспериментального стенда .....	17
1.2. Описание методики исследований.....	19
2. Анализ объекта автоматизации .....	23
2.1 Выбор структуры автоматической системы регулирования топливоподачи .....	27
2.2 Разработка функциональной схемы АСУ впрыском топлива.....	30
2.3 Выбор технических средств АСУ впрыском топлива .....	33
2.3.1 Выбор датчиков температуры .....	33
2.3.2 Выбор преобразователя давления .....	36
2.3.3 Выбор регулирующего устройства .....	38
2.3.4 Выбор технических средств измерения расхода топлива.....	42
2.3.5 Выбор исполнительного механизма .....	44
2.3.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом .....	45
3. Разработка щита управления САУ топливоподачи.....	47
3.1 Проектирование принципиальной схемы АСР расхода топлива.....	47
3.2 Проектирование монтажной схемы АСР расхода топлива .....	49
3.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР .....	52
4. Расчет параметров настройки регулятора .....	54
4.1 Идентификация объекта управления .....	54
4.2 Расчет параметров настройки регулятора .....	57
5. Мнемосхема проекта.....	64
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
6.1 Планирование работ и оценка времени выполнения .....	69
6.2 Смета затрат на проект .....	71
6.2.1 Материальные затраты .....	71
6.2.2 Затраты на амортизацию .....	71

6.2.3 Затраты на заработную плату .....	72
6.2.4 Затраты на социальные нужды .....	73
6.2.5 Прочие затраты.....	74
6.2.6 Накладные расходы .....	74
6.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	75
6.4 Определение экономической эффективности проекта .....	76
7.1 Производственная безопасность .....	80
7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	80
7.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве.....	82
7.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов .....	82
7.2 Экологическая безопасность.....	83
7.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду .....	84
7.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду	84
7.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	85
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	86
7.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	87
7.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве .....	87
7.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	88
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	89
7.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	89
7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	90
7.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность» .....	90
Заключение .....	92
Список использованных источников .....	94

Приложение А – Заказная спецификация средств автоматизации ..... 100

Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.012 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.012 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.012 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.012 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.012 ВО	Общий вид щита автоматизации
ФЮРА.421000.012 РИ	Результаты научно-исследовательской работы

## Введение

В течение последних лет отмечается рост добычи и потребления твердого топлива в мире. Большая часть добываемого угля в настоящее время обогащается. Например, в Кузбассе обогащается более 80% добываемого угля, а в среднем в мире обогащается до 70 % от объемов добычи. В результате этого ежегодно образуются высокозольные отходы, количество которых в настоящее время исчисляется миллионами тонн [1] (с ростом угледобычи и доли обогащения угля их объем будет только возрастать). В ближайшем будущем вопросы утилизации таких отходов могут стать общемировыми, так как территории, занимаемые ими при хранении, огромны. Также сжигание отходов углепереработки является экономически выгодным.

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. В последние годы мировым научным сообществом разработана группа технологий утилизации отходов переработки углей. В настоящее время известен ряд способов переработки горючих углесодержащих отходов с попутным производством тепловой энергии (пиролиз, газификация, непосредственное сжигание в составе смесевых топлив и т.п.). В [2–5] показано, что одним из наиболее эффективных путей является непосредственное сжигание отходов в виде водоугольного топлива (ВУТ). В то же время, отходы нефтепереработки также требуют внимания к вопросу их хранения и утилизации. В частности, можно выделить приготовление органоводоугольных топливных (ОВУТ) композиций, содержащих отходы углеобогащения и нефтепереработки, и их сжигание в энергетических установках [6–12]. Также большие объемы (миллионы тонн) формирующихся ежегодно отходов переработки углей сложно утилизировать при применении в строительстве, химических или нефтехимических производствах. Основным

направлением переработки таких веществ является их утилизация в качестве компонентов топливных суспензий и сжигании их в топочных камерах энергетических установок. Помимо вопросов утилизации высокозольных отходов углеобогащения современные ВУТ и ОВУТ позволяют решить ряд экономических и экологических задач вследствие улучшенных экологических характеристик по сравнению с традиционным твердым (уголь в пылевидном состоянии) и жидким (например, мазут) топливами.

Известны результаты широкомасштабных теоретических и экспериментальных исследований (например, [6–12]) процессов подготовки и сжигания водоугольных топливных композиций с использованием углей разной степени метаморфизма. Результаты исследований [6–12] дают понимание об основных закономерностях процессов зажигания и горения топливных композиций. Разработаны [8–14] экспериментальные методики, физические и математические модели, прогностические математические модели, методы и алгоритмы численного моделирования, получены зависимости интегральных характеристик от основных параметров процесса, сформулированы соответствующие выводы, заключения и рекомендации. Несмотря на увеличение интереса к этой теме, современные представления на основе исследований [8–14] довольно ограничены и не дают полного описания, с точки зрения понимания влияния компонентов водоугольных суспензий на характеристики процессов зажигания. Также, недостаточно полно исследованы смеси водоугольного топлива с различными органическими веществами, например, отработанными маслами и отходами нефтедобычи и нефтепереработки.

В различных странах (Китай, Германия, США, Япония, Индия, Россия и др.) можно наблюдать рост потребления углей различной степени метаморфизма. Большая доля угля, добываемого на данный момент, обогащается. К примеру, в ЮАР и Австралии обогащается весь уголь, а в целом в мире проходит обогащение до 80 % угля от объемов добычи. Вследствие этого каждый год образуется большое количество высокозольных отходов,

залежи которых составляют миллионы тонн, а с ростом темпов добычи угля и доли обогащаемого угля этот показатель будет только расти.

Объемы продуктов и отходов переработки нефти, отработанных горючих жидкостей (трансформаторных, турбинных, моторных, машинных масел), низкосортных нефтепродуктов также исчисляются миллионами тонн в год. Страны всего мира (Европа, Азия, Африка, Южная и Северная Америка) заинтересованы в их утилизации. Также особый интерес утилизация таких продуктов актуален для районов Кузбасса, где уже действуют котлы на ОБУТ в тестовом режиме.

В последние годы выполнено несколько экспериментальных исследований (например, [15–20]) процессов сжигания капель суспензий ВУТ и ОБУТ на основе углей, отработанных масел и водонефтяных эмульсий. Показано [15–20], что суспензии ОБУТ могут быть использованы в качестве основных топлив для многих энергетических установок. Однако в качестве основных компонентов ОБУТ в экспериментах [17–19] использованы лишь высокосортные угли разной степени метаморфизма. Так как большая часть таких углей активно экспортируется развитыми государствами (например, Китай, США, Индия, Россия), то целесообразно при приготовлении ОБУТ использовать отходы переработки и обогащения этих углей (например, фильтр-кек). Объемы последних к 2020 году могут вырасти в несколько раз [1]. Актуальна задача создания ОБУТ на основе фильтр-кек 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 ОБУТ с разными компонентными составами пока опубликовано очень мало (для условий низкотемпературного (менее 800 К) [19–21] зажигания нет данных), то целесообразно для получения соответствующей базы данных провести эксперименты с разными фильтр-кек и отходами нефтехимического

происхождения. При этом для расширения возможных приложений результатов исследований условия нагрева топлив следует рассмотреть от низкотемпературных [21–23] до соответствующих (более 1200 К) современных энергетических установкам, блокам и агрегатам.

Процессы приготовления ОВУТ, транспортирования и сжигания находятся на начальном этапе исследований [22–24]. Теоретические основы соответствующих технологий до настоящего времени не разработаны. На данный момент в тестовом режиме работают системы топливоприготовления в Кузбассе. Фильтр-кек в котельную привозится саморазгружающимся грузовым автомобилем и разгружается в приемную емкость, оборудованную перемешивателем в виде шнека с электрическим приводом. В приемной емкости фильтр-кек перемешивается с добавлением небольшого количества воды (при необходимости) и реагента-пластификатора до получения необходимой текучести топлива. После перемешивания фильтр-кек в приемной емкости и получения готового для сжигания ВУТ, оно из приемной емкости перекачивается активатором в расходную емкость. Проходя активатор полученная суспензия подвергается дополнительной обработке и гомогенизируется до однородного состава.

Одна из ключевых проблем приготовления такого вида топлива – это крупные частицы в топливе (сгустки). Для удаления из топлива сгустков перед подачей его в расходную емкость предусмотрено его пропускание через вибросито. Отделение крупных не разбитых частиц топлива позволяет предупредить забивание тракта топливоподачи. Для длительного хранения топлива без расслоения в нижнюю часть расходной емкости по периметру подается сжатый воздух, производимый винтовым компрессором, который, барботируя через слой топлива, обеспечивает его активное перемешивание.

Основным способом сжигания суспензионных топлив является его предварительный распыл в камере сгорания. Это значительно увеличивает площадь контакта топлива с окислителем и интенсифицирует тепло- и массообменные процессы. Для распыла жидких топлив используют форсунки.

В мире разработано большое число форсунок, использующих гидравлические, механические, пневматические, акустические, электростатические, ультразвуковые, пульсационные и другие принципы распыливания жидкостей. Для распыливания водоугольного топлива используют, как правило, пневматические форсунки, в силу их относительной конструктивной и эксплуатационной простоты и надежности.

В зависимости от вида топлива и топочного устройства форсунки должны обеспечивать надлежащий распыл топлива, создавать заданную форму капельного факела, иметь определенный диапазон возможного варьирования расхода топлива. Наличие в ВУТ мелкодисперсной твердой массы приводит к значительному эрозионному износу элементов форсунки, поэтому конструкции форсунок для ВУТ не должны иметь узких каналов и больших скоростей движения топлива вблизи их стенок.

В рамках бакалаврской работы предстояло выполнить экспериментальное исследование энергетических характеристик ОБУТ, полученных на основе фильтр-кек каменных углей и отработанных масел, а также определение свойств и концентраций основных компонентов для энергоэффективного распыления и сжигания таких топливных композиций в энергетических установках. На основе полученных экспериментальных данных необходимо было спроектировать автоматизированную систему управления впрыском суспензионного топлива в топочную камеру сгорания.

В Национальном исследовательском Томском политехническом университете в лаборатории моделирования процессов теплопереноса [25] проводятся исследования процессов приготовления и сжигания суспензий на основе промышленных отходов. Рассматривается множество органоводоугольных топлив, а также процессы, которые происходят при горении такого вида топлива, также принимается во внимание способы впрыска топлива в топочную камеру, который, судя по экспериментам [26], оказывает влияние на процесс горения и зажигания топлива.

Органоводоугольное топливо – перспективный источник тепловой и электрической энергии для населения, имеющий не высокую стоимость по сравнению с традиционными топливами (газом, углем, мазутом), а также возможность утилизации отходов нефтепродуктов и углеобогачительных фабрик. Рассматривая указанные выше преимущества такого вида топлива, можно сказать о том, что его использование будет выгодно сразу нескольким отдельно взятым потребителям. Жители квартир, частных домов с центральным отоплением, школы, детские сады, муниципальные учреждения, и другие конечные потребители тепловой и электрической энергии заинтересованы в снижении стоимости услуг ЖКХ, а значит, использование на тепловых станциях органоводоугольного топлива имеет большую перспективу.

Проведенные исследования будут интересны для изучения студентами:

- процессов тепломассопереноса при горении капель ОБУТ;
- влияния органической составляющей топлива на характеристики его зажигания и горения;
- влияния марок угля на характеристики его горения;
- зависимости между рабочим давлением, концентрацией твердых частиц в топливе и движением его капель после впрыска;
- систем автоматизированного управления процессами впрыска и сжигания органоводоугольных топлив.

Для науки будет актуально получение информации о распределении скоростей и размеров капель, процессах тепломассопереноса при горении водоугольного топлива в условиях, близких к сжиганию в реальных котлоагрегатах. Суспензии ОБУТ представляют интерес в научном сообществе из-за отсутствия информации об энергетических, экологических и экономических индикаторах сжигания органоводоугольного топлива. Исследования в этой области позволят разработать технологии наиболее эффективного сжигания отходов углеобогащения, входящих в состав ОБУТ, а также способы автоматизации впрыска и сжигания такого рода топлива.

## 1. Научно-исследовательская работа

Результаты экспериментальных исследований по изучению оптимальных способов применения ВУТ и ОВУТ в течение последних нескольких лет [5, 15-17] показали большой потенциал топлив, приготовленных из отходов. Главной особенностью ОВУТ в сравнении с традиционным пылевидным угольным топливом является возможность обеспечения низкотемпературного сжигания (800-1000 °С), а также снижения пожарной опасности, в ходе подготовки, хранения и транспортировки высокореакционной угольной пыли на энергетических предприятиях [9, 11]. За счет вовлечения низкосортных углей, отходов углеобогащения (фильтр-кеков) и отходов нефтепереработки снижается стоимость топлива, что положительно сказывается на экономическом аспекте [3, 5]. Низкие температуры горения обуславливают меньшее количество выбросов  $SO_2$  и  $NO_x$  в сравнении с традиционными энергетическими углями.

Одной из основных проблем при сжигании ВУТ и ОВУТ является налипание ВУТ и ОВУТ на соплах форсунок при впрыске топлива в камеру сгорания при высоких температурах, а также длительное время задержки зажигания [6, 18-20]. Это обусловлено, главным образом, высокой влажностью суспензии (в среднем, 30–40 %), а также наличием флокулянтов, которые способствуют слипанию капель. Представляет интерес экспериментальное исследование зависимостей размеров и скоростей капель от концентрации твердой части суспензии и давления впрыска для типовых форсунок, представленных на рынке. 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 ОБУТ с типичными компонентными составами.

### 1.1. Описание экспериментального стенда

В целях определения оптимальных параметров распыления суспензионного топлива был спроектирован и собран экспериментальный стенд. На данном стенде была проведена серия экспериментов по распылу суспензий с помощью радиальных форсунок, имитирующих систему впрыска топлива в топочную камеру.

Экспериментальный стенд состоит из макета камеры сгорания, системы впрыска топлива и системы оптической диагностики потоков «теневого фотография» («Shadow Photography»). Макет топочной камеры 1 сделан в виде жесткой рамной конструкции размером 900х600х900 мм. Фронтальная и задняя стенки сделаны из тонких стальных пластин. Для жесткой фиксации положения форсунки во фронтальной стенке сделано отверстие диаметром 40 мм, куда устанавливается форсунка 2. Топливо в форсунку подается из специально спроектированной системы впрыска топлива 3, схема которой представлена на рисунке 1.1.

Давление в системе создается с помощью компрессора 4, постоянная величина давления поддерживается с помощью редуктора. Управление и контроль давления осуществляется задвижкой 5 и манометром 6, установленными на выходном патрубке компрессора. Боковые стенки выполнены из влагоотталкивающего материала, нижние края которого заправлены в емкость для сбора распыленного топлива 7. Верхняя часть модели топочной камеры открыта для возможности фиксировать поток оптическими

методами. Светодиодный источник света 8 устанавливается на подвеске внутри модели топочной камеры и направлен в объектив высокоскоростной камеры 9 Photron Fastcam SA1.

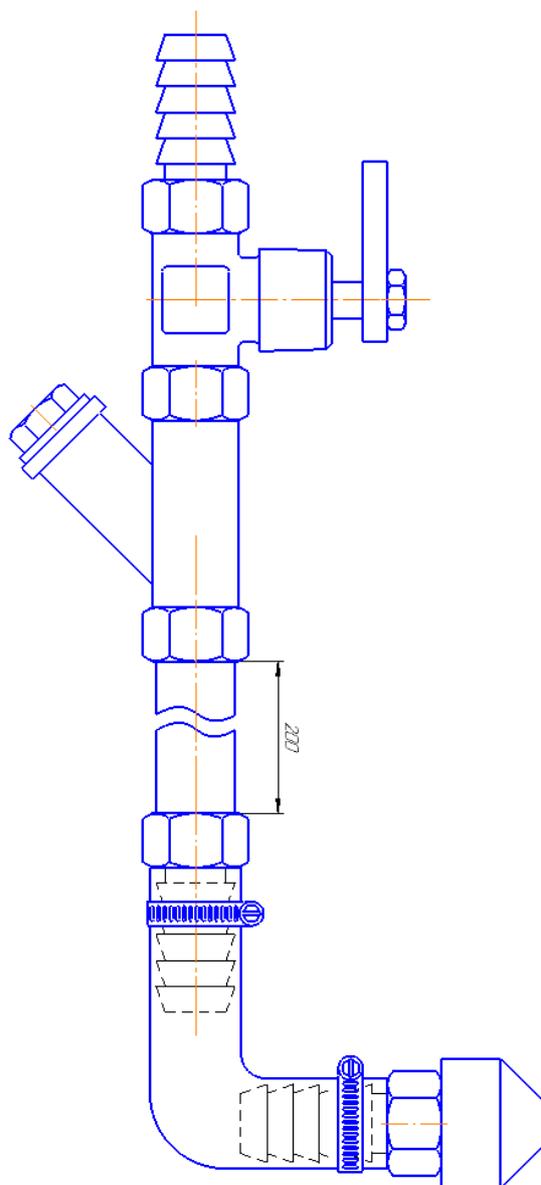


Рисунок 1.1 – Схема системы распыла топлива

На штативе рядом расположена высокоскоростная камера. Камера подключена к персональному компьютеру 10 с помощью интерфейса Ethernet. На персональном компьютере контролируется ход эксперимента и обрабатываются полученные данные. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.2.

