

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Разработка системы управления процессом приготовления топлива в форме органоводоугольных суспензий

УДК 621.182.2-66-026.743

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Косинцев Андрей Георгиевич		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. Менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2017 г.

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

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

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

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

---

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой АТП  
\_\_\_\_\_ Стрижак П.А.

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

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5БЗВ	Косинцеву Андрею Георгиевичу

Тема работы:

Разработка системы управления процессом приготовления топлива в форме органоводоугольных суспензий	
Утверждена приказом директора №	3316/с

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обзорные публикации и монографии с основными достижениями в области создания и использования композиционных топлив на основе промышленных отходов и низкосортных углей.</li><li>2. Схемы и описание работы современных котельных агрегатов (в том числе НР-18) различной мощности, работающих на композиционных топливах.</li><li>3. Экспериментальные стенды и разработанные в ТПУ методики проведения исследований для изысканий в рамках бакалаврской работы.</li><li>4. Библиотека перспективных компонентов органоводоугольных суспензий с известными свойствами.</li><li>5. Требования к системе управления циклов приготовления топливных композиций:<ul style="list-style-type: none"><li>- трехуровневая система;</li><li>- на основе микропроцессорной техники;</li><li>- приготовление смесей из не менее, чем 3 компонентов;</li></ul></li></ol>
--------------------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечение 3 режимов управления;</li> <li>- обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 075.</li> </ul>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Исследовательские изыскания.</li> <li>2 Проектирование САУ топливоприготовления.</li> <li>3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего уровня и полевого.</li> <li>4 Разработка щита управления САУ топливоприготовления.</li> <li>5 Расчет параметров настройки регулятора.</li> <li>6. Мнемосхема проекта.</li> <li>7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>8 Социальная ответственность.</li> </ol>
Перечень графического материала	<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
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович

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

#### **Задание выдал руководитель:**

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

#### **Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Косинцев Андрей Георгиевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 90 с., 18 рис., 18 табл., 48 источников.

Ключевые слова: топливоприготовление; органоводоугольное топливо; смеси промышленных отходов; автоматизированная система управления; средства автоматизации; теплотехника; теплоэнергетика; проектирование.

Объектом автоматизации является система топливоприготовления котла НР-18.

Цель работы – разработка на основе микропроцессорных средств автоматизации системы управления процессом приготовления топлива в форме органоводоугольных суспензий для котла типа НР-18.

В процессе выполнения работы проводились: экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы автоматизированной системы топливоприготовления, расчет параметров настройки регулятора, разработка функциональной схемы, разработка принципиальной электрической схемы и общего вида щита управления, выбор приборов и технических средств автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

В результате исследования разработана система управления процессом приготовления топлива в форме органоводоугольных суспензий на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Одним из преимуществ разработанной системы является наличие программно-оперативного комплекса с использованием SCADA-системы, который предоставляет возможность вовремя отреагировать на любую сложную ситуацию в процессе эксплуатации системы, а также удаленно поддерживать функционирование системы в целом. Обеспечиваются 3 режима управления: ручной, автоматический, дистанционный.

## Обозначения и сокращения

ОВУТ – органоводогольное топливо;

ВУТ – водоугольное топливо;

КЖТ – композиционное жидкое топливо;

Фильтр-кек – типичные отходы углепереработки;

Кек Д – отходы углеобогащения каменного угля марки Д;

Кек К – отходы углеобогащения каменного угля марки К.

## Оглавление

Введение.....	10
1 Исследовательские изыскания.....	16
2 Разработка САУ топливоприготовления.....	26
2.1 Выбор структуры САУ.....	31
2.2 Разработка функциональной схемы САУ расхода топлива.....	34
2.3 Выбор технических средств и составление заказной спецификации ....	36
2.3.1 Выбор регулирующего устройства.....	36
2.3.3 Выбор исполнительного механизма.....	39
2.3.4 Выбор блока управления исполнительным механизмом.....	40
2.3.5 Выбор калориметра.....	41
3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего и полевого уровней.....	44
4 Разработка щита управления, монтажной и принципиальной схем САУ топливоприготовления.....	47
4.1 Разработка принципиальной схемы САУ топливоприготовления.....	47
4.2 Разработка монтажной схемы САУ топливоприготовления.....	48
4.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции САУ.....	50
5 Расчет параметров настройки регулятора.....	52
5.1 Идентификация объекта управления.....	52
5.1 Расчет параметров настройки регулятора.....	55
6 Мнемосхема проекта.....	61
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	65
7.1 Перечень работ и оценивание времени их выполнения.....	65
7.2 Смета затрат на проект.....	67
7.2.1 Материальные затраты.....	67
7.2.2 Амортизация компьютерной техники.....	67
7.2.3 Затраты на заработную плату.....	68
7.2.4 Затраты на социальные нужды.....	69
7.2.5 Прочие затраты.....	69
7.2.6 Накладные расходы.....	69
7.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	70
7.4 Определение экономической эффективности проекта.....	71
8 Социальная ответственность.....	73

8.1 Производственная безопасность .....	74
8.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	74
8.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве .....	74
8.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов .....	75
8.2 Экологическая безопасность .....	77
8.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду .....	77
8.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду .....	77
8.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	78
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	79
8.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	79
8.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве.....	80
8.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	80
8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	81
8.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	81
8.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	81
8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность» .....	82
Заключение .....	84
Список использованных источников .....	86

Графический материал:            на отдельных листах

ФЮРА.421000.010 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.010 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.010 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.010 ВО	Общий вид щита автоматизации

## Введение

В течение последних лет отмечается стабильный рост добычи и потребления твердого топлива в мире. Большая часть добываемого угля в настоящее время обогащается. Например, в Кузбассе обогащается более половины 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). К примеру, в Кузбассе таких залежей ежегодно образуется более 2.5 млрд. тонн. 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.