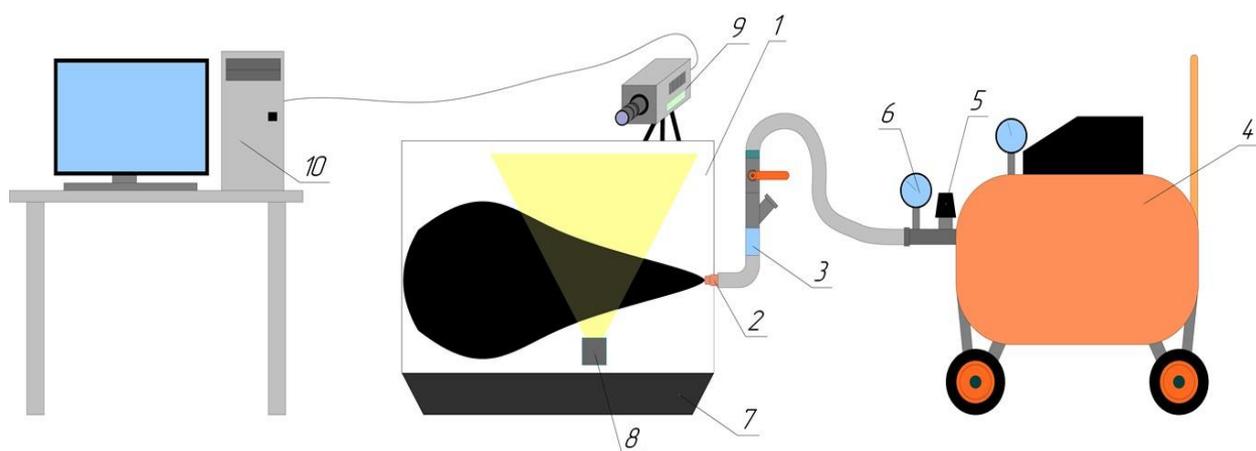


Рисунок 1.2 – Схема экспериментального стенда

1 – топочная камера; 2 – форсунка; 3 – система впрыска топлива;  
 4 – компрессор; 5 – задвижка; 6 – манометр; 7 – емкость для сбора  
 распыленного топлива; 8 – светодиодный источник света; 9 – высокоскоростная  
 камера Photron Fastcam SA1; 10 – персональный компьютер

## 1.2. Описание методики исследований

При проведении экспериментов топливная суспензия заливалась в емкость распылителя, объем заливаемой суспензии в каждом эксперименте варьировался в диапазоне 80-100 мл. Под действием давления (изменялось в границах от 2,2 до 2,7 атм.), создаваемого с помощью компрессора, суспензия распылялась в объеме лабораторной установки. Смеси готовились из угля марки СС и антрацита с содержанием твердой части ~10 вес.% и размером частиц не более 200 мкм, а также воды ~ 90 вес.%. Для соблюдения пропорций масса компонентов суспензии взвешивалась на аналитических весах ViBRA HT 84RCE.

Для фиксации размеров и скоростей капель топлива использовался метод «Shadow Photography» («SP»), он позволяет определять размеры различных объектов на изображениях. При использовании метода «SP» к исходному

изображению применяется процедура высокочастотной фильтрации, которая позволяет выделить границы образов зарегистрированных объектов.

После высокочастотной фильтрации применяется процедура бинаризации. Бинаризация позволяет отсечь фоновый шум и подготавливает изображение к следующему этапу.

На последнем этапе обработки по бинаризованному полю производится поиск односвязных областей. В результате определяются положения объектов и их радиусы. Если некоторые идентифицированные объекты находятся внутри других или имеют некруглую форму, то проводится валидация данных.

Можно выделить следующие преимущества метода:

- 1) бесконтактность;
- 2) возможность измерения скорости частиц при комбинации с методом «Particle Tracking Velocimetry» («PTV»);
- 3) для измерения скорости и размера частиц достаточно одной камеры;
- 4) систему можно дополнить «Particle Image Velocimetry» («PIV») системой, что позволит измерять скорость несущей фазы;
- 5) алгоритмы идентификации не требуют больших вычислительных ресурсов и просты в освоении.

Данный метод позволяет определять параметры пузырьковых, аэрозольных потоков и потоков с твердыми частицами сферической формы и изучать процессы взаимодействия фаз в многофазных потоках.

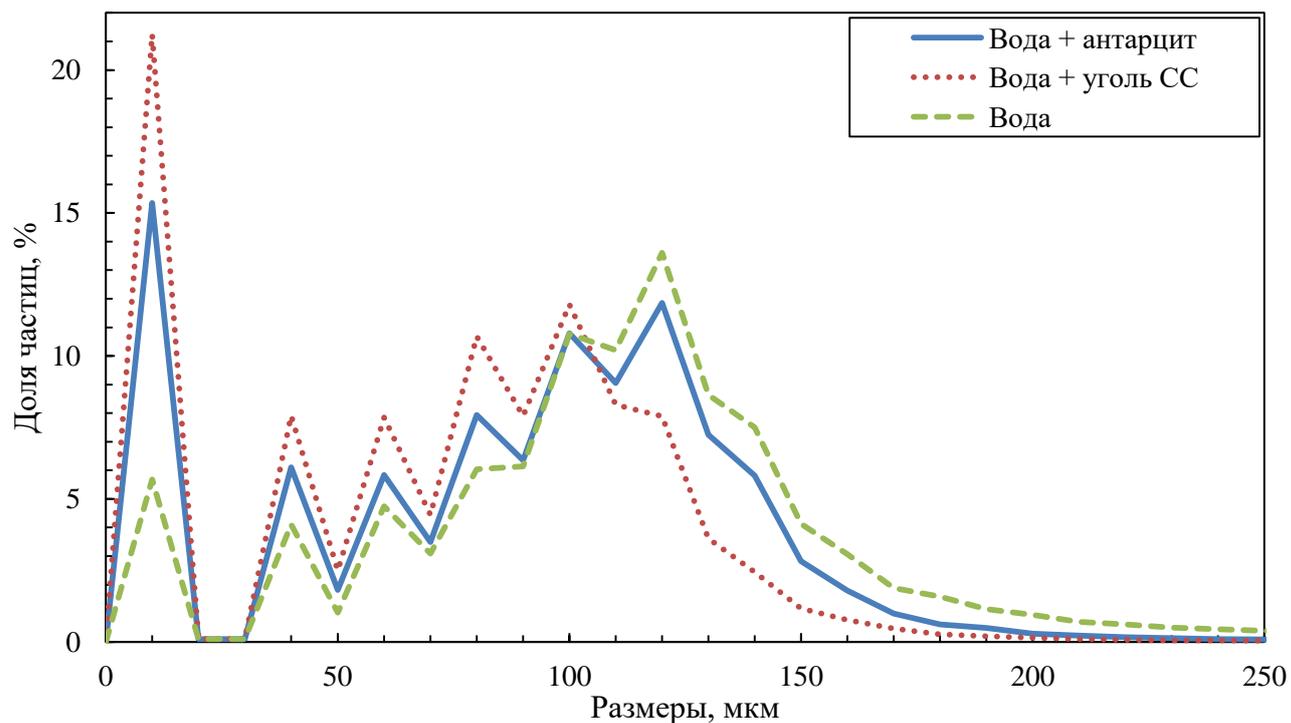


Рисунок 1.3 – Распределение размеров капель исследуемых образцов

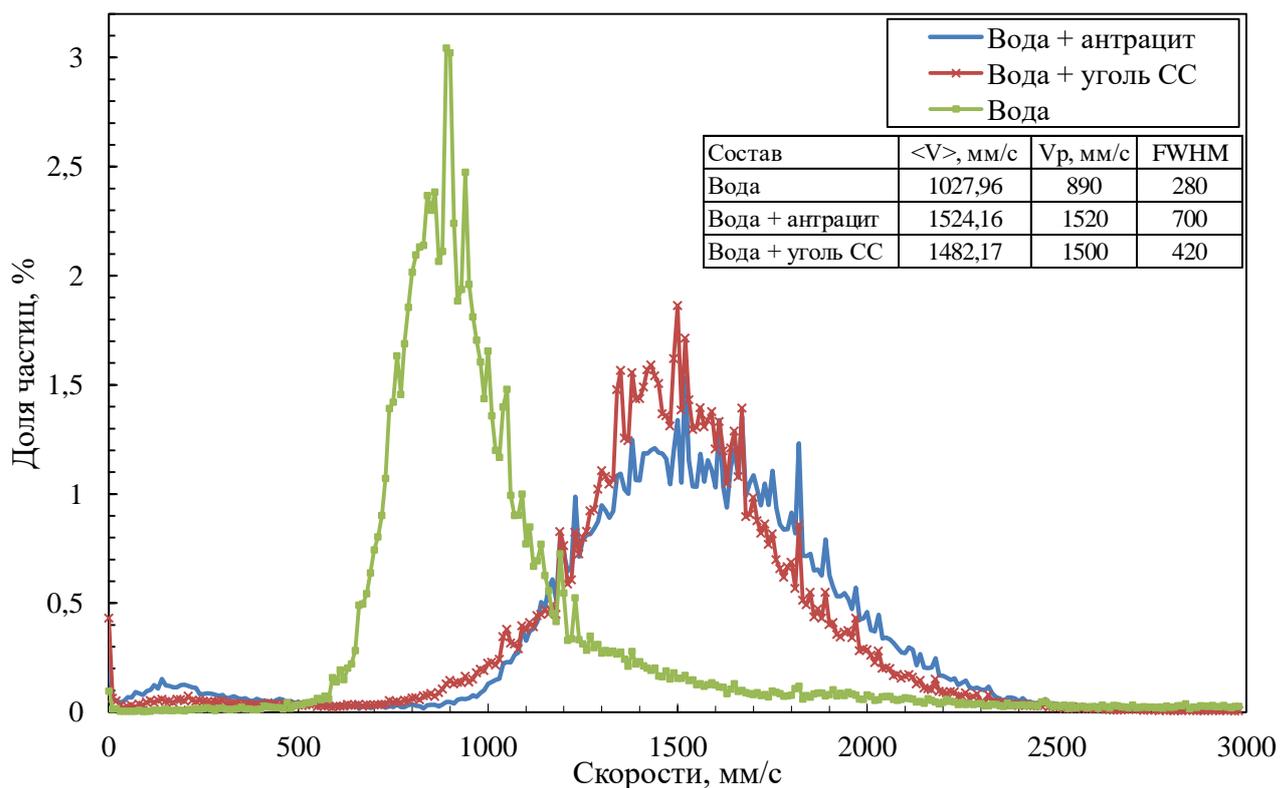


Рисунок 1.4 – Распределение скоростей движения капель исследуемых образцов

$\langle V \rangle$  – средняя скорость,  $V_p$  – наиболее вероятная скорость, FWHM – ширина пика распределения на полувысоте

Для распределения размеров капель, представленных на рисунке 1.3, видна заметная разница в соотношении мелких и крупных фракций. Суспензии дают гораздо большее число мелких (до 10 мкм) частиц и другое соотношение крупных капель в сравнении с водой. Распределение размеров крупных фракции суспензий смещено в сторону более мелких размеров относительно распределения для воды. Преимущественное распределение размеров капель до 150 мкм и данные предыдущих исследований времени задержки зажигания такие результаты позволяют прогнозировать уменьшение времени задержки зажигания при мелкодисперсном распылении суспензий.

Исходя из данных, представленных на рисунке 1.4 было установлено, что скорость доминирующего числа капель воды находится в окрестности 1 м/с, а в случае потока суспензии наивероятнейшая скорость распределена вокруг 1,5 м/с при том же рабочем давлении. Также ширина пика распределения на полувысоте для воды является наименьшей, что свидетельствует о более однородном распределении скоростей потока.

На основании неравномерности распределения скоростей капель для суспензий можно сделать вывод о существенном разделении твердых и жидких частиц после впрыска в топочную камеру. Увеличение массовой доли мелких частиц также позволяет прогнозировать снижение времени задержки зажигания.

Также при проведении предварительных экспериментов было замечено, что при понижении рабочего давления увеличивался размер капель и дальность их пролета, составлявшая >1 метра.

При попытке впрыска суспензии, в состав которой входил фильтр-кек угля марки «Г» происходило забивание форсунки практически сразу после начала эксперимента. При концентрациях твердых частиц угля и антрацита свыше 30% вес. происходило забивание каналов форсунки. Для дальнейших исследований при увеличении концентраций твердой части суспензий и для исследования впрыска суспензий на основе фильт-кеков будет использована прямоточная форсунка с большим выходным каналом.

## 2. Анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации выбрана система подачи суспензионного топлива в котельный агрегат КВа 1,0 мощностью 1 МВт (0,86 Гкал/час), предназначенного для теплоснабжения промышленных и гражданских зданий [27].

Водогрейный котел КВа 1,0 МВт предназначен для работы в открытых и закрытых системах теплоснабжения с принудительной циркуляцией воды, используется в системах централизованного теплоснабжения на нужды отопления и горячего водоснабжения.

Блок водогрейного котла представляет собой стальную сварную конструкцию, состоящую из стальной трубной системы (радиационной и конвективной поверхности нагрева), опорной рамы и каркаса с теплоизоляционными материалами, обшитого листовой сталью.

Котел отопительный КВа 1,0 имеет П-образную сомкнутую компоновку. Топочная камера котлов состоит из труб диаметром 57x3,5 мм. Конвективная поверхность нагрева состоит из пакетов выполненных из труб диаметром 57x3,5 мм, для интенсификации теплообмена трубы конвективных пакетов располагаются в шахматном порядке. Это обеспечивает более интенсивное и полное омывание труб горячими газами.

Гидравлическая схема промышленного водогрейного котла выполнена многоходовой, с множеством перегородок, для увеличения скорости воды в котле и исключения застойных зон и локального перегрева поверхностей нагрева. Кроме того, турбулизация водяного потока препятствует образованию пристенного кипения и отложения накипи на поверхностях нагрева. Котел КВа 1,0 работает с принудительной циркуляцией теплоносителя которую обеспечивают сетевые насосы.

Топочная камера водогрейного котла выполнена газоплотной. Газоплотность котла обеспечивается путем варки стальной полосы в межтрубное пространство топочных панелей. Ширина газоплотной полосы рассчитывается таким образом, чтобы обеспечивать ее стабильное равномерное охлаждение и не допустить перегрев и порыв в процессе эксплуатации котла. Качество обварки газоплотности обеспечивает исключение присосов холодного воздуха в топочную камеру котла и исключает выбивание дымовых газов в котельный зал котельной.

Легкая изоляция промышленного котла выполнена съемной, облегченной из плит ПТЭ. Возможно исполнение котельного блока под кирпичную обмуровку, без обшивки и изоляции.

Газы в конвективной части котла твердотопливного проходят два хода и выходят через газоход в верхней части задней стенки котла. Для очистки конвективных поверхностей нагрева от сажи и золы в обшивке котла предусмотрены удобные люки. В нижней части котла находятся два зольных бункера, под топкой и под конвективной поверхностью нагрева. В бункерах предусмотрен лаз для очистки от зольных отложений и осмотра труб конвективного пакета.

Котел водогрейный КВа 1,0 работает с уравновешенной тягой, которую обеспечивают дутьевой вентилятор и дымосос.