За последние 30 лет мировым научным сообществом разработана группа технологий утилизации отходов переработки углей. В частности, можно выделить приготовление органоводоугольных топливных (ОВУТ) композиций и их сжигание в энергетических установках [2–8]. 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 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, [2–8]) процессов подготовки и

сжигания водоугольных топливных композиций с использованием углей разной степени метаморфизма. Результаты [2–8] дают понимание об основных закономерностях процессов зажигания и горения ОВУТ. Разработаны [2–12] 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. Однако современные представления на основе исследований [2–12] все-таки довольно ограничены, с точки зрения понимания влияния компонентов водоугольных суспензий на характеристики процессов зажигания. Кроме того, 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. Например, в Австралии и ЮАР обогащается 100 % угля, а в среднем в мире проходит обогащение около 80 % угля от объемов добычи. В результате чего каждый год образуется множество высокосольных 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 нефтей, отработанных горючих жидкостей (трансформаторных, турбинных, моторных, машинных масел), низкосортных нефтей также исчисляются миллионами тонн в год. География регионов, заинтересованных в их утилизации, очень широкая (Европа, Азия, Африка, Южная и Северная Америка). Также особый интерес утилизация таких продуктов актуален для районов Кузбасса, где уже действуют котлы на ОВУТ в тестовом режиме.

В последние годы выполнено несколько экспериментальных исследований (например, [13–18]) процессов сжигания капель суспензий ОВУТ на основе углей, отработанных масел и водонефтяных эмульсий. Показано [13–18], что суспензии ОВУТ могут быть использованы в качестве основных топлив для многих энергетических установок. Однако в качестве основных компонентов ОВУТ в экспериментах [15–17] 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 ОВУТ использовать отходы переработки и обогащения этих углей (например, фильтр-кек). Объемы последних к 2020 году могут вырасти в несколько раз [1]. Актуальна задача создания ОВУТ 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 ОВУТ 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 [19–21] до соответствующих (более 1200 К) современных энергетических установкам, блокам и агрегатам.

Процессы приготовления ОВУТ, транспортирования и сжигания находятся на начальном этапе исследований [22–25]. Теоретические основы соответствующих технологий до настоящего времени не разработаны. На данный момент в тестовом режиме работают системы топливоприготовления

в Кузбассе. Кек в котельную привозится саморазгружающимся грузовым автомобилем и разгружается в приемную емкость, оборудованную перемешивателем в виде шнека с электрическим приводом. В приемной емкости кек перемешивается с добавлением небольшого количества воды (при необходимости) и реагента-пластификатора до получения необходимой текучести топлива. После перемешивания кек в приемной емкости и получения готового для сжигания ВУТ, оно из приемной емкости перекачивается активатором в расходную емкость. Проходя активатор ВУТ 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.

В условиях лаборатории органоводоугольное топливо можно приготовить с помощью диспергатора (гомогенизатора), например, MPW-302. Водомасляная эмульсия подготавливается на первом этапе. Компоненты ОВУТ, в соответствии с необходимыми концентрациями добавляются в стакан гомогенизатора после взвешивания на аналитических весах. Компоненты эмульсии смешиваются порядка 3-4 минут, после чего в рабочий стакан добавляется кек, аналогично в соответствии с необходимой его концентрацией в топливной суспензии.

В рамках бакалаврской работы предстояло выполнить экспериментальное исследование энергетических характеристик ОВУТ, полученных на основе фильтр-кек каменных углей и отработанных масел, а

также определение свойств и концентраций основных компонентов для энергоэффективного сжигания и приготовления таких топливных композиций в энергетических установках. На основе полученных экспериментальных данных необходимо было спроектировать автоматизированную систему управления процессом приготовления топлива в форме органоводоугольных суспензий.

В Томском политехническом университете на кафедре автоматизации теплоэнергетических процессов проводятся исследования процессов приготовления и сжигания ОВУТ на основе промышленных отходов. Рассматривается множество органоводоугольных топлив, а также процессы, которые происходят при горении такого вида топлива, также принимается во внимание способ приготовления ОВУТ, 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 ОВУТ;

- влияния органической составляющей топлива на характеристики его зажигания и горения;
- влияния марок угля на характеристики его горения;
- зависимости между временем приготовления топлива и его скоростью зажигания (инерционность);
- систем автоматизированного управления процессами сжигания и приготовления органоводоугольных топлив.

Для науки будет актуально получение информации о процессах тепломассопереноса при горении водоугольного топлива в условиях, близких к сжиганию в реальных котлоагрегатах. Суспензии ОВУТ 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 ОВУТ, а также способы автоматизации топливоприготовления и сжигания такого рода топлива.