На рисунке 2.1 изображен продольный разрез котла КВа 1,0.

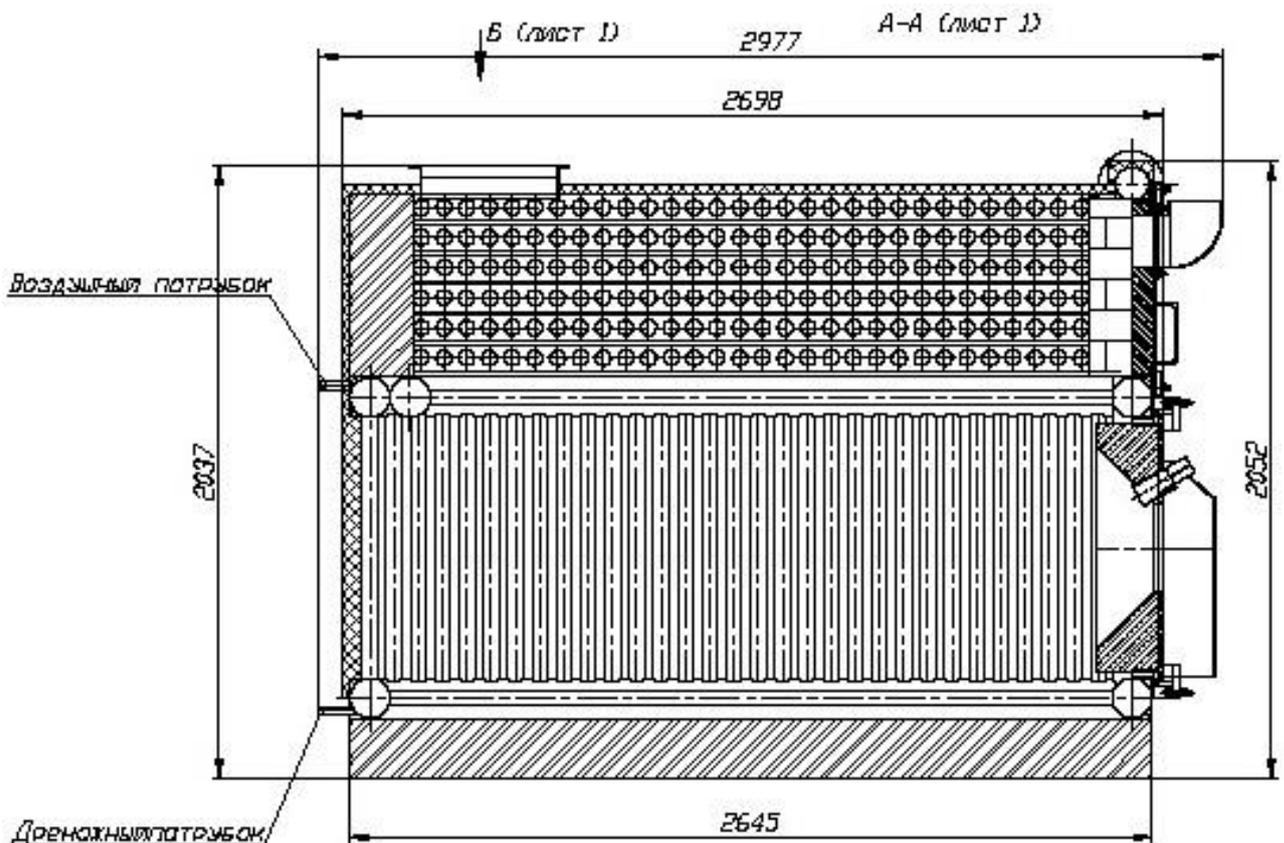


Рисунок 2.1 – Продольный разрез котла КВа 1,0

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

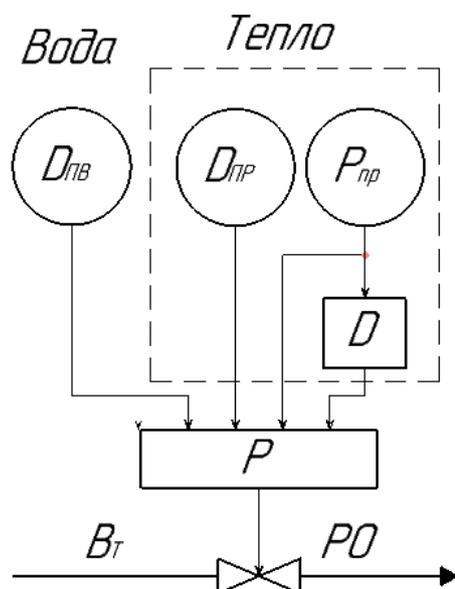
Одна из основных задач, связанных с автоматизацией котлоагрегата - автоматическое регулирование экономичности процесса горения. На экономичность работы котлоагрегата в наибольшей степени влияет режим работы топки, т. е. организация процесса горения топлива. Топливо, поступающее в топку, должно сгорать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

тепловых потерь, сопровождающих процесс сжигания топлива и передачи выделившегося тепла воде.

## 2.1 Выбор структуры автоматической системы регулирования топливоподачи

В работе были рассмотрены два варианта регулирования расхода суспензионного топлива.

В варианте регулирования расхода топлива  $V_T$  выполненной по схеме «вода-тепло» (рисунок 2.1) предусматривает использование расхода питательной воды в качестве задания для регулятора топлива. В этом случае подача топлива осуществляется в прямой зависимости от расхода питательной воды [28].



$P$  – регулятор;  
 $V_T$  – расход топлива;  
 $РО$  – регулирующий орган;  
 $P_{пр}$  – давление пара в паропроводе;

Рисунок 2.2 – Структурная схема регулирования подачи топлива по системе «вода-тепло»

Вариант АСР выполненный по схеме «задание по нагрузке-тепло» предусматривает воздействие на подачу топлива  $V_T$  по сигналу задания нагрузки. Структурная схема изображена на рисунке 2.2. Функции регулятора тепловой нагрузки в этом варианте выполняет регулятор расхода топлива. 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. Вторым сигналом регулятора топлива «тепло» формируется двумя сигналами от датчиков расхода и давления пара в промежуточной точке (в зоне максимальной теплоемкости пароводяного тракта) [28].

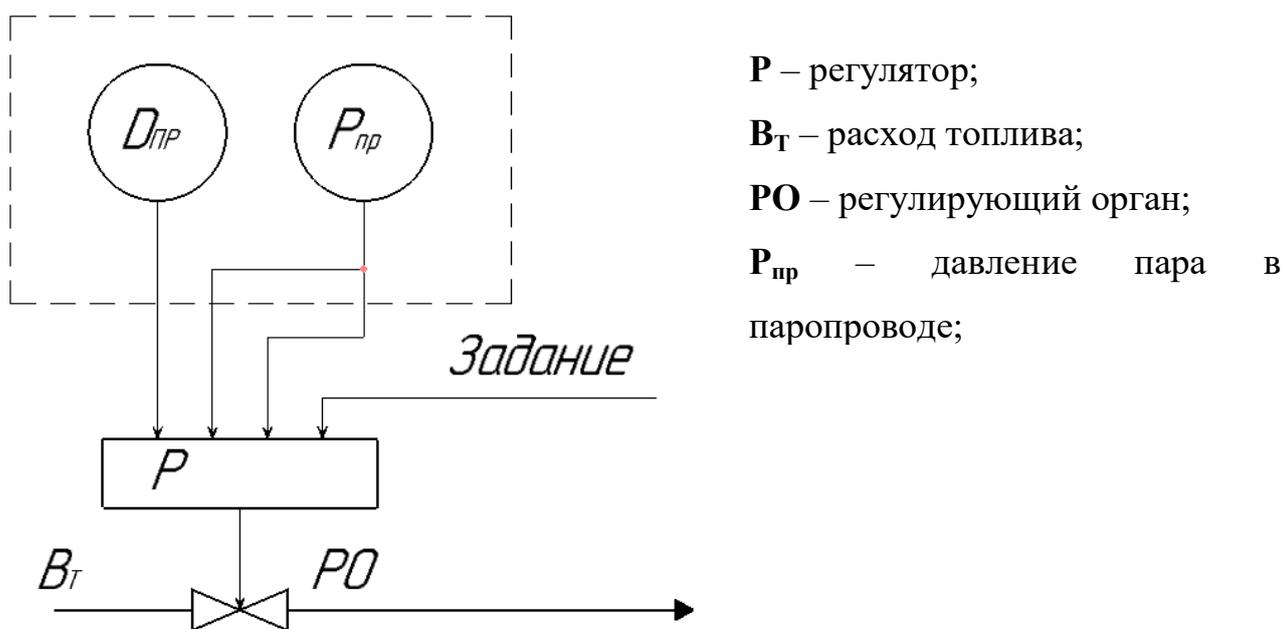


Рисунок 2.3 – Структурная схема регулирования подачи топлива по системе «нагрузка-тепло»

Представленные схемы регулирования тепловой нагрузки имеют определенные преимущества и недостатки относительно друг друга. Например, регулятор питания имеет больший диапазон регулирования по сравнению с регулятором подачи топлива 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 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 регулирования расхода топлива представлена на рисунке 2.3.

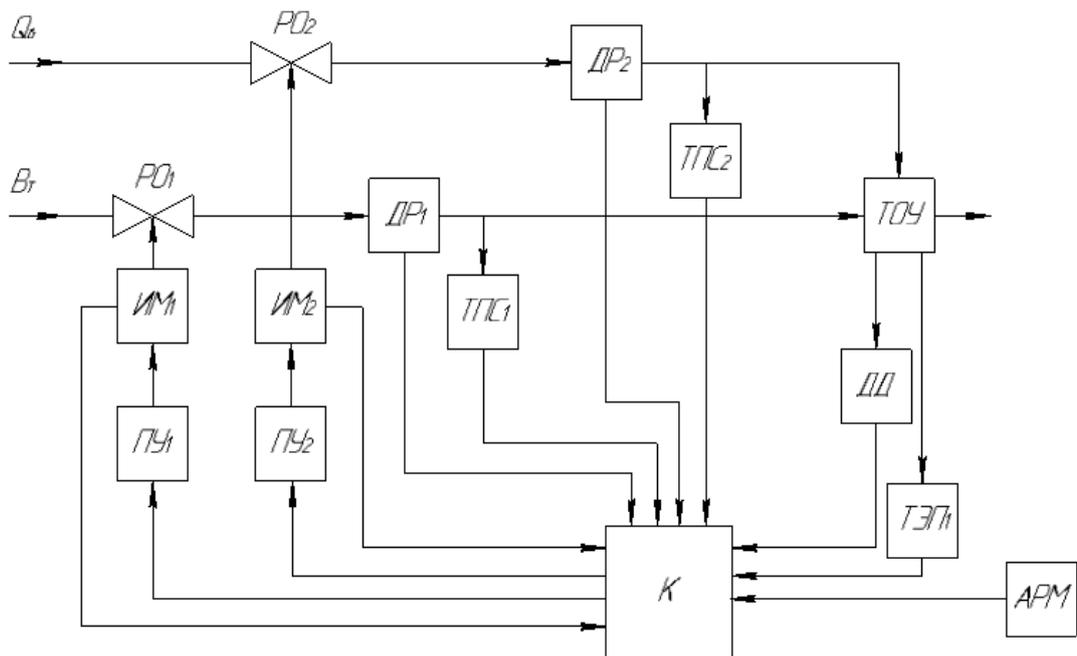


Рисунок 2.4 – Структурная схема автоматической системы контроля и регулирования расхода топлива

ТОУ – технологический объект управления, ТПС – термопреобразователь сопротивления, ТЭП – термоэлектрический преобразователь, ИМ – исполнительный механизм, РО – регулирующий орган, ПУ – пусковое устройство, ДТ – датчик температуры и влажности, К – контроллер, ДР – датчик расхода, ДД – датчик давления, АРМ – автоматизированное рабочее место оператора,  $Q_b$  – расход воздуха,  $V_t$  – расход топлива

## 2.2 Разработка функциональной схемы АСУ впрыском топлива

Функциональная схема систем измерения и автоматизации является основным техническим документом и определяет функционально – блочную структуру узлов регулирования, контроля и управления технологическим процессом. При разработке функциональной схемы автоматизации и выборе технических средств должны быть учтены особенности технологического процесса, параметры и свойства технологических сред, требуемую точность и быстродействие системы.

На функциональной схеме упрощенно изображаются линии связи, приборы и средства автоматизации условными обозначениями по действующим государственным стандартам.

В процессе разработки функциональной схемы необходимо решить следующие задачи:

- изучить технологическую схему автоматизируемого объекта;
- составить перечень контролируемых параметров технологического процесса и технологического оборудования;
- определить местоположение точек отбора информации;
- определить максимальные и минимальные значения контролируемых параметров;
- выбрать структуру измерительных каналов;
- выбрать методы и технические средства получения, обработки, передачи и представления информации;
- контроль технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования, их регистрация;
- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- стабилизация технологических параметров процесса;

– решить вопросы размещения технических средств автоматизации на технологическом оборудовании, трубопроводах, по месту и на щитах [29].

В процессе разработки функциональной схемы, по структурной схеме была изучена технологическая схема автоматизируемого объекта и определены точки отбора измерительной информации – температуры и давления в топке, расхода и температуры топлива и воздуха.

Разработанная функциональная схема автоматизированной системы впрыска суспензионного топлива представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.012 С2.

На первом этапе разработки функциональной схемы были определены измерительные каналы (2-8, 10) и каналы управления (1, 9). Сигнал о величине разряжения в топке котла поступает в контроллер по каналу 5, а для передачи сигнала от термоэлектрического преобразователя, чувствительный элемент которого находится в топке котла по каналу 6. По измеренной температуре осуществляется регулирование расхода суспензионного топлива и воздуха, измеряемых при помощи измерительных каналов 3 и 8 соответственно. Для передачи информации о значениях температуры топлива и воздуха используются унифицированные токовые сигналы, поступающие в контроллер от термопреобразователей сопротивления по каналам 4 и 7. Каналы 2 и 10 передают на контроллер информацию о заботе заслонки на топливопроводе и шибера на воздухопроводе. Контроллер формирует регулирующий сигнал, который поступает на пусковые устройства 1б и 9б, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма. Схема предполагает несколько способов управления исполнительным механизмом, а именно: местное управление от штурвала, дистанционное управление через промышленный компьютер и основной автоматический режим управления от контроллера.

На втором этапе разрабатывалась нижняя часть функциональной схемы. В этой части изображались приборы, установленные по месту и щит управления. В щите управления установлен контроллер.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403 – 80, условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785 – 70, первичные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.404 – 85.

## 2.3 Выбор технических средств АСУ впрыском топлива

При разработке АСУ впрыском суспензионного предпочтению отдавалось серийно выпускаемым отечественным техническим средствам автоматизации. При этом учитываются такие параметры как взаимозаменяемость, сочетаемость приборов, наличие унифицированных сигналов и легкость компоновки на щитовых конструкциях. С целью упрощения компоновки в щитах и удобного сочетания друг с другом предпочтение отдавалось унифицированным системам и однотипным техническим средствам.

При выборе первичных измерительных преобразователей следует учитывать предельные значения измеряемых параметров, в диапазоне которых можно применять различные первичные измерительные преобразователи, а также характеристики выходных сигналов первичных измерительных преобразователей. Для упрощения работы оперативного и обслуживающего персонала и унификации применяемого оборудования для более быстрого и качественного технического обслуживания и ремонта, следует ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций.

### 2.3.1 Выбор датчиков температуры

В разрабатываемой автоматической системе регулирования расхода суспензионного топлива регистрируется температура в топке котла и температура топлива и воздуха перед топкой. Для измерения температуры топлива и воздуха используются термопреобразователи сопротивления а для регистрации температуры в топке используется платинородий-платиновая термопара.

Термопреобразователи сопротивления обладают рядом преимуществ:

- имеют высокую точность измерений, которая может достигать в некоторых случаях до  $0,013^{\circ}\text{C}$ ;

– при использовании трехпроводной и четырехпроводной схем подключения исключается влияние изменения сопротивлений линий связи на результат измерения;

– имеют практически линейную характеристику зависимости температуры от сопротивления.

Рассмотрим термопреобразователи сопротивления фирм «Метран» и «Элемер» для измерения температур топлива и воздуха. Данные компании предлагают широкую линейку средств для измерения температуры как с унифицированными, так и с естественными выходными сигналами.

#### 1. Термопреобразователи сопротивления компании «Элемер»

Термопреобразователи предназначены для преобразования значения температуры различных, в том числе агрессивных, сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА. Данные термопреобразователи выполнены в климатическом исполнении от -50 до 70 °С [30].

Таблица 2.1 – Диапазон измеряемых температур термопреобразователей сопротивления фирмы «Элемер»

Тип термопреобразователя	Диапазон температур, °С
ТСМУ-205 (100М)	от -50 до 50 °С, от -50 до 100 °С, от 0 до 50 °С, от 0 до 100 °С
	от -50 до 150 °С, от 0 до 150 °С, от 0 до 180 °С, от 0 до 200 °С
ТСПУ-205 (Pt100)	от -50 до 50 °С, от 0 до 100 °С
	от 0 до 200 °С
	от 0 до 300, от 0 до 400, от 0 до 500 °С

#### 2. Термопреобразователи сопротивления компании «Метран»

Термопреобразователи сопротивления с медными и платиновыми чувствительными элементами Метран-203, Метран-204, Метран-205, Метран-206 предназначены для измерения температуры жидких, газообразных, сыпучих сред в различных отраслях промышленности. Изготавливаются в

климатическом исполнении для работы при температурах от минус 45 до плюс 60 °С [31].

Таблица 2.2 – Диапазон измеряемых температуры термопреобразователей сопротивления фирмы «Метран»

Тип термопреобразователя	Диапазон температур, °С
Метран-203, Метран-204	от -50 до 150 °С
Метран-205, Метран-206	от -50 до 200 °С

### 3. Термоэлектрические преобразователи компании «Элемер»

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

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

ТП-1388В – вибропрочное исполнение ТП-1388;

ТП-2088 – предназначены для измерения температуры жидких, газообразных сред и твердых тел в различных отраслях промышленности. Чувствительный элемент – КТМС-кабель;

ТП-2388 – предназначены для измерения температуры жидких, газообразных сред и твердых тел в различных отраслях промышленности.

Метрологические характеристики представленных модификаций приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Номинальная статическая характеристика (НСХ) и класс допуска

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 «Элемер» для топлива и воздуха, типа ТСМУ-205 с НСХ 100М. В целом, данные датчики температуры удовлетворяют предъявляемым требованиям: имеют достаточную точность измерения и приемлемую цену.

Для измерения температуры в топке рассмотрим термопары фирмы «Элемер». В таблице 2.4 приведены характеристики для термопар ТП-0395/2, так как эти термопары являются высокотемпературными, что и требуется для решения данной задачи, то осуществим выбор НСХ [32].

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

Таблица 2.4 – Номинальная статическая характеристика (НСХ) и класс допуска

НСХ	Диапазон измерений, °С	Класс допуска	Кол-во рабочих спаев
ХА (К)	0...+1250	1	1
НН (N)		2	
ПП (R)	0...+1600	2	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 преобразователя давления

Датчики давления предназначены для непрерывного преобразования абсолютного давления, дифференциального давления, избыточного давления, избыточного давления-разряжения и разности давлений в унифицированный

токовый сигнал или цифровой сигнал в стандарте протокола HART. По принципу преобразования давления в электрический сигнал датчики давления делятся на:

- 1) тензометрические;
- 2) пьезометрические;
- 3) емкостные;
- 4) резонансные;
- 5) индуктивные;
- 6) ионизационные;
- 7) пьезоэлектрические.

Принцип преобразования давления в электрический сигнал влияет на пределы измерения, динамические и частотные диапазоны, точность и условия эксплуатации [33].

Рассмотрим два преобразователя давления Элемер-100 ДВ и Метран-150.

Датчики давления Элемер-100 ДВ представляют собой преобразователи давления с измерительной мембраной из нержавеющей стали. Данные датчики обладают повышенной точностью измерения (от  $\pm 0,5\%$  верхнего предела измерения), устойчивостью к гидроударам и низким выходным шумом значение которого составляет не более  $\pm 16$  мкА.

Основные технические характеристики общепромышленного преобразователя Элемер-100 ДВ:

- 1) верхний предел измеряемого давления (ВПИ) – от 0,04 кПа до 100 кПа;
- 2) преобразование давления в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА;
- 3) измерение избыточного давления нейтральных к нержавеющей стали AISI 316L сред (газы, пар, вода, слабоагрессивные жидкости);
- 4) перегрузочная способность не менее – 200% ВПИ;
- 5) степень защиты корпуса и электроразъема преобразователя – IP65 [34].

Датчики давления серии Метран-150 предназначены для непрерывного преобразования значения давления в унифицированный токовый выходной

сигнал или цифровой сигнал в стандарте HART протокола. Управление параметрами датчика может осуществляться при помощи HART-коммуникатора, удаленно с помощью программы HART-Master, HART-модема и компьютера или программных средств АСУ ТП, локального интерфейса оператора или удаленно с помощью AMS. Датчик давления Метран-150 обладает двухсекционным герметичным корпусом и морозостойким ЖК-дисплеем. Среди преимуществ датчика Метран-150 можно выделить высокую перегрузочную способность, защиту от переходных процессов и функцию непрерывной самодиагностики. Интервал между поверками составляет 5 лет.

Основные технические характеристики датчика избыточного давления Метран-150:

- 1) выходной сигнал – 4...20 мА или HART 0...5 мА;
- 2) максимальное давление – 1 МПа;
- 3) давление перегрузки – 10 МПа;
- 4) температура окружающей среды – от -40 до 85 °С;
- 5) температура измеряемой среды – от -40 до 120 °С [35].

Оба преобразователя давления имеют характеристики, удовлетворяющие техническим требованиям. Исходя из этого выбираем датчик Элемер-100 ДВ, так как он имеет меньшую стоимость.

### 2.3.3 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 4 аналоговых входа для регистрации температуры и расхода топлива. Также необходимо учитывать цену контроллера. Проведем сравнение характеристик контроллеров этих производителей. Для начала рассмотрим ПЛК фирмы «Siemens», цена которого составляет 49600 рублей. Исполнение контроллера блочно-модульное. Характеристики S7-200 приведены в таблице 2.5 [36].

Таблица 2.5 – Характеристики контроллера S7-200

Центральные процессоры	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
1	2	3	4	5	6
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				
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

Регулятор ВЭСТ-02 предназначен для создания систем управления малыми и средними объектами. Регулятор может быть запрограммирован по

определенному сценарию. Например: тепловой пункт, тепловая завеса, вентиляция. Конфигурируются сценарии в программе, разработанной НПО ВЭСТ, АКИАР. Среди преимуществ ВЭСТ-02 можно выделить поддержку интерфейсов RS-232 и RS-485, возможность подключения GSM/GPRS-модемов, интернет-коммуникаторов, преобразователей и конвертеров, возможность создания архива данных и интегрирования в существующую АСУ ТП с конвертацией протокола обмена данными. Областью применения ВЭСТ-02 являются тепловые пункты, системы вентиляции, водогрейные котельные, водопроводные насосные станции и насосные станции пожаротушения, а также системы дымоудаления и диспетчеризации. Рассмотрим технические характеристики в таблице 2.6 [37].

Таблица 2.6 – Технические характеристики контроллера ВЭСТ-02

Напряжение питания	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	3 ВА
Диапазон контроля температур	-50...+150 °С
Тип входных датчиков температуры	Pt1000
Аналоговых входов	8 шт.
Цифровых входов	5 шт.
Симисторных выходов	6 шт.
Аналоговых выходов 0...10 В	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 (13200 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 2.7 приведена характеристика контроллера [38].

Таблица 2.7 – 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

Продолжение таблицы 2.7

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 автоматической системы управления впрыска суспензии необходимо 8 аналоговых входов в контроллер. Выбранный ПЛК имеет 8 аналоговых входов.

#### 2.3.4 Выбор технических средств измерения расхода топлива

В процессе работы котла необходимо измерять расходы суспензии, которая представляет собой смесь мелкофракционного сыпучего материала (уголь или шлам), отработанного трансформаторного и турбинного масел и воздуха для поддержания правильного соотношения воздух/топливо в топке. Необходимо учитывать особенности измеряемых сред при выборе расходомеров.

Для измерения расхода воздуха применяют датчики дифференциального давления. Технические характеристики наиболее распространенных датчиков дифференциального давления приведены в таблице 2.8 [39, 40].

Таблица 2.8 – Технические характеристики датчиков дифференциального давления

Наименование	Элемер-100 ДД	Метран-350SFA	Rosemount 3051
Диапазон измерений	0,063 кПа...16 МПа;	до 25 МПа	до 25 МПа
Выходные сигналы	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 HART; Modbus RTU	4-20 мА; HART	4-20 мА; HART
Основная погрешность	±0,024 МПа	±0,20 МПа	± 0,031 МПа

Расходомеры Элемер-100 ДД предназначены для измерения расхода жидкости, газа, пара в технологических процессах различных отраслей промышленности, а также в системах технологического и коммерческого учета. Он обладает наименьшей погрешностью среди представленных моделей.

При измерении расхода сжигаемого топлива нужно учитывать, что суспензия является веществом с высокой вязкостью, а также приводит к быстрому износу оборудования. Поэтому используем электромагнитный расходомер, не вступающий непосредственно в контакт с измеряемой средой.

Индукционные (электромагнитные) расходомеры серии FLONET предназначены для измерения объемного расхода негорючих электропроводящих жидкостей в закрытых трубопроводах, в системах теплоснабжения, пищевой и химической индустрии. Индукционный расходомер оснащен частотным, импульсным и токовым выходами, а также интерфейсом RS-485 с коммуникационным протоколом обмена FLONET. Расходомеры FLONET специального исполнения успешно работают в сложных условиях с химически агрессивной средой, с жидкостями высокой температуры и содержащими абразив [41].

Электромагнитный расходомер–счетчик ЭМИС–МАГ 270 предназначен для постоянного измерения объема и расхода агрессивных жидкостей, щелочей,

кислот и воды, а также для операций, связанных с их учетом и контролем. Электромагнитный расходомер от производителя ЭМИС пригоден для эксплуатации в промышленных, коммунально-бытовых, общественных объектах, а также в АСУ [42].

Расходомеры электромагнитные Метран-370 предназначены для измерения объемного расхода электропроводных жидкостей, пульп, эмульсий и т.п. Позволяют проводить измерение расхода агрессивных сред, имеют высокую точность измерений, отсутствуют подвижные части, имеют малые потери давления [43]. Технические характеристики расходомеров представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технические характеристики расходомеров

Наименование	Элемер FLONET FS20XX.1	ЭМИС-МАГ 270	Метран-370
Давление	До 4 МПа	До 32 МПа	До 0,1 МПа
Расход	До 614 м <sup>3</sup> /ч	До 283 м <sup>3</sup> /ч	До 270 м <sup>3</sup> /ч
Основная погрешность	±1,23 м <sup>3</sup> /ч	±1,41 м <sup>3</sup> /ч	±1,35 м <sup>3</sup> /ч

Проведя анализ технических характеристик преобразователей расхода делаем вывод о том, что расходомер фирмы Элемер типа FLONET FS20XX.1 подходит для нашей системы по диапазону рабочих температур и классу точности. Цена данного расходомера составляет 15700 руб.

### 2.3.5 Выбор исполнительного механизма

Однооборотные электроприводы МЭО используются для передачи крутящего момента арматуре при ее повороте на один оборот или менее. Механизмы МЭО предназначены для приведения в действие запорно-регулирующей арматуры в системах автоматического регулирования технологическими процессами, в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств. Механизмы МЭО исполняют функции автоматического, дистанционного или местного открытия и закрытия

арматуры, указания степени открытия арматуры на шкале местного указателя, позиционирование рабочего органа арматуры в любом промежуточном положении, формируют дискретные сигналы о промежуточных и конечных положениях рабочего органа арматуры. Цифровые сигналы состояния моментных выключателей открытия и закрытия, сигнал крутящего момента и цифровые сигналы состояния концевых и путевых выключателей передаются по интерфейсу RS-485. Электроприводы МЭО могут работать в экстремальных условиях: при повышенных температурах, запыленности и сильной вибрации [44]. Для выбора исполнительного механизма для привода задвижки на трубопроводе воспользуемся формулой:

Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле:

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

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. 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.

### 2.3.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В качестве блока управления используем блоки БУЭР. Блоки управления электродвигателями реверсивные - БУЭР предназначены для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ) типа МЭО-6,3...МЭО-4000, МЭОФ-1,6... МЭОФ-4000, МЭМ-6,3..., МЭМ-160, МЭПК-200..., МЭП-25000) с однофазным (БУЭР 1) или трехфазным (БУЭР 3) электродвигателями [45].

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.

Используем блок БУЭР 1-30-02. Он выполняет управление электрическим исполнительным механизмом (ЭИМ) с однофазным электродвигателем по командам, получаемым по резервированному цифровому каналу.

Функции блока управления:

- управление электродвигателем (пуск, реверс, остановка);
- самодиагностика;
- диагностика ЭИМ;
- защита силовых ключей от короткого замыкания;
- защита от перегрузки по току.

Выбранные технические средства автоматизации, описанные в данном разделе, представлены в заказной спецификации, приложение А.

### 3. Разработка щита управления САУ топливоподачи

#### 3.1 Проектирование принципиальной схемы АСР расхода топлива

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, предназначенные для контроля и осуществления в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. На схеме допускается изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям [46]. Принципиальные схемы имеют код ЭЗ.

Принципиальные схемы служат основанием для разработки других документов проекта (монтажных таблиц щитов и пультов, схем внешних соединений и др.). На такой схеме изображаются все элементы информационно-измерительной системы, находящиеся в щите, а также принцип их взаимодействия между собой.

Принципиальная электрическая схема автоматизированной системы управления впрыском суспензионного топлива в топочную камеру сгорания представлена на листе ФЮРА.421000.012 ЭЗ.

При выполнении схемы использованы развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического текстового материала выбираем 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.

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 - 99, для цепей питания 100 - 200.

В правой части схемы изображен блок контроллера А1. Цепь питания контроллера подключена к клеммному блоку ХТ1. Также к клеммному блоку ХТ1 подключены блок питания G1. Блок контроллера А3 и блок питания G1 питаются от щита питания с напряжением 230 В. Блок питания G1 предназначен для питания датчиков температуры, расхода, давления и положения. С помощью клеммных блоков ХТ2 датчики соединяются с модулями гальванического разделения токовой петли В1-В6, выходные сигналы с которых поступают в блок контроллера А1. Подключение осуществлено в соответствии с требованием производителя [47], производится с помощью прецизионных резисторов R3-R6, сопротивление которых 500 Ом [48, 49]. БУЭР 1-30-02 соединены с помощью клеммного блока ХТ4 с блоком контроллера А1 через интерфейс RS-485. Датчики дистанционного указателя положения, расположенные в МЭО и МЭП, через клеммный блок ХТ3 также подключаются к модулям гальванического разделения токовой петли В7-В8. С помощью этих датчиков ведется контроль за положением вала исполнительного механизма. Блок контроллера с помощью интерфейса RS-232 и преобразователя интерфейса RS-232/Ethernet соединен с АРМ оператора.

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

Обозначение устройств на принципиальной электрической схеме следующее:

А1 – Блок контроллера ПЛК 63;

В1-В8 – модули гальванического разделения токовой петли МГРТП-001;

G1 – блоки питания БП 906/24-8;

ХТ1-ХТ4 – клеммные блоки.

### 3.2 Проектирование монтажной схемы АСР расхода топлива

Монтажные схемы щитов и пультов проектируют с целью выполнения различных видов коммутации элементов систем автоматизации в пределах щитов и пультов. К монтажной документации щитов относят схемы электрических соединений щитов. Для разработки монтажных документов используют функциональные и принципиальные схемы и техническую документацию заводов изготовителей средств автоматизации.

Схема монтажная должна содержать:

- первичные преобразователи, расположенные вне щита;
- внешние электрические и трубные проводки;
- щит автоматизации;
- таблицу с поясняющими надписями [50].

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. Внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним жил кабелей, причем изображены только используемые клеммы. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа.

Щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в нижней 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.

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

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

Конечной целью проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электропроводок, коммутации жил к техническим средствам автоматизации, а также для проверки и ввода в эксплуатацию проводок.