Для промышленности использование ОВУТ тоже перспективно. Использование отходов углерепереработки в качестве топлива позволит существенно удешевить процесс производства тепловой и электрической энергии. Отопление производственных, складских, офисных и других зданий тем самым удешевится. Также уменьшатся издержки на производство энергии за счет снижения стоимости топлива. В настоящее время отходы углеобогащения, а также отработанные индустриальные масла имеют практически нулевую стоимость. Поэтому можно сделать вывод о том, что для предприятий, генерирующих энергию, использование водоугольного топлива имеет большую актуальность, так как это снизит в конечном итоге цену на услуги по предоставлению электрической и тепловой энергии. Обогастительным предприятиям перспективно использование нового вида топлива из-за того, что это приведет к избавлению от залежей отходов.

## 1 Исследовательские изыскания

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, натуральных испытаний, промышленного внедрения и опытной эксплуатации водоугольных и органоводоугольных технологий в течение последних 30 лет показали большую выгоду для человечества [4, 7, 10, 27, 29].

Во-первых, важен экономический эффект, заключающийся в расширении сырьевой энергетической базы за счет вовлечения низкосортных углей и многочисленных отходов угле – и нефтепереработки. Во-вторых, в последние годы выделены и энергетические преимущества ВУТ и ОВУТ по сравнению с традиционным пылевидным угольным топливом. Эти преимущества заключаются в основном в низкотемпературном (можно снизить температуру зажигания на 100–200 К) зажигании топлив и снижении пожарной опасности, свойственной процессам подготовки и транспортировки высокорекреационной угольной пыли на энергетических предприятиях.

Анализ исследований мирового научного сообщества (в частности, публикаций [29–31]) показывает, что основными компонентами ОВУТ и ВУТ может выступать довольно большая группа веществ. Твердые горючие компоненты: угли разных марок (древесный, бурый, каменный, антрацит), продукты и отходы углепереработки и углеобогащения.

Одной из основных проблем при использовании ВУТ и ОВУТ является меньшее тепловыделение по сравнению с традиционными угольными топливами. Это обусловлено главным образом тем, что в ОВУТ и ВУТ используются низкосортные угли или отходы переработки. Представляет интерес экспериментальное определение механизмов, позволяющих повысить тепловыделение при работе с ВУТ и ОВУТ. Проводить такие исследования на реально 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. Наиболее широко распространенным принято считать подход, основанный на подвешивании одиночной капли (частицы) ВУТ или ОБУТ на спале малоинерционной термодпары или керамических нитях (стержнях или проволочках). Основным преимуществом такого подхода является обеспечение возможности контроля температуры образца (капли или частицы) топлива и условий его стадийного горения.

Актуально на примере одиночной капли выполнить экспериментальный анализ максимальных температур горения ОБУТ при варьировании основных параметров процессов зажигания: температуры, размеров капли топлива, компонентного состава последнего.

В качестве твердых горючих компонентов ОБУТ применялись типичные отходы углепереработки – фильтр-кек (на основе каменных углей марок К, Д). Данные отходы образуются на углеобогатительных фабриках. В результате технологического процесса угольная порода промывается водой с применением поверхностно-активных веществ. В дальнейшем происходит разделение угля по фракциям на грохотах. Вода, использованная для промывки породы, подается в специальные емкости, где происходит осаждение частиц угля. Водоугольная суспензия откачивается и пропускается через ленточные пресс-фильтры для отжима воды. Влажный остаток (смесь воды и угля) представляет собой кек. Средний размер частиц угольной пыли в кек составлял не более 100 мкм. Такой размер частиц типичен для флотационных отходов и связан тем, что в промышленности наиболее востребованным и широко распространенным помолом обогащенных углей является диапазон 50–100 мкм. В табл. 1 и 2 приведены результаты технического и элементного анализа кек. В табл. 3 представлены: доля воды в исходном состоянии кек (т.е. при получении на углеобогатительных фабриках), а также измеренная теплота сгорания.

Таблица 1 – Результаты технического анализа образцов кек (в сухом состоянии)

Кек каменного угля	$A^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$Q_{s,v}^a$ , МДж/кг
марка К	26,46	23,08	24,83
марка Д	36,99	41,47	19,24

Таблица 2 – Результаты анализа элементного состава кек (в сухом состоянии)

Кек каменного угля	$C^{daf}$ , %
марка К	87,20
марка Д	73,27

Таблица 3 – Результаты анализа характеристик кек в исходном (влажном) состоянии

Кек каменного угля в исходном (влажном) состоянии	Массовая доля сухого вещества, %	$Q_{s,v}^a$ , МДж/кг
марка К	56,5	14,1
марка Д	43,2	8,3

В качестве жидких горючих компонентов ОБУТ применялось отработанное масло турбинное. В табл. 4 приведены результаты его технического анализа.

Таблица 4 – Результаты анализа характеристик жидких горючих компонентов

Название компонента	$\rho$ при 293 К, кг/м <sup>3</sup>	$W^a$ , %	$A^d$ , %	$T_f$ , К	$T_{ign}$ , К	$Q_{s,v}^a$ , МДж/кг
Отработанное турбинное	868	–	0,03	448	466	45,1

Для повышения стабильности (уменьшения эффекта расслоения) топливных композиций в составе ОБУТ использовался пластификатор Неолас (табл. 5).

Таблица 5 – Основные характеристики пластификатора

Показатель	Значение
Внешний вид	Бесцветная жидкость
Содержание ПАВ, %	25
pH раствора	6,5
Плотность при 293 К, кг/м <sup>3</sup>	954

Методика оценки сегментарной стабильности топливных суспензий аналогична использованной в опытах [32]. Применялся метод изучения расслоения, заключающийся в измерении объема слоя отделившейся временной водяной или водомасляной связки от основной массы при ее хранении и транспортировке. Наблюдение за процессом расслоения образцов проводилось с помощью мерных цилиндров емкостью 50 мл с ценой деления 1 мл. Испытуемые образцы топлив заливались в мерные цилиндры в объеме 50 мл. После выдержки времени в один час визуально определялся объем отделившейся (более прозрачной после просвечивания прожектором) связки ( $V_c$ ). Показатель устойчивости  $Y_I$  вычислялся относительно начального объема топлива  $V_0$  по формуле:  $Y_I = V_c/V_0$ . Считалось, что композиция органоводоугольного топлива расслоилась при достижении величины  $Y_I$  значения 0,05. Аналогичные методики определения длительности сохранения структурной стабильности топлив применялись в работах [26, 33, 34]. Основное отличие настоящей работы заключается в том, что в опытах [26, 33, 34] контроль проводился не по объему, а по высоте отделившейся связки (параметр  $Y_I$  вычислялся, как отношение соответствующих высот).

Установлено, что все топливные композиции сохраняют сегментарную стабильность в течение как минимум 6 дней. Поэтому принято решение проводить исследования со всеми композициями в течение времени, не превышающего 5 дней со дня приготовления ОБУТ.

Приготовление ОБУТ проводилось с использованием гомогенизатора (диспергатора) MPW-302. В соответствии с рекомендациями [26, 33, 34] на первом этапе подготавливалась водомасляная эмульсия. Компоненты (в соответствии с требуемой относительной массовой концентрацией вводились

вода и масло или другая горючая жидкость) добавлялись в гомогенизатор после предварительного взвешивания весами. Длительность процесса смешения компонентов водомасляной эмульсии составляла от 3 до 4 минут. Затем в стакан гомогенизатора с подготовленной эмульсией вводился кек. Длительность этого этапа процесса подготовки топливной суспензии составила от 8 до 10 минут. В среднем относительная массовая концентрация твердого горючего компонента изменялась от 30 до 60 %, воды – от 40 до 70 %, жидкого горючего компонента от 5 до 25 %, пластификатора – 0,5 %.

Схема стенда приведена на рисунке 1. В экспериментальном стенде можно выделить несколько характерных блоков и узлов: формирования потока разогретого окислителя, помещения капли топлива в камеру сгорания и контроля интегральных характеристик процессов горения.

Генерация капель ОБУТ выполнялась электронным дозатором Finnpiquette Novus (минимальный и максимальный дозируемые объемы –  $10^{-6}$  дм<sup>3</sup> и  $10 \cdot 10^{-6}$  дм<sup>3</sup>, шаг варьирования –  $0,1 \cdot 10^{-6}$  дм<sup>3</sup>. С использованием высокоскоростной камеры 10 (рисунок 1.1) Phantom Miro M310 и программного обеспечения Tema Automotive [35] определялся размер (радиус) капель органоводоугольного топлива. По среднему значению определялся радиус капли  $R_d$ . Систематическая погрешность определения  $R_d$  с соответствующими разрешениями видеокамеры не превышала 4 %. Начальные размеры капель изменялись в диапазоне от 0,5 до 2 мм.



Рисунок 1.1 – Схема экспериментальной установки: 1 – кварцевый цилиндр; 2 – нагнетатель; 3 – воздухонагреватель; 4 – пульт управления нагревательной установкой; 5 – малоинерционная термопара; 6 – термопара; 7 – регистратор; 8 – координатный механизм; 9 – капля топлива; 10 – высокоскоростная камера; 11 – компьютер; 12 – воздухоотвод; 13 – вытяжка

Нагнетателем 2 (мощность 0,25 кВт, расход газа не более 1200 дм<sup>3</sup>/мин.) и воздухонагревателем 3 (мощность 11 кВт, максимальная температура газа на выходе 1250 К) формировался поток атмосферного воздуха в полости цилиндра 1 (внутренний диаметр 0,1 м, длина 1 м) из кварцевого стекла. Скорость движения  $V_g$  и температура  $T_g$  потока окислителя в цилиндре 1 варьировались в диапазонах от 0,5 до 5 м/с и от 600 до 1200 К, соответственно. Скорость движения измерялась анемометром UnionTest AN110 (дискретность измерения 0,1 м/с) при  $T_g \approx 300$  К. Для контроля скорости движения окислителя  $V_g$  при высоких температурах  $T_g$  применение анемометра невозможно.