Для линий питания выбираем кабели с сечением алюминиевых жил 2,5 мм<sup>2</sup> типа АКРВБГ, которые имеют броню из двух стальных оцинкованных лент, а также оболочку из резины, не распространяющей горение. Такой кабель предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств с номинальным переменным напряжением до 660 Вольт частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1000 Вольт [51], что полностью удовлетворяет нашим требованиям.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 3.1 [52].

Таблица 3.1 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСР

№ линии	Марка	Кол-во жил	Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Диаметр, мм
7, 8, 18	АКРВБГ	4	2,5	15,51
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 14, 15, 16	КРВГ	4	1	10,54
11	КРВГ	14	1,5	32,25
13, 17	КИПЭВ	2	0,6	9,22

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, представленный в [53]. Таким образом, защитные трубы выбираем по внутреннему диаметру с учетом толщины стенки из стандартного ряда.

Тогда для кабелей КРВГ 4x1, диаметром 10,54 мм, выбираем защитную трубу диаметром  $D = 20$  мм с толщиной стенки  $\delta = 1,2$  мм.

Для кабеля КРВГ 10x1, диаметром 32,25 мм, выбираем защитную трубу диаметром  $D = 46$  мм с толщиной стенки  $\delta = 3$  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.

Для защиты внешних проводок выбираем трубы Челябинского трубопрокатного завода

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

Контроллер А1 изображен условно сплошной линией в виде упрощенного контура с теми клеммами, которые используются. При входе в щит автоматизации установлены клеммные блоки ХТ2-ХТ4, в которые входят проводки, предающие унифицированный сигнал от:

- 1) термопреобразователей сопротивления;
- 2) термопары, установленной в топке котла;
- 3) расходомера, установленного на магистрали подачи суспензионного топлива и воздуха в котлоагрегат;
- 4) датчиков положения вала электродвигателей.

Все выше перечисленные технические средства подключаются сначала к соединительной коробке КСК-20 с помощью кабелей КРВГ 4×1, а далее собираются в единые кабели КРВГ 14×1,5, который уже подключается в щит автоматизации. Также в щите расположены клеммный блок питания 220 В ХТ1. Для связи контроллера с блоком управления используются кабели симметричной парной скрутки, использующиеся для связи по интерфейсу RS-485, КИПЭВ 1x2x0,6 в общем экране из алюмолавсановой ленты с контактным проводником. Кабель соответствует строгим требованиям пожарной безопасности, не поддерживает горение при условии одиночной прокладки.

Схема монтажная внешних электрических проводок, представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.012 С4.

### 3.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР

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 малогабаритный (ЩШМ).

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, высотой 500 мм, шириной 400 мм и глубиной 250 мм – ЩШМ 500x400x250. Фасадная сторона щитов (шкафных и панельных с каркасом) разбита на два функциональных поля. Разбивка выполнена на основе рационального распределения приборов, органов управления и сигнальной арматуры. Фасадные панели шкафа 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 А1 рассчитан на монтаж на DIN-рейке на вертикальной панели щита управления. В нижней части панели щита расположен блок питания G1. На левой стенке расположены клеммные зажимы ХТ1-ХТ4 и модули гальванического разделения токовой петли В1-В8.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.012 ВО.

## 4. Расчет параметров настройки регулятора

### 4.1 Идентификация объекта управления

Под идентификацией систем понимается совокупность методов предназначенных для построения математических моделей динамической системы по данным наблюдений. Математическая модель в данном случае означает математическое описание поведения какой-либо системы или процесса во временной области. Существует активная и пассивная идентификации. В случае активной – объект исследования выводится из равновесного состояния путем подачи на его входы специальных сигналов.

К активной идентификации прибегают при разработке новых технологий на действующих промышленных объектах. Пассивная идентификация применяется для уточнения математической модели.

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в топке котла КВа 1,0. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. График кривой разгона представлен на рисунке 4.1.

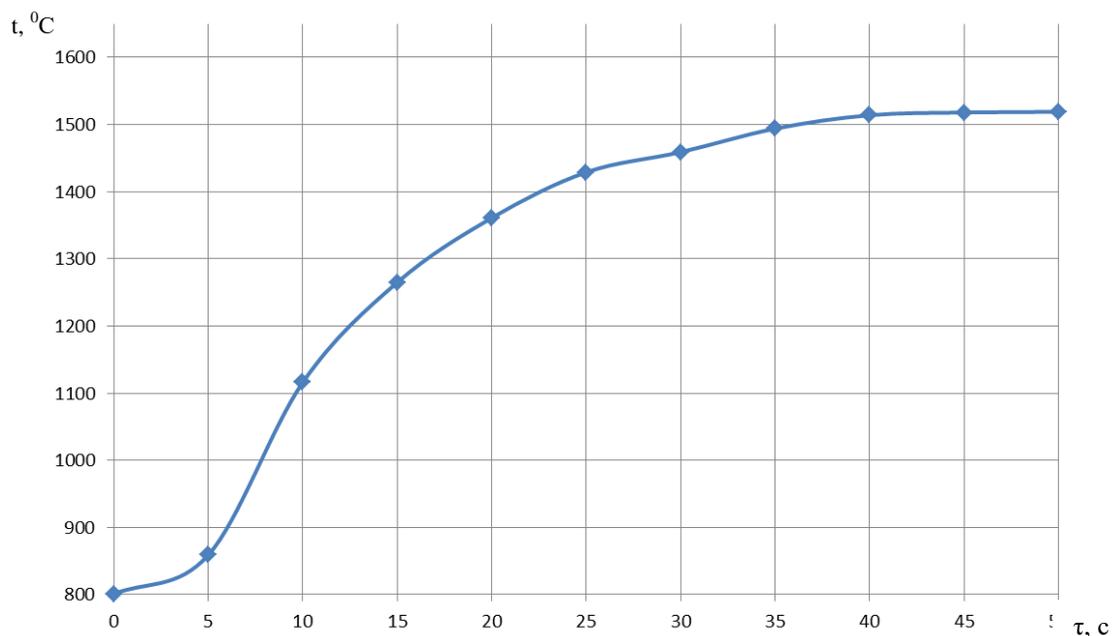


Рисунок 4.1 – Кривая разгона объекта управления

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

Передаточная функция для кривой представляет собой аperiodическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (4.1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления;

$P$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания;

$T$  – постоянная времени.

Решение уравнения 5.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[ 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (4.2)$$

Получаем два неизвестных значения времени запаздывания  $\tau$  и постоянную времени  $T$ .

Получаем два неизвестных значения время запаздывания  $\tau$  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  $\tau$  определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (4.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (4.4)$$

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

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

Из графика, изображенного на рисунке 4.2 определяем расположение на кривой точек  $A$  и  $B$  и находим необходимые неизвестные параметры.

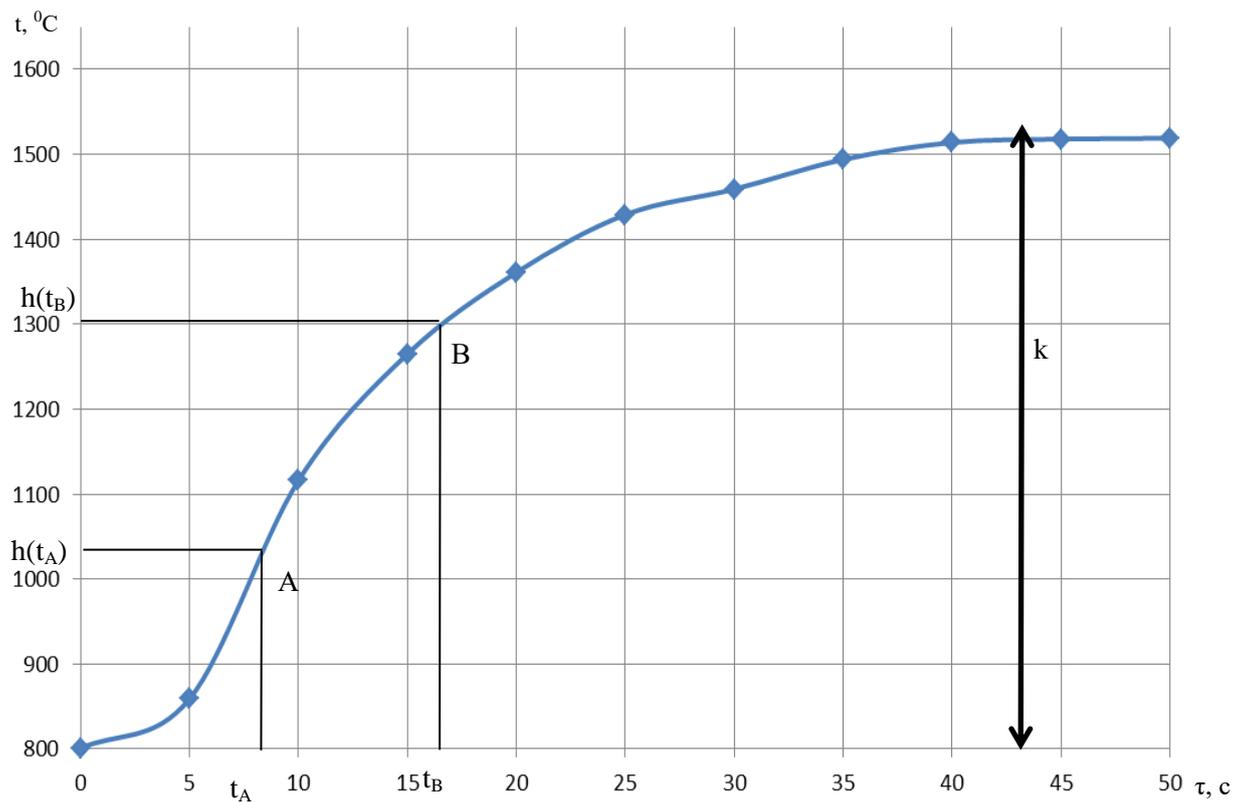


Рисунок 4.2 – Определение точек на кривой разгона, для расчета параметров регулятора

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  $\tau$ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (4.5)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (4.6)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 8 - 17) = 3,4 \text{ с}, \quad (4.7)$$

$$T = 1,25(17 - 8) = 11,25 \text{ с}. \quad (4.8)$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{720}{(11,25P + 1)} e^{-3,4P}. \quad (4.9)$$

## 4.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 4.3 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

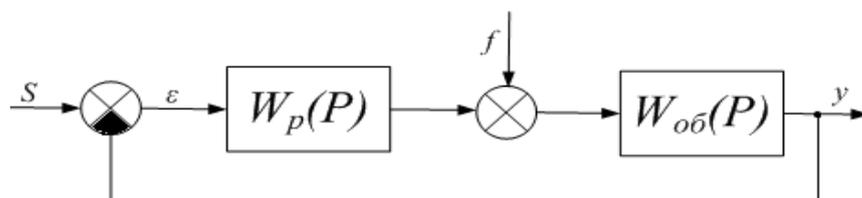


Рисунок 4.3 – Структурна схема системы регулирования

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

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221. \quad (4.10)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{720}{(11,25P+1)} e^{-3,4P}. \quad (4.11)$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 4.1 в виде листинга расчета. Полученные значения представлены для диапазона частот от  $0,0001$  до  $0,03 \text{ с}^{-1}$ , с шагом по частоте в  $0,01 \text{ с}^{-1}$ .

Таблица 4.1 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m,\omega)$	$\text{Im}_{об}(m,\omega)$	$A_{об}(m,\omega)$
0.0001	720.384992	-1.0556983	720.38576516
0.01	746.572202	-113.4421087	755.1418175
0.02	744.555421	-235.9164574	781.03735473
0.03	710.643157	-357.7118482	795.59503699
0.04	646.735598	-466.9808149	797.7079763
0.05	560.082358	-554.2617002	787.97098973
0.06	460.827498	-614.8917705	768.40996372
0.069	358.875288	-649.2072703	741.79616615
0.079	261.731237	-660.9981202	710.93020429

Продолжение таблицы 4.1.

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{06}(m,\omega)$	$\text{Im}_{06}(m,\omega)$	$A_{06}(m,\omega)$
0.089	173.868208	-655.5038743	678.17068875
0.099	97.171815	-637.8987742	645.25747398
0.109	31.777204	-612.5152895	613.33903393
0.119	-23.154974	-582.6317685	583.09169993
0.129	-68.88685	-550.5616886	554.85454949
0.139	-106.771985	-517.851731	528.74442978
0.149	-138.083948	-485.4862913	504.74163256
0.159	-163.943795	-454.0581234	482.74874151
0.168	-185.301956	-423.8969625	462.62884665
0.178	-202.946756	-395.1610364	444.22925437
0.188	-217.523877	-367.8998709	427.39554497
0.198	-229.558586	-342.0963581	411.97944454
0.208	-239.476906	-317.6944206	397.84284997
0.218	-247.624173	-294.6169145	384.85952934
0.228	-254.280634	-272.7770198	372.91546402
0.238	-259.674215	-252.0853359	361.90843402
0.248	-263.990835	-232.4541706	351.74721414
0.258	-267.382664	-213.8000116	342.35060065
0.267	-269.974705	-196.0448335	333.64639669
0.277	-271.870046	-179.1166691	325.57042736
0.287	-273.154034	-162.9497262	318.06562145
0.297	-273.897609	-147.4842303	311.08117622

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_P}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)}, \quad (4.12)$$

$$K_P = - \frac{m \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega) + \text{Re}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)}, \quad (4.13)$$

где  $T_u$  – постоянная интегрирования регулятора,

$K_P$  – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0, до 0,5  $\text{с}^{-1}$ , с шагом по частоте в 0,02  $\text{с}^{-1}$ . Полученные значения представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значение параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{c}^{-1}$	$K_p$	$\frac{K_p}{T_u}$
0.0001	-0.00055	0.0000000009
0.02	-0.00043	0.00000353
0.0399	-0.0003	0.00001334
0.0598	-0.00016	0.00002836
0.0797	-0.00012	0.00004746
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
<b>0.2588</b>	<b>0.00119</b>	<b>0.00021322</b>
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

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 4.4. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,75. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

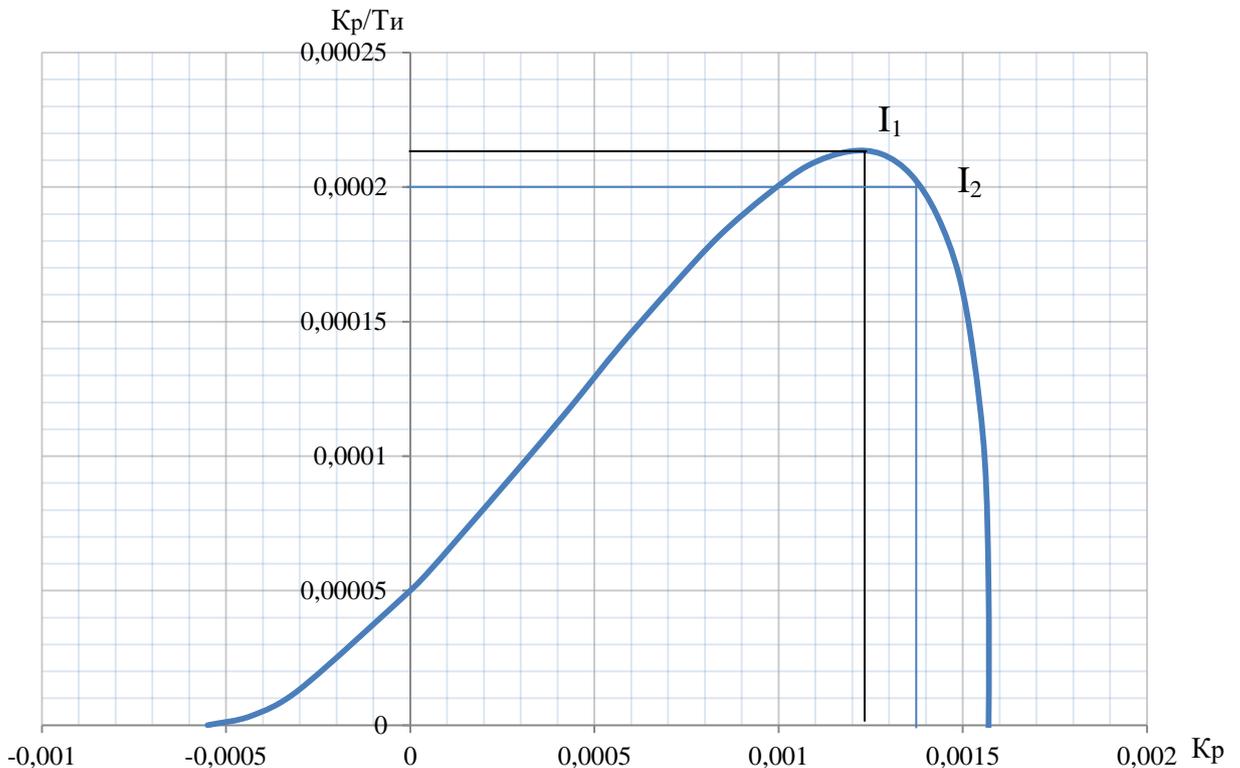


Рисунок 4.4 – Параметры настройки ПИ-регулятора

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

Из таблицы 4.2 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:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 5,6 \text{ с.} \quad (4.14)$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)} \quad (4.15)$$

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 4.5 представлен график вещественной частотной характеристики.