Поэтому аналогично опытам [26, 33, 34] применялся панорамный оптический метод PIV. Объемная концентрация кислорода в воздухе (после прохождения нагревателя) определялась при помощи газоанализатора Testo 340. В широких диапазонах варьирования значений скорости движения и температуры потока воздуха концентрация окислителя составляла около 20,5 %.

Капля ОБУТ с известным  $R_d$  после генерации дозатором подвешивались на спай малоинерционной термопары 5 (рисунок 1.1). Использовалась платина-платинородиевая термопара (диапазон измеряемых температур 273–1873 К, систематическая погрешность  $\pm 1$  К, инерционность не более 1 с). Измерялась температура  $T_d$  на границе “спай термопары – капля ОБУТ”. В первом приближении значение  $T_d$  можно считать температурой в центре капли. В каждом эксперименте контролировался процесс обволакивания спая термопары 5 пленкой ОБУТ. Допускаемое отклонение по толщине пленки относительно среднего значения принималось не более 10 %. Координатный механизм 8 (рисунок 1.1) перемещал термопару 5 с подвешенной на ее спае каплей ОБУТ в цилиндр 1. Скорость движения не превышала 0,5 м/с. Это обусловлено требованиями сохранения целостности капли, ее начального размера и положения на термопаре в процессе ввода в поток разогретого воздуха. Вторая аналогичная термопара использовалась для измерения температуры поверхности капли  $T_s$ . Во всех проведенных опытах эта термопара закреплялась таким образом, чтобы измерялась температура поверхности капли топлива со стороны натекающего потока окислителя.

В проведенных экспериментах регистрировались следующие параметры: температура  $T_g$  и скорость движения  $V_g$  потока воздуха, температура на границе “спай термопары – капля топлива”  $T_d$ , температура поверхности капли топлива  $T_s$ , начальный размер  $R_d$  капли, время задержки зажигания  $\tau_d$ , время полного сгорания  $\tau_c$ . Параметр  $\tau_d$  представлял время с момента ввода капли 9 в канал цилиндра 1 до выполнения критерия зажигания,

заключающегося в одновременном удовлетворении условий [32, 33]:  $T_d > T_g$  и  $dT_d/d\tau > 10$  К/с. Параметр  $\tau_c$  – время от момента ввода капли топлива в поток окислителя (рисунок 1.1) до полного выгорания образца, которое характеризовалось отклонением  $T_d$  относительно установившегося значения (при  $\tau \rightarrow \infty$ ) не более чем на  $0,05T_d^{\max}$  ( $T_d^{\max}$  – максимальная температура капли в течение процесса горения). Методики оценки систематических и случайных погрешностей определения основных параметров в проведенных экспериментах аналогичны описанным в [26, 33, 34]. Для обеспечения удовлетворительной повторяемости результатов экспериментов проводилось 6–8 опытов при идентичных условиях.

Эксперимент включал следующие стадии

1. Капля приготовленного топлива генерировалась дозатором и помещалась на спай термопары.
2. С применением координатного механизма капля ОБУТ перемещалась в камеру сгорания (цилиндр со специализированными технологическими отверстиями).
3. За счет непрерывной видеосъемки на входе в камеру сгорания фиксировались видеокадры, с применением которых определялся начальный радиус капли  $R_d$ , а также начинался отсчет времени задержки зажигания и полного сгорания топлива.
4. После торможения координатного с помещением капли на оси симметрии цилиндра начиналась регистрация температуры топлива тепловизором (проводилась мультисъемка с частотой 10 кадров в секунду). За счет непрерывной регистрации температур  $T_d$  и  $T_s$  на термопарах обеспечивался контроль температуры поверхности и в центре капли топлива.
5. После выполнения критерия зажигания  $T_d > T_g$  и  $dT_d/d\tau > 10$  К/с видеокамерой фиксировалось значение  $\tau_d$ .

6. После выполнения критерия полного сгорания топлива  $T_d = T_g \pm 0,05 T_d^{\max}$  видеокамерой фиксировалось значение  $\tau_c$ .
7. Затем спай термопары с зольным остатком вынимался координатным механизмом из камеры сгорания, очищался, охлаждался до температуры 300 К.
8. Тренды температуры автоматически сохранялись на регистраторе, который синхронизировался с персональным компьютером. С применением последнего регистрировались тренды, соответствующие стадиям зажигания топлива и определялись максимальные значения температуры топлива  $T_d^{\max}$ .

Основными результатами проведенных экспериментов являлись максимальные температуры горения ОВУТ и минимальные температуры, при которых зажигается топливо, а также время стабильности составов, приготовленных органоводоугольных топлив, которые приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Стабильность исследованных составов ОВУТ

Концентрации компонентов ОВУТ	Стабильность, суток
89,5 % кек “К”, 10 % отработанное турбинное масло, 0,5 % пластификатор	7
89,5 % кек “Д”, 10 % отработанное турбинное масло, 0,5 % пластификатор	7

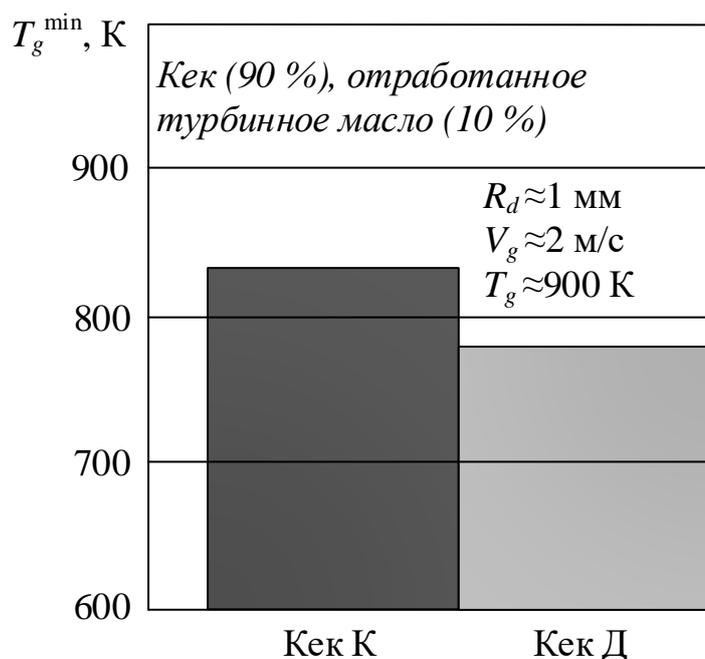


Рисунок 1.2 – Минимальные температуры зажигания органоугольных топлив для различных фильтр-кек с отработанным турбинным маслом (10 %) при скорости воздушного потока  $V_g = 2$  м/с и радиусе капле  $R_d = 1$  мм

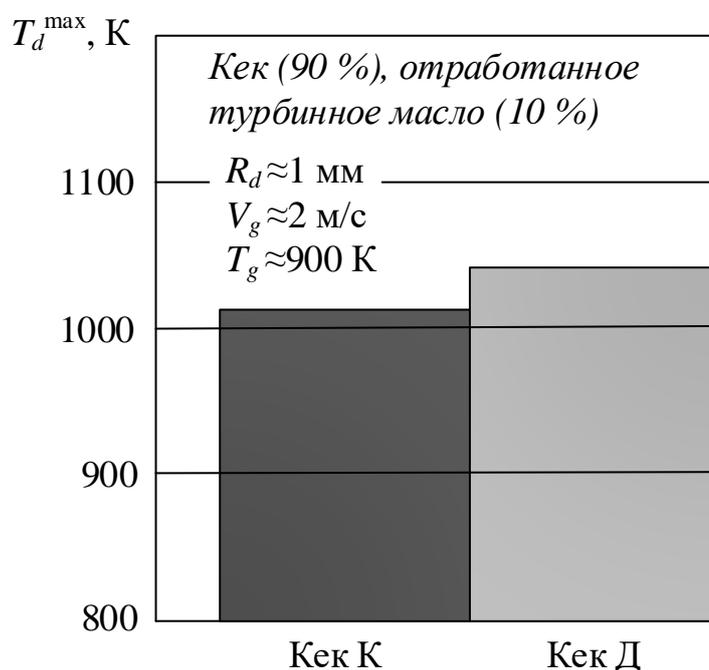


Рисунок 1.3 – Максимальные температуры горения органоугольных топлив для различных фильтр-кек с отработанным турбинным маслом (10 %) при скорости воздушного потока  $V_g = 2$  м/с и радиусе капле  $R_d = 1$  мм

## 2 Разработка САУ топливоприготовления

В данной работе в качестве объекта автоматизации выбрана система топливоприготовления для котельного агрегата НР – 18 мощностью 0,8 МВт, который предназначен для снабжения тепловой энергией различных зданий и сооружений.

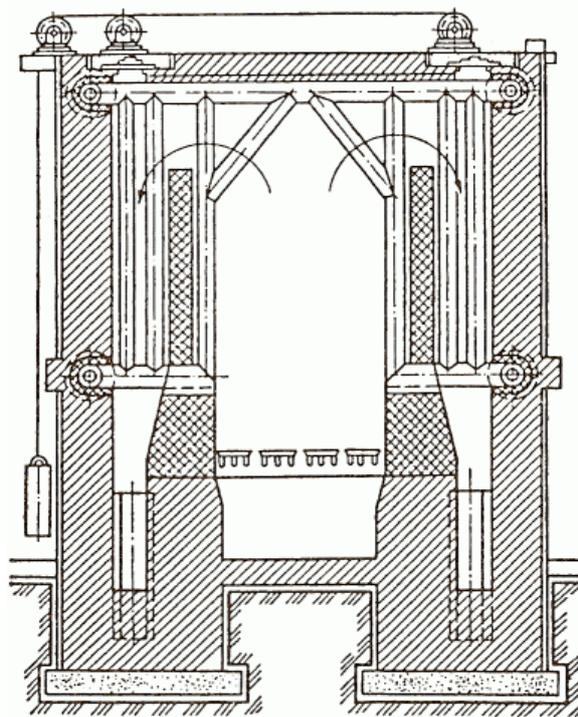


Рисунок 2.1 – Поперечный разрез котла НР-18 с пакетом из прямых труб

Суспензии ВУТ и ОВУТ являются жидким топливом и имеют вязкость, превышающую вязкость мазута: примерно 800-1000 мПа\*с по сравнению с 400-440 мПа\*с (до 44 мм<sup>2</sup>/с) у мазута. Соответственно, в первом приближении можно использовать для проектирования системы топливоприготовления органоводоугольного топлива существующие системы топливоприготовления, разработанные для мазута.