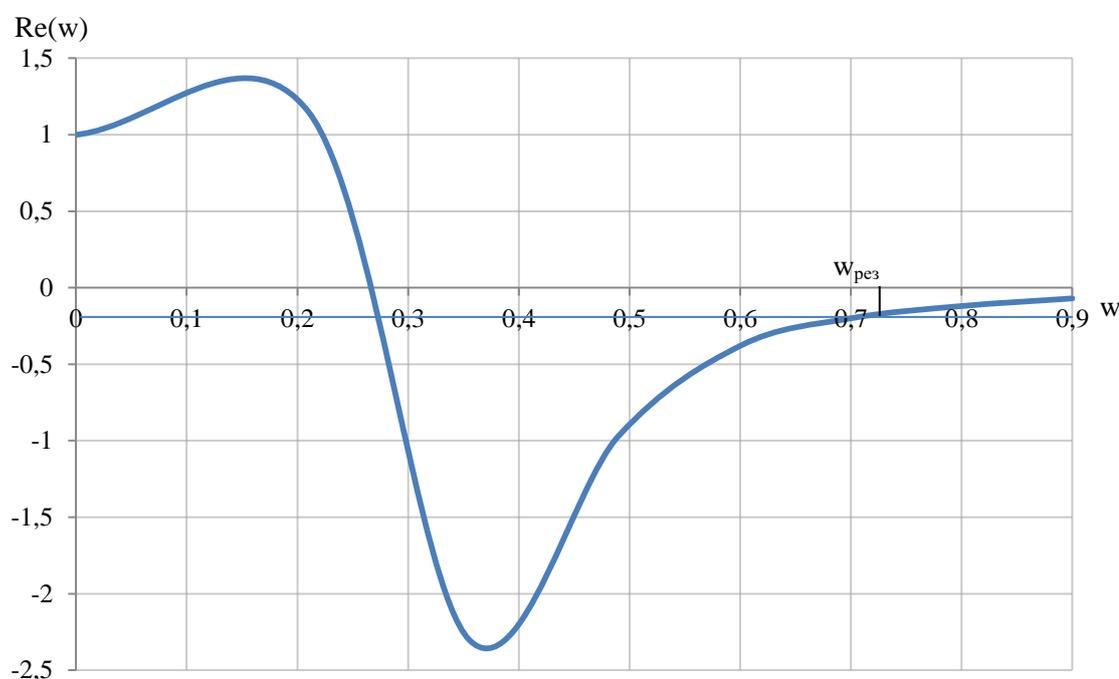


Рисунок 4.5 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (4.16)$$

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

$\omega$ - 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:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,72} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (4.17)$$

На рисунке 4.6 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.

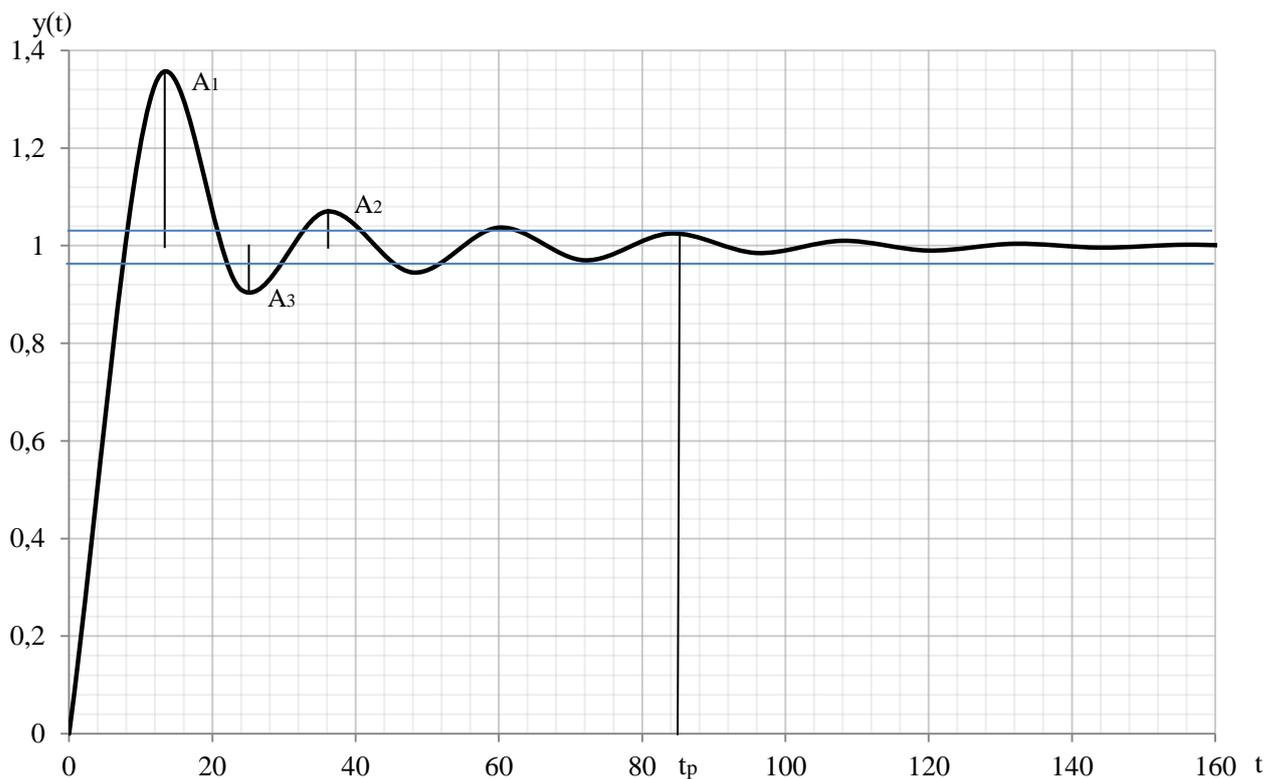


Рисунок 4.6 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

- а) максимальная динамическая ошибка:  $A_1=0,35$ ;

б) перерегулирование:  $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100\% = \frac{0,09}{0,35} \cdot 100\% = 25,7\%$ ,

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

в) динамический коэффициент регулирования  $R_{д}$ :

$$R_{д} = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100\% = \frac{0,35 + 1}{720} \cdot 100\% = 0,187\%$$

где  $K_{об} = 720$  – коэффициент передачи объекта;

г) степень затухания переходного процесса:  $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,075}{0,35} = 0,78$ ,

где  $A_2 = 0,075$  - второй максимальный выброс регулируемой величины;

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

е) время регулирования:  $t_p = 87$  с.

## 5. Мнемосхема проекта

Мнемосхема представляет собой совокупность сигнальных устройств и сигнальных изображений оборудования и внутренних связей контролируемого объекта. Размещаются мнемосхемы на диспетчерских пультах, операторских панелях или выполняются на персональном компьютере. Мнемосхемы наглядно изображают структуру системы и облегчают оператору запоминание оператором схем объектов, взаимосвязь между параметрами, назначение приборов и органов управления. Основные принципы мнемосхем:

- принцип лаконичности, согласно которому мнемосхема должна быть простой, не должна содержать лишних элементов, а представляемая информация должна быть конкретной и краткой;
- принцип обобщения и унификации, согласно которому на мнемосхеме не следует применять элементы, обозначающие несущественные конструктивные особенности системы, а обозначающие символы необходимо унифицировать;
- принцип акцента – элементы контроля и управления необходимо выделять размерами, формой и цветом;
- принцип автономности предусматривает необходимость обособления друг от друга участков мнемосхемы, соответствующих автономно контролируемым и управляемым объектам;
- принцип пространственного соотнесения элементов – расположение контрольно-измерительных и индикаторных приборов должно быть четко согласовано с расположением соответствующих им элементов управления;
- принцип использования привычных ассоциаций и стереотипов [54].

Исходя из этих принципов была разработана мнемосхема процесса сжигания суспензионного топлива в топке котла КВа-1,0. Разработанная мнемосхема приведена на рисунке 5.1

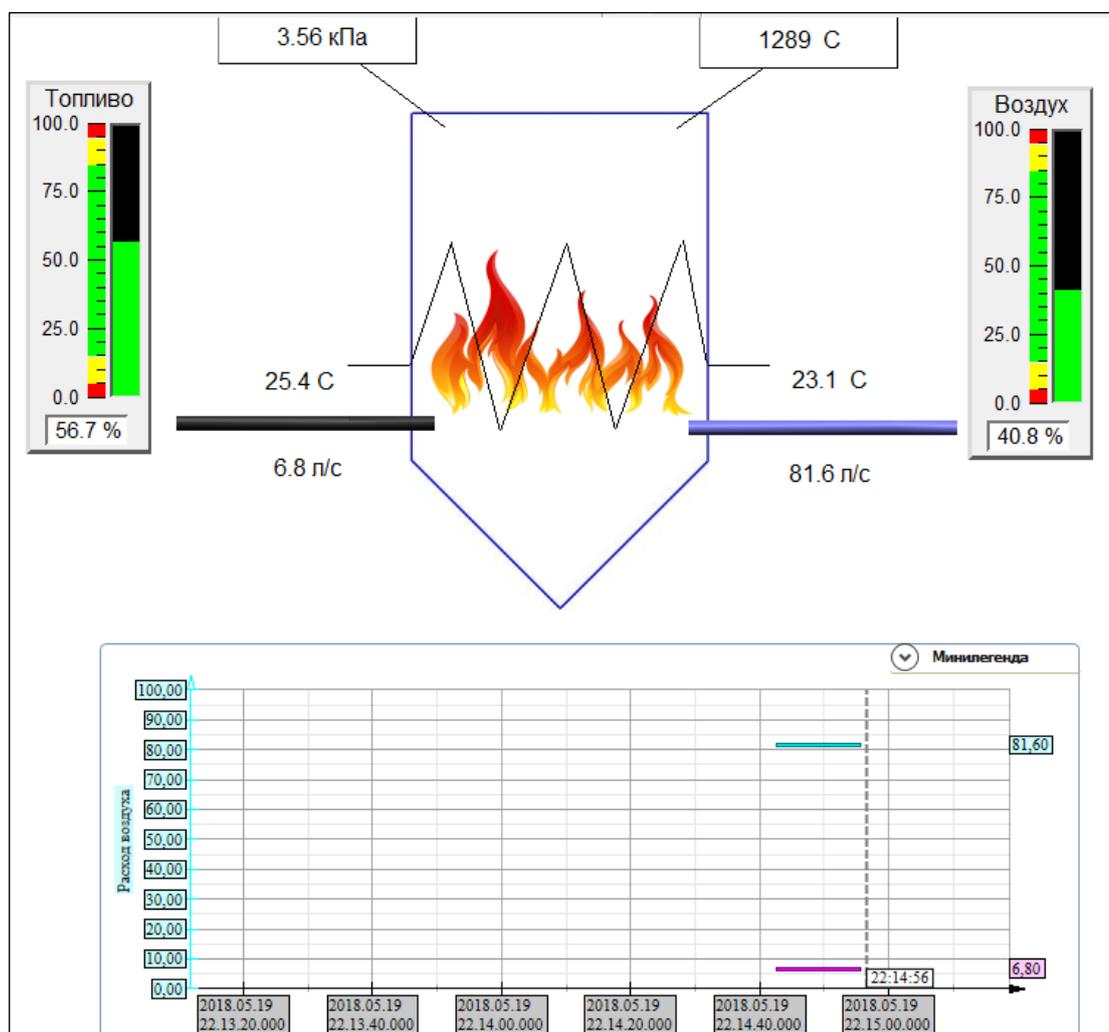


Рисунок 5.1 – Мнемосхема работы котла в стационарном режиме

На данной схеме условно показана топка котла, в которой установлены датчики температуры и давления. Температура изменяется в зависимости от изменения расхода топлива, который управляется с АРМ оператора. По расходу топлива соответственно изменяется расход воздуха необходимого для стабильного процесса горения. В случае нехватки суспензии или понижении соотношения «воздух/топливо» в центре мнемосхемы появляется ошибка, которую можно наблюдать на рисунках 5.2 и 5.3.

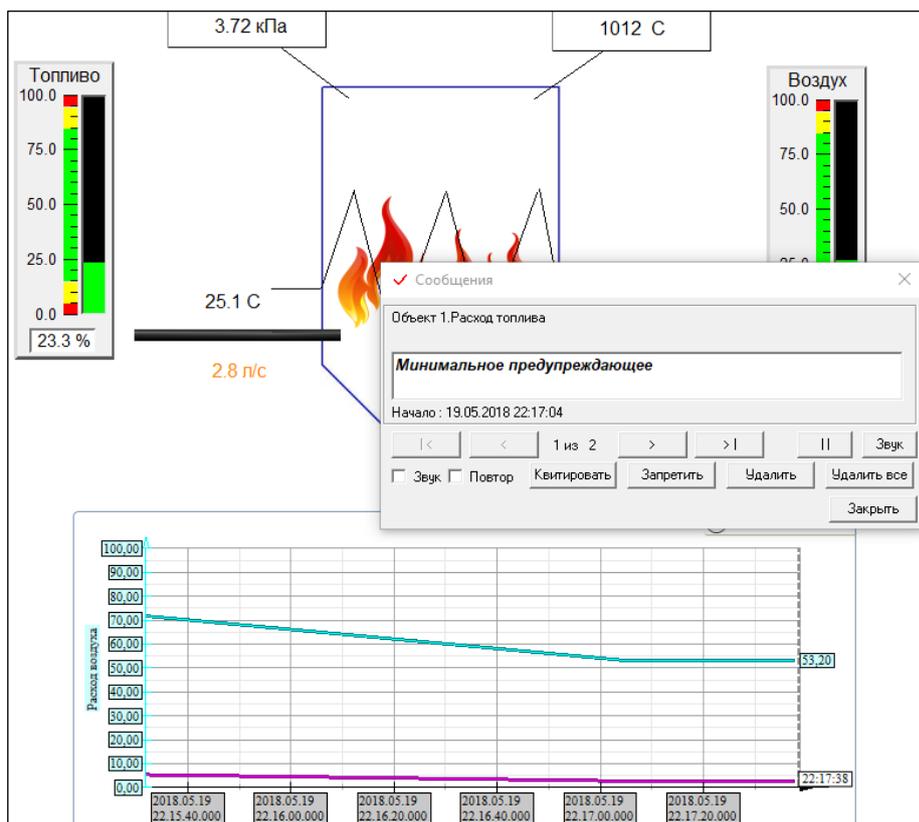


Рисунок 5.2 – Мнемосхема работы котла в случае нехватки топлива

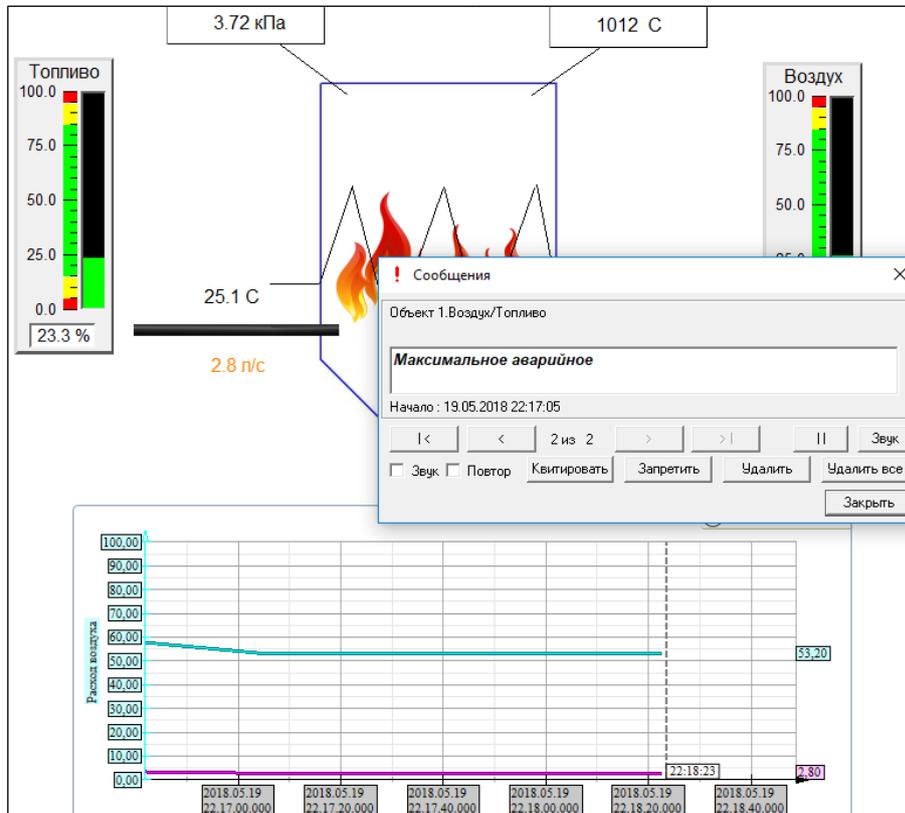


Рисунок 5.3 – Мнемосхема работы котла при снижении значения соотношения «воздух/топливо»

Как видно из схемы при недостаточном количестве топлива для стабильного процесса горения, возникает ошибка «Расход 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 ( $\text{NO}_x$ ).

Также на мнемосхему выводится изменение расхода топлива и воздуха в зависимости от времени.

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

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б4В	Ткаченко Павел Петрович

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Цена 1 т каменного угля составляет 2900 руб. Цена 1 т бурого угля составляет 2400руб. Цена 1 т ОВУТ составляет 1700 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисление в социальные фонды 30 % от ФОП

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ и временная 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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2018
--	------------

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Ткаченко Павел Петрович		

## 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания данного раздела является расчет экономической эффективности разработки автоматизированной системы управления впрыском суспензионного топлива

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.

### 6.1 Планирование работ и оценка времени выполнения

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

В таблице 6.1 представлены все виды выполняемых работ и время, затраченное на их выполнение.

Таблица 6.1 – Перечень работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
Получение задания	Инженер	1
	Научный руководитель	
Обзор литературы, связанной с впрыском и горением суспензионного топлива	Инженер	5
Проектирование макета установки для впрыска суспензии в ограниченный объем	Инженер	3
	Научный руководитель	1

Продолжение таблицы 6.1

Закупка материалов, необходимых для сбора экспериментальной установки	Инженер	1
Сборка установки и настройка системы	Инженер	4
Проведение экспериментальных исследований, направленных на изучение распределения скоростей и размеров частиц	Инженер	30
Анализ результатов исследования	Инженер	7
	Научный руководитель	3
Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	Инженер	11
Разработка принципиальной электрической схемы	Инженер	9
	Научный руководитель	2
Разработка монтажной схемы и щита управления	Инженер	6
Разработка схемы взаимодействия уровней управления	Инженер	1
Проектирование мнемосхемы	Инженер	8
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	10
Проверка	Инженер	2
	Научный руководитель	
Итого	Инженер	98
	Научный руководитель	9

## 6.2 Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (6.1)$$

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.

### 6.2.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на закупку материалов для построения экспериментальной установки. Величину этих затрат принимаем 10000 руб.

### 6.2.2 Затраты на амортизацию

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

Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad \text{руб./год}, \quad (6.2)$$

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.

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

### 6.2.3 Затраты на заработную плату

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

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж}}^{\phi} + 3П_{\text{нр}}^{\phi}, \quad (6.3)$$

где  $3П_{\text{инж}}^{\phi}$  – фактическая заработная плата инженера;

$3П_{\text{нр}}^{\phi}$  – заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад:

$$3П_{\text{инж}}^{\text{м}} = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.4)$$

$$3П_{\text{нр}}^{\text{м}} = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.5)$$

где  $3П_{\text{инж}}^{\text{м}}$  – месячная заработная плата инженера;

$3П_{\text{нр}}^{\text{м}}$  – месячная заработная плата научного руководителя;

$3П_0$  – месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 30000 руб.);

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

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

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

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

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{21} \cdot n_{\phi}, \quad (6.6)$$

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

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

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

Инженер:

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

Научный руководитель

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

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

#### 6.2.4 Затраты на социальные нужды

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

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

$$К_{\text{соц/н}} = К_{з/пл} \cdot 0,3, \quad (6.7)$$

$$К_{\text{соц/н}} = 131833 \cdot 0,3 = 39550 \text{ руб.}$$

### 6.2.5 Прочие затраты

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

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1, \quad (6.8)$$

$$K_{\text{пр}} = (10000 + 1611 + 131833 + 39550) \cdot 0,1 = 18299 \text{ руб.}$$

### 6.2.6 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.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \quad (6.9)$$

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

В таблице 6.2 представлена смета затрат на проект.

Таблица 6.2 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	10000
Амортизация компьютерной техники	1611
Затраты на заработную плату	131833
Затраты на социальные нужды	39550
Прочие затраты	18299
Накладные расходы	263666
<b>Итого:</b>	<b>464959</b>

### 6.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 6.3 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 6.3 – Смета затрат на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК ОВЕН 63	15500	1
Датчик давления Элемер-100 ДВ	3835	1
Датчики температуры Элемер ТСМУ-205	1500	2
Датчики температуры Элемер ТП-0395/2	2500	1
Расходомер Flonet FN20XX.1	15700	1
Преобразователь давления Элемер-100 ДД	20700	1
МЭО-250/25-0,25-99К	19000	1
МЭПК-800/63-40Х-99	15000	1
Блок управления БУЭР 1-30-02	20000	2
МГРТП-001	1900	8
Провод КИПЭВ 2х0,6	180	1
Провод КРВГ 4х1	1580	1
Провод КРВГ 14х1,5	2600	1
Провод АКРВБГ 4х2.5	3500	1
Компьютер	35000	1
<b>Итого</b>	<b>193295</b>	<b>17</b>

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

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot K_{\text{обор}}, \quad (6.10)$$

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

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 193295 = 38659 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения на оборудование, транспортировку и монтажные работы составили:

$$K_{\text{итог}} = K_{\text{обор}} + K_{\text{монт}} = 193295 + 38659 = 231954 \text{ руб.}$$

#### 6.4 Определение экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{\text{т}}^{\text{уголь}} - I_{\text{т}}^{\text{ОВУТ}}, \quad (6.12)$$

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

$I_{\text{т}}^{\text{ОВУТ}}$  – издержки производства тепловой энергии, при использовании органоводоугольного топлива (ОВУТ).

$$I_{\text{до}} = B \cdot C, \quad (6.13)$$

$$I_{\text{после}} = B \cdot C, \quad (6.14)$$

где  $B$  – расход топлива;

$C$  – цена топлива за тонну.

Для районной котельной годовой расход каменного угля составляет 2000 т., бурого угля – 2200 т. При переходе на суспензионное топливо, в роли которого предполагается использовать ОВУТ, расход составляет 2800 т. в год, увеличение расхода связано с меньшей калорийностью ОВУТ. Цена одной тонны каменного угля составляет 2900 руб., бурого угля – 2400 руб., ОВУТ – 1700 руб.

$$I_{\text{ку}} = 2000 \cdot 2900 = 5400000 \text{ рублей в год}$$

$$I_{\text{БУ}} = 2200 \cdot 2400 = 5280000 \text{ рублей в год,}$$

$$I_{\text{ОВУТ}} = 2800 \cdot 1700 = 4760000 \text{ рублей в год,}$$

$$\mathcal{E}_{\text{КУ} \rightarrow \text{ОВУТ}} = 5400000 - 4760000 = 640000 \text{ рублей в год,}$$

$$\mathcal{E}_{\text{БУ} \rightarrow \text{ОВУТ}} = 5280000 - 4760000 = 520000 \text{ рублей в год.}$$

Реализация данного проекта потребует больших капиталовложений, которые пойдут на разработку проекта, приобретение технических средств и оборудования и их монтаж. Использование такого проекта в районной котельной будет являться экономически эффективным, показатель экономической эффективности составил 640000 и 520000 рублей в год при переводе котлоагрегата с каменного и бурого угля на суспензионное топливо.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б4В	Ткаченко Павел Петрович

<b>Инженерная школа энергетики</b>		<b>Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова</b>	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Создание автоматизированной системы подачи суспензионного топлива в топочную камеру сгорания водогрейного котла.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства).</li> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты).</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
23.04.2018	

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Ткаченко Павел Петрович		

## 7. Социальная ответственность

Социальная ответственность – это сознательное отношение какого-либо субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, социальных ценностей, норм, задач и правил, а также гражданского долга, понимание субъектом последствий осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Социальная ответственность подразделяется на корпоративную и индивидуальную. Корпоративная социальная ответственность – это идея в рамках которой организации учитывают интересы общества и возлагают на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны современного общества. Согласно данной концепции организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников, их семей, а также местного сообщества и общества в целом. При этом корпорации получают многочисленные преимущества от того, что работают на более широкую и продолжительную перспективу, чем собственная краткосрочная прибыль.

Среди социальных вопросов на производстве особое место занимают работа по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия. Главной задачей охраны труда, является создание условий для безопасной трудовой деятельности человека, т.е. создание таких условий труда, которые исключают воздействия вредных факторов производства на рабочих.

В данной работе была спроектирована система подачи суспензионного топлива в водогрейном котле КВа-1,0. Данная система предполагает установку в котельных, и работу в полуавтоматическом режиме. Использование данной системы на практике является очень актуальным, так как при применении суспензий снизится стоимость на производимое тепло. Пользователями данной системы могут выступать частные предприниматели, а также государство. При переводе стандартной районной котельной на АСУ, работающую на ВУТ и ОВУТ, уменьшится количество необходимого персонала и снизится стоимость тепловой энергии. Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который будет отслеживать расход суспензии в топку котла и осуществлять обслуживание системы. При выполнении этих работ на оператора могут воздействовать следующие вредные факторы:

- 1) повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- 2) повышенная влажность;
- 3) повышенная загазованность воздуха;
- 4) недостаточная освещенность рабочего места;
- 5) физические перегрузки;
- 6) воздействие открытого огня.

## 7.1 Производственная безопасность

### 7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Как известно, котельные не работают в полном объеме в летнее время года. Вся нагрузка приходится на зимний период времени. Весной и осенью нагрузка одинакова. При работе котельной на угле, уносится большое

количество пыли вместе с дымовыми газами. Эти показатели значительно снизятся при использовании ВУТ и ОВУТ. Выбросы вредных веществ также снизятся, при правильном регулировании расхода топлива и воздуха. Все перечисленные факторы сильно воздействуют на окружающую среду, но при переходе на водоугольную композицию, освободятся многие территории, используемые под хранение отходов углеобогащения. Социальной составляющей, при переходе на такую систему, будет являться снижение цены на отопление и горячую воду.

Котлоагрегат на суспензионном топливе представляет опасность, как и котлы на привычных видах топлив, таких как уголь мазут и газ. Опасным фактором, при использовании котла, является количество выбросов, как в атмосферу, так и в помещение, где установлен агрегат. Для уменьшения количества концентрации выбросов проводят операции: установка очистительного оборудования для дымовых газов, герметизация технологических отверстий котельного агрегата, добавление, способствующих снижению концентрации выбросов, составляющих топлива.

Так как для сжигания топлива необходимы высокие температуры, то в помещении, где установлен котел, нужна вентиляция, для обеспечения нормальных условий работы персонала. Также вентиляция позволит решить проблему повышенной влажности. Для защиты от высокой температуры, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда.

Шум ухудшает условия труда, оказывая воздействие на организм человека. Процесс подачи топливовоздушной смеси является шумным, так как необходимо создавать высокое давление.

### 7.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве

При монтаже котельного агрегата необходимо руководствоваться инструкцией производителя, так как такой агрегат является опасным производственным объектом. Установка топливных и воздушных форсунок должна производиться в соответствии с требованиями, так как давление подачи топливоздушная смеси большое, и неправильный монтаж может привести к взрыву агрегатов и приборов. Также при монтаже технических средств автоматизации важна электробезопасность.

### 7.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

Для предотвращения ожога при работе возле котельного агрегата необходима специализированная одежда, и выполнение техники безопасности для котельной.

Для предотвращения возможности поражения электрическим током был проведен ряд мероприятий, а также соблюдаются требования:

- при производстве монтажных работ используются только исправные инструменты, аттестованные службой КИПиА;
- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов были заземлены;
- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели были запрещены;

- все работы по устранению неисправностей производятся квалифицированным персоналом;

- постоянное наблюдение за исправностью электропроводки.

Для уменьшения воздействия шума на организм человека были проведены следующие мероприятия:

- ослаблен шум в самих источниках: в электрических машинах, механизмах и других устройствах;

- проверена точность сборки деталей при ремонте;

- предотвращена работа с перегрузкой и обрыв одной фазы электродвигателей, что обычно приводит к шуму.

Для уменьшения загазованности и влажности в помещении устанавливается вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно, кроме летнего периода времени, что связано с остановкой котельной.

## 7.2 Экологическая безопасность

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

### 7.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

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

Наибольшую опасность для биосферы и для здоровья человека представляют не имеющие средств очистки дымовых газов многочисленные теплоисточники малой мощности, размещаемые, как правило, в пределах небольших населенных пунктов.

### 7.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду

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

Негативное влияние вредных компонентов на здоровье населения, флору и фауну, объекты и сооружения не ограничивается территорией, прилегающей к источникам выбросов, а распространяется на сотни и тысячи километров. Поэтому в настоящее время загрязнение окружающей среды приобретает

глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

### 7.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

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

Регулирование температуры в топке котла является одним из важных аспектов в системе топливо сжигания, так как наибольшее влияние на образование оксида азота оказывает температура. С ее ростом от 1500 до 2200 К выход оксида азота увеличивается примерно в 10 раз, в то время как пятикратное увеличение концентрации кислорода повышает выход NO лишь в 2 раза.

Улавливание сернистых соединений в выбросах тепловых станций и различных производств является одним из наиболее сложных и трудоемких процессов по следующим причинам: количество выбрасываемых газов очень велико; поглощение сернистых соединений сопровождается отложением солей кальция и магния на стенках труб, т.е. забиванием аппаратуры. Сероочистка угля и мазута разработана недостаточно и применяется в ограниченном объёме. Поэтому в мировой практике, как правило, очищают от серы дымовые газы, для чего применяют различные процессы. Их можно разделить на три главные группы: процессы с применением жидких поглотителей – абсорбционные (мокрые) и процессы, основанные на взаимодействии газа с твердым веществом – адсорбционные и каталитические (сухие). Преимущественно в этих процессах поглотителем служат известняк или известь.

Таким образом, для снижения выбросов токсических веществ в атмосферу и повышения энерго-экологической эффективности теплоэнергетики реализуются несколько направлений, среди которых можно выделить выполнение природоохранных мероприятий; использование мероприятий по энергосбережению; внедрение экологического мониторинга; стимулирование развития научных исследований и практического применения новейших научных достижений и научно-технических разработок.

### 7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

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

- 1) укрытие в защитных сооружениях;
- 2) проведение эвакуационных мероприятий;
- 3) использование средств индивидуальной защиты.

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

### 7.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

В котельной наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо складировать для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние штабелей путем внешнего осмотра и измерения температуры в штабелях. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, наличие пятен на увлажненной поверхности штабеля. Если появились признаки самовозгорания топлива, то необходимо в первую очередь начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе.

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

### 7.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве

При установке оборудования автоматизации, особое требование предъявляется к качеству монтажа технических средств. Некачественный монтаж может привести к утечке горячего топлива или воздуха, что может стать причиной возгорания. Поэтому такой монтаж производят слесари КИПиА с разрядом не ниже 4, ведь от их квалификации и качества выполнения монтажных работ зависят жизни людей. Помимо риска обслуживающего персонала, существует риск оставить людей в зимний период времени без теплоснабжения, что приведет к серьезным последствиям.

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

Были проведены следующие противопожарные мероприятия:

– помещение было оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; проверена исправность электрической проводки осветительных приборов и электрооборудования;

– каждый сотрудник знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения. Помещение обеспечено следующими средствами пожаротушения:

- аэрозольный огнетушитель - генератор огнетушащего аэрозоля «Допинг 2» – 1 шт;
- углекислотный огнетушитель ОУ-5 - 1 шт;
- ящик с песком на 0,5 м - 1 шт;
- железные лопаты - 2 шт.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

Ни в коем случае нельзя допускать применения при растопках котлоагрегатов керосина, бензина или других пожароопасных жидкостей, так как применение вышеуказанных жидкостей при растопках приводит к возникновению пожара. К возникновению пожара приводят неисправная электропроводка в котельной, а также оседающая на пол, стены, на котлы и в другие места топливная горячая пыль, которая может в любое время загореться, и пламя быстро распространится по всему помещению.

Признаками самовозгорания являются повышение температуры, наличие пятен на увлажненной поверхности штабеля. Если появились признаки самовозгорания топлива, то необходимо в первую очередь начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе. Не следует заливать очаги горения в штабеле водой, так как это интенсифицирует процесс самовозгорания. Для ликвидации очагов горения штабель вскрывают, переносят очаги горения на специальную площадку и на ней заливают водой. Запасы топлива на резервных складах необходимо все время обновлять, расходуя в первую очередь штабеля, в которых температура поднялась до 40–60 °С.

#### 7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция, т. е. законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей. Существуют принятые нормы в области охраны труда:

- 1) на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат производственной деятельности предприятия;
- 2) единые нормативные требования по охране труда;
- 3) защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве.

##### 7.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Оператор котельный обязан проходить инструктаж по технике безопасности раз в 3 месяца, также соблюдать правило пожарной безопасности, не оставляя котел без присмотра. Предприятие, к которому относится котельная, должно обеспечить оператора спецодеждой, спец-обувью и другими

средствами защиты. Остановка котла во всех случаях, кроме аварийной остановки, должна производиться после получения на это распоряжения администрации предприятия. В конце рабочего дня оператору необходимо сдать дежурство, сделав отметку в журнале. Также, оператору должны выдаваться средства индивидуальной защиты дыхательных путей.

#### 7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Каждый работник имеет право на охрану труда, в том числе:

- 1) на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов;
- 2) на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей;
- 3) на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

Также, для комфортной работы помещение должно соответствовать нормам освещения. Рабочее место должно быть оснащено обеденным местом и средствами гигиенического ухода.

#### 7.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

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

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

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

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;

- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве;

- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;

- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;

- отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

Социальная роль разработки АСУ впрыска суспензионного топлива – снижение пагубных факторов на окружающую среду и снижение тарифа на горячую воду для населения.

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система впрыска суспензионного топлива в топочную камеру сгорания.

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

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

Также спроектирован и собран макет топочной камеры для определения оптимальных параметров впрыска суспензионного топлива и основных характеристик капель. Результатом проведенных экспериментов являются рекомендуемые значения рабочего давления и концентраций распыляемого топлива, а также размеров частиц сухой составляющей суспензии.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки конструкторской документации и мнемосхемы. Кроме того, произведен расчет параметров настройки регулятора и определены прямые оценки качества, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Срок окупаемости проекта составил 1,5 года.

Основные публикации автора бакалаврской работы:

1. Павленко, М. И.; Девяшина, Е. В.; Андрейченко, А. Е.; Ткаченко, П. П. Разработка пособия по сборке и применению двигателя постоянного напряжения // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм

молодых : сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, г. Томск, 22-24 апреля 2015 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — [С. 439-441].

2. Valiullin T.R., Legros J.C., Tkachenko P.P. Statistical Analysis of Consequences Caused by the Collisions of Soaring Drops of Organic Coal-Water Fuel // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 91 : Smart Grids 2017 : The Fourth International Youth Forum, October 10-14, 2016, Tomsk, Russia : [proceedings]. — [01001, 4 p.].

3. Ткаченко П. П. Светоиндуцированная газификация продуктов угольной промышленности / П. П. Ткаченко ; науч. рук. П. А. Стрижак // Интеллектуальные энергосистемы : труды V Международного молодёжного форума, 9-13 октября 2017 г., г. Томск : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 1. — [С. 145-148].

4. Ткаченко П. П. Автоматизация розжига горелок котла ТГМ-84 / П. П. Ткаченко ; науч. рук. П. А. Стрижак // Интеллектуальные энергосистемы : труды V Международного молодёжного форума, 9-13 октября 2017 г., г. Томск : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 1. — [С. 155-159].

5. Зайцев А. С. Ткаченко, П. П. Белоногов, М. В. Газификация водоугольных топливных смесей, приготовленных из промышленных отходов, под действием лазерного излучения / А. С. Зайцев и др. ; науч. рук. П. А. Стрижак // Интеллектуальные энергосистемы : труды V Международного молодёжного форума, 9-13 октября 2017 г., г. Томск : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 1. — [С. 224-228].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chayka O.G., Kovalchuk O.Z., Chayka Y.A. Monitoring the formation of waste oils. Proceedings Scientific works // Lviv, Lviv Polytechnic. – 2009. – P. 221–224.
2. Исламов С. Р. Уголь как низкоуглеродное топливо// Уголь. 2017. № 4. С. 50-52.
3. Глушков Д. О., Стрижак П. А., Чернецкий М. Ю. Органоводоугольное топливо: проблемы и достижения (обзор)// Теплоэнергетика. – 2016 – № 10, с. 31-41.
4. Исламов С. Р., Кочетков В. Н., Степанов С. Г. Газификация угля: прошлое и будущее // Уголь. 2006. № 8. С. 69-71.
5. Ходаков Г. С. Водугольные суспензии в энергетике // Теплоэнергетика. 2007. № 1 С. 35-45.
6. Shlegel N.E., Kats M.D., Glushkov D.O. The Influence Of Mass Fraction Of Dressed Coal On Ignition Conditions Of Composite Liquid Fuel Droplet // MATEC Web of Conferences. – 2015. – V. 37, Article number 01051. – P. 157–168.
7. International Energy Outlook with projections to 2040. Washington: U.S. Energy Information Administration, 2013. 234 p. <http://www.eia.gov>
8. BP Statistical Review of World Energy. London: BP, 2015. 48 p. <http://www.bp.com>
9. Coal Facts 2014. Based on data provided by the International Energy Agency and the BP Statistical Review of World Energy. London: World Coal Association, 2014. 3 p.
10. Glushkov D.O., Shlegel N.E., Strizhak P.A., Vershinina K.Y. Heat transfer under ignition of droplet of composite liquid fuel made of coal, water and oil

in an oxidant flow // *Advances and Applications in Fluid Mechanics*. – 2016. – Vol. 19. – № 1. – P. 157–168.

11. Bukhonov D.Yu., Morozov V.V. Efficiency of the multipurpose use of solid fuel at thermal power stations // *Thermal Engineering*. – 2003. – V. 50. – P. 1039–1042

12. Khodakov G. S., Gorlov E. G., and Golovin G. S. Production and pipeline transportation of coal-water slurry fuel // *Solid Fuel Chemistry*. – 2006. – V. 40. – P. 19–35.

13. Lior N. The present situation and possible paths to the future // *Energy*. – 2008. – V. 33. – P. 842–857.

14. Gajewski W., Kijo-Kleczkowsk A., Leszczynski J. Analysis of cyclic combustion of solid fuels // *Fuel*. – 2009. – V. 88. – P. 221–234.

15. Няшина Г.С., Шлегель Н.Е., Стрижак П.А. Анализ антропогенных выбросов при сжигании угольных топлив и отходов углепереработки // *Кокс и химия*. – 2017. – № 4. – С. 40–46.

16. Lishtvan I.I., Falyushin P.L., Smolyachkova E.A., Kovrik S.I. Fuel suspensions based on fuel oil, peat, waste wood, and charcoal // *Solid Fuel Chemistry*. – 2009. – V. 43. – P.1–4.

17. Red'kina N.I., Khodakov G.S., Gorlov E.G. Coal fuel slurry for internal combustion engines // *Solid Fuel Chemistry*. – 2013. – V. 47. – P. 306–314.

18. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Mathematical simulation of the ignition of coal particles in airflow // *Solid Fuel Chemistry*. – 2015. – V. 49, № 2. – P. 73–79.

19. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Low-Temperature Ignition of Coal Particles in an Airflow // *Russian Journal of Physical Chemistry*. – 2015. – V. 9, № 2. – P. 242–249.

20. Glushkov D.O., Strizhak P.A., Vysokomornaya O.V. Numerical research of heat and mass transfer during low-temperature ignition of a coal particle // *Thermal Science*. – 2015. – V. 19, № 1. – P. 285–294.

21. Khodakov G.S. Coal-water suspensions in power engineering// Thermal Engineering. – 2007. – V. 54. – P. 36–47.
22. Lior N. Energy resources and use: The present situation and possible paths to the future // Energy. – 2008. – V. 33. – P. 842–857.
23. Kijo-Kleczkowska A. Combustion of coal-water suspensions // Fuel. – 2011. – V. 90. – P. 865–877.
24. Wilczyńska-Michalik W., Moryl R., Sobczyk J., Michalik M. Composition of coal combustion by-products: The importance of combustion technology // Fuel. – 2014. – V. 124. – P. 35–43.
25. Heat Mass Transfer Simulation Laboratory. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/portal/page/portal/hmtslab> свободный. – Загл. с экрана.
26. Jianzhong L., Ruikun W., Jianfei X., Junhu Z., Kefa C. Pilot-scale investigation on slurring, combustion, and slagging characteristics of coal slurry fuel prepared using industrial waste liquid // Applied Energy. – 2014. – V. 115. – P. 309–319.
27. Котел водогрейный КВа-1,0 (КВа-0,86). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kvzr.ru/boiler-fired-kva-10.html> свободный. – Загл. с экрана.
28. Ключев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
29. Волошенко А.В., Медведев В.В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 120 с.
30. ООО «Элемер». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elemer.ru/files/catalog/glavi/ts.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

31. Промышленная группа «Метран». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ru-RU/brands/Metran/products/Pages/catalog.aspx> свободный. – Загл. с экрана.
32. ООО «Элемер». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elemer.ru/files/catalog/glavi/tp.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
33. Википедия. Датчик давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Датчик\\_давления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Датчик_давления) свободный. – Загл. с экрана.
34. ООО «Элемер». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elemer.ru/files/catalog/glavi/elemer100.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
35. Промышленная группа «Метран». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ru-ru/brands/metran/pages/index.aspx> свободный. – Загл. с экрана.
36. SIMATIC S7-200 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ste.ru/siemens/contr.html> свободный. – Загл. с экрана.
37. ВЭСТ-02 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npowest.ru/.html> свободный. – Загл. с экрана.
38. ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.owen.ru/uploads/rie\\_plk63\\_1001.pdf](http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
39. Промышленная группа «Элемер». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elemer.ru/files/catalog/glavi/elemer100.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
40. Промышленная группа «Метран». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Metran%20Documents/Catalog/Catalogues/D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

41. ООО «Элемер». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.elemer.ru/production/flowmeters/flonet/flonet\\_fn\\_20xx\\_1.php](http://www.elemer.ru/production/flowmeters/flonet/flonet_fn_20xx_1.php) свободный. – Загл. с экрана.

42. «Эмис». Электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj\\_rashodomer/](http://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj_rashodomer/) свободный. – Загл. с экрана.

43. Промышленная группа «Метран». Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Metran%20Documents/Catalog/Catalogues/B3.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

44. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/53.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

45. Блоки управления БУЭР 1-30, схемы подключения технических средств измерения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elkont.ru/> свободный. – Загл. с экрана.

46. Ильина И.Л. Проектирование автоматизированных систем: Учебное пособие. Часть 1/ – Ангарск: Изд-во АГТА, 2005. – 150 с.

47. ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.owen.ru/uploads/rie\\_plk63\\_1001.pdf](http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf) свободный. – Загл. с экрана.

48. Электрокомплект сервис. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://e-кc.ru/cena/cable-kvvvg-10-1\\_5](https://e-кc.ru/cena/cable-kvvvg-10-1_5) свободный. – Загл. с экрана.

49. Резисторы С2–С3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.reom.ru/page.php?pageId=5&topic=43&catId=269> свободный. – Загл. с экрана.
50. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие: – Томск: Изд-во Томского Политехнического Университета, 2011. –108 с.
51. ООО «Электропоставщик». Кабельно-проводниковая продукция, кабель АКРВБГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cable.ru/cable/group-akrvbg.php> свободный. – Загл. с экрана.
52. Электрокомплект сервис. Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://e-ks.ru/cena/cable-kvvg-10-1\\_5](https://e-ks.ru/cena/cable-kvvg-10-1_5) свободный. – Загл. с экрана.
53. Волошенко А.В., Медведев В.В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 120 с.
54. Электронные средства сбора, обработки и отображения информации. Мнемосхемы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ie.tusur.ru/books/COI/page\\_38.htm](http://www.ie.tusur.ru/books/COI/page_38.htm) свободный. – Загл. с экрана.
55. СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР\\_ориг1.htm](http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm) свободный. – Загл. с экрана.

**Приложение А – Заказная спецификация средств автоматизации**

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
1а, 2а	Измерительный преобразователь с унифицированным выходным сигналом, диапазон измерения: 0...100 °С, выходной сигнал 4...20 мА, предел допускаемой основной погрешности ± 0,25%, НСХ 100М. ООО «Элемер», г Зеленоград	Элемер ТСМУ –205	2
3а	Измерительный прибор аналоговый, предел допускаемой основной приведенной погрешности ±0.5 %. Выходной сигнал 4 ... 20 мА., Первый канал: шкала 600 ... 1800 °С, ООО «Элемер», г Зеленоград	Элемер ТП-0395/2	1
4а	Расходомер электромагнитный, выходной унифицированный сигнал 4...20 мА, диапазон измерения: 0,2...20 л/с, максимальное давление 4 МПа, предел допускаемой основной погрешности ± 0,2%, степень защиты IP68. ООО «Элемер», г Зеленоград	Flonet FN20XX.1	1
5а	Преобразователь давления, выходной унифицированный сигнал 4...20 мА, диапазон измерения: 0,04 ... 100 кПа, предел допускаемой основной погрешности ± 0,25%. ООО «Элемер», г Зеленоград	Элемер-100 ДВ	1
6а	Преобразователь давления, выходной унифицированный сигнал 4...20 мА, диапазон измерения: 0,063 кПа... 16 МПа, предел допускаемой основной погрешности ± 0,25%. ООО «Элемер», г Зеленоград	Элемер-100 ДД	1
7а	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
<b>ФЮРА.421000.012 С01</b>			
Выполнил	Ткаченко П.П.	Спецификация приборов и средств автоматизации	Станд
Проверил	Стрижак П.А.		Лист
			Трп
Н. контр	Медведев В.В.		Листов
Утв.	Стрижак П.А.		1
			2
			ТПУ
			ИШЭ
			Группа
			554В

<i>Позиция</i>	<i>Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации</i>	<i>Тип и марка прибора</i>	<i>Кол</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>7δ</i>	<i>Блок управления электродвигателем реверсивный, входной сигнал управления 24 ± 6 В, климатическое исполнение УХЛ 4.2. ЗАО «Волмаг», г. Чебоксары.</i>	<i>БЧЭР1-30-02</i>	<i>2</i>
<i>7в</i>	<i>Механизм электроисполнительный однооборотный. в составе с таковым блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 2015. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.</i>	<i>МЭ0-250/25-0,25-Р-99</i>	<i>1</i>
<i>8в</i>	<i>Механизм электроисполнительный прямоходный в составе с таковым блоком сигнализации положения штока; год разработки – 2015. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.</i>	<i>МЭПК-800/63-40Х-99</i>	<i>1</i>
<i>ФЮРА.421000.012 С01</i>			<i>Лист</i>
			<i>2</i>