На рисунке 2.2 представлена схема приготовления жидкого топлива перед его сжиганием. Приготовление мазута к сжиганию состоит в удалении из него мелких твердых фракций и волокон (фильтрование), нагреве его в

паровых теплообменниках до температуры 100...150 °С, при которой мазут легко течет и распыливается до мельчайших капель в горелке. Транспорт мазута из баков - хранилищ к горелкам парового котла обеспечивается двумя группами мазутных насосов, поднимающих давление до 4 МПа. Первая группа насосов прокачивает мазут через установки его нагрева и очистки, вторая - подает мазут по трубопроводу в котельное отделение. Для поддержания текучести мазута ( $t_m = 70 \div 80^\circ\text{C}$ ) в баки - хранилища постоянно поступает нагретый мазут, а также возвращается избыточный мазут от котлов.

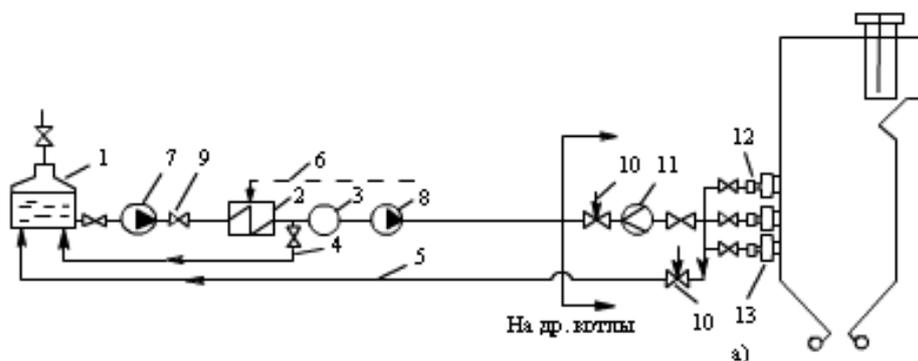


Рисунок 2.2 – Технологическая схема подготовки к сжиганию жидкого топлива: 1 - мазутохранилище; 2 - паровой теплообменник; 3 - фильтр; 4, 5 - линии рециркуляции мазута; 6 - подвод пара к теплообменнику; 7, 8 - насосы первой и второй ступеней давления; 9 - обратный клапан; 10 - регулятор расхода; 11 - измеритель расхода; 12 - ствол мазутной форсунки; 13 – горелка

На основе технологической схемы топливоприготовления мазута составим схему для приготовления органоводоугольного топлива на основе отхода обогащения угля (фильтр-кек) для его последующего сжигания в котельном агрегате, представленную на рисунке 2.3.

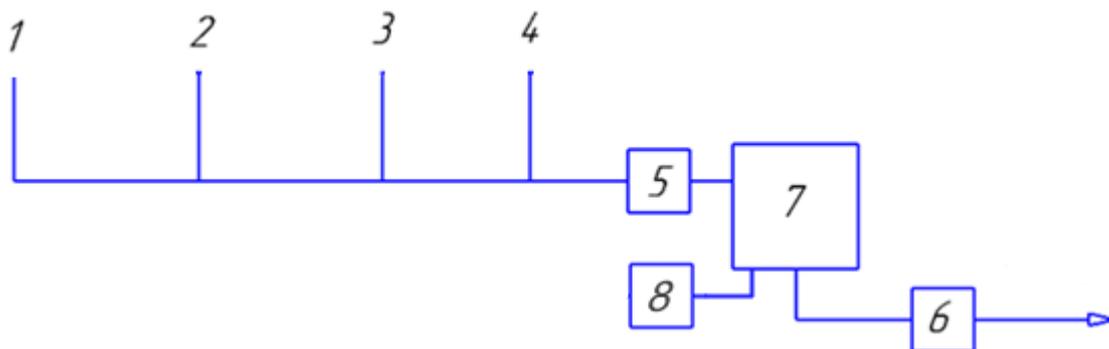


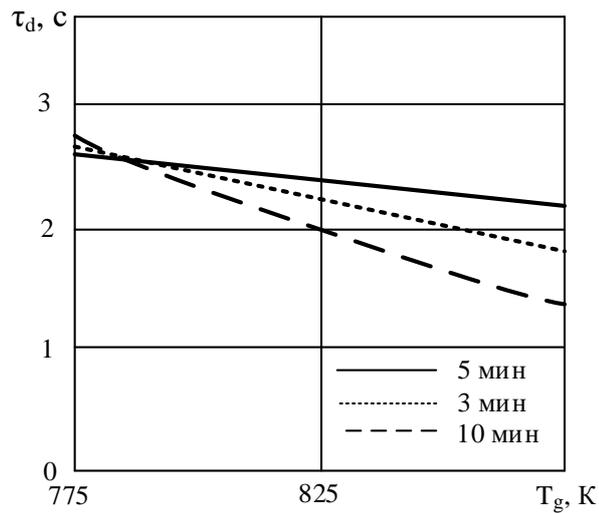
Рисунок 2.3 – Схема установки топливоприготовления ОВУТ:

1 – магистраль подачи фильтр-кек К, 2 – магистраль подачи фильтр-кек Д, 3 – магистраль подачи турбинного масла, 4 – емкость для пластификатора, 5-6 – насосы, 7 – емкость для готового ОВУТ с промышленным гомогенизатором, 8 – калориметр

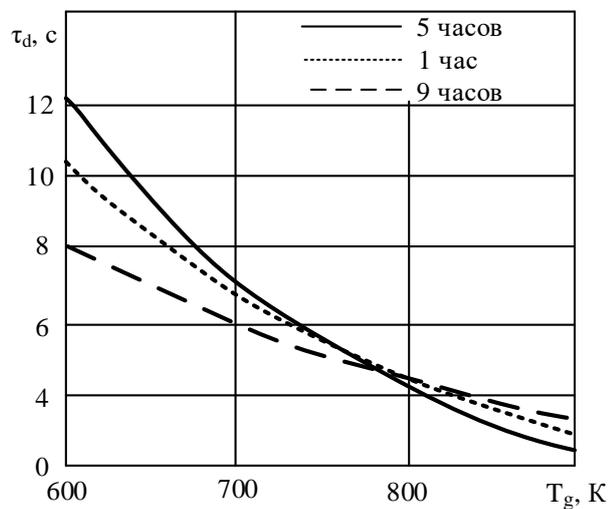
При приготовлении топлива такие параметры ОВУТ, как соотношение твёрдое/жидкое, тонина помола, а также вязкость ОВУТ, должны быть как можно ближе к проектным значениям с целью сохранения стабильного воспламенения и горения ОВУТ в топке и сохранения высоких эксплуатационных характеристик котла (КПД, количество выбросов и др.).

На свойства топлива в виде органоводоугольных суспензий влияет помимо компонентного состава еще и длительность приготовления (перемешивания в гомогенизаторе) топливной композиции. Время приготовления составов ОВУТ с использованием современного оборудования (в нашем случае – гомогенизатора) влияет на свойства топлив.

На рисунке 2.4 представлены времена задержки зажигания капель ОВУТ при изменении длительности процесса приготовления от нескольких минут до нескольких часов.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Времена  $\tau_d$  задержки зажигания капли ОВУТ, в зависимости от температуры  $T_g$  окислителя при различной длительности приготовления состава: а – несколько минут (94 % фильтр-кек К (влажный), 5 % автомобильное масло отработанное, 1 % пластификатор); б – несколько часов (54% каменный уголь марки Т, 40 % вода, 5 % турбинное масло отработанное, 1 % пластификатор), при радиусе капли ОВУТ – 1 мм

Результаты, приведенные на рисунке 2.4, иллюстрируют, что при работе гомогенизатора в течение нескольких минут (от 3 до 10 мин) влияние времени приготовления топливной композиции на время задержки зажигания значительно. Минимальной (необходимой и достаточной) длительностью

исследуемого процесса в соответствии с результатами проведенных экспериментов [26] следует считать продолжительность около 10 минут.

Данные на рисунке 2.4 свидетельствуют о том, что существует некоторое оптимальное (с точки зрения требуемых ресурсов на топливоприготовление и характеристик процессов зажигания получаемых топливных композиций) время приготовления ОБУТ. Можно сделать заключение о достаточности длительности работы систем топливоприготовления с ОБУТ не больше 1 часа. Особенно, если топливо планируется сжигать при высоких (не менее 900 К) температурах окислителя.

Регулирование теплоты сгорания приготовленного топлива в виде органоводоугольной суспензии осуществляется с помощью изменения расхода компонентов этой суспензии.

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

## 2.1 Выбор структуры САУ

Даже из малого числа компонентов органоводоугольных топлив можно получить большое количество различных топливных суспензий с различными содержаниями того или иного компонента (кек, отработанного турбинного или трансформаторного масла). Каждое из этих топлив может характеризоваться множеством показателей, в том числе временами задержки зажигания, теплотой сгорания, времен полнотого сгорания.

Теплота сгорания топлива является одной из основных величин, определяющих эффективность котельного агрегата, поэтому приемлемой схемой регулирования расхода компонентов органоводоугольного топлива относительно теплоты сгорания готового топлива. Органическая составляющая водоугольной суспензии, а именно: отработанное турбинное и трансформаторное масла имеют бóльшую теплоту сгорания, в сравнении с кек, поэтому, изменяя расход этих компонентов, можно также изменять получаемую теплоту сгорания готового топлива, которая будет сравниваться с заданным значением, которые рассчитаны по объемной концентрации всех входящих в состав топлива компонентов:

$$Q_m = \gamma_1 \cdot Q_1 + \gamma_2 \cdot Q_2 + \gamma_3 \cdot Q_3 + \dots + \gamma_n \cdot Q_n, \quad (2.1)$$

где  $\gamma_n$  – объемная концентрация n-ого компонента, %;

$Q_n$  – удельная теплота сгорания n-ого компонента, МДж/кг.

Окончательная структура автоматизированной системы управления расхода топлива в виде органоводоугольных суспензий имеет вид, представленный на рисунке 2.5.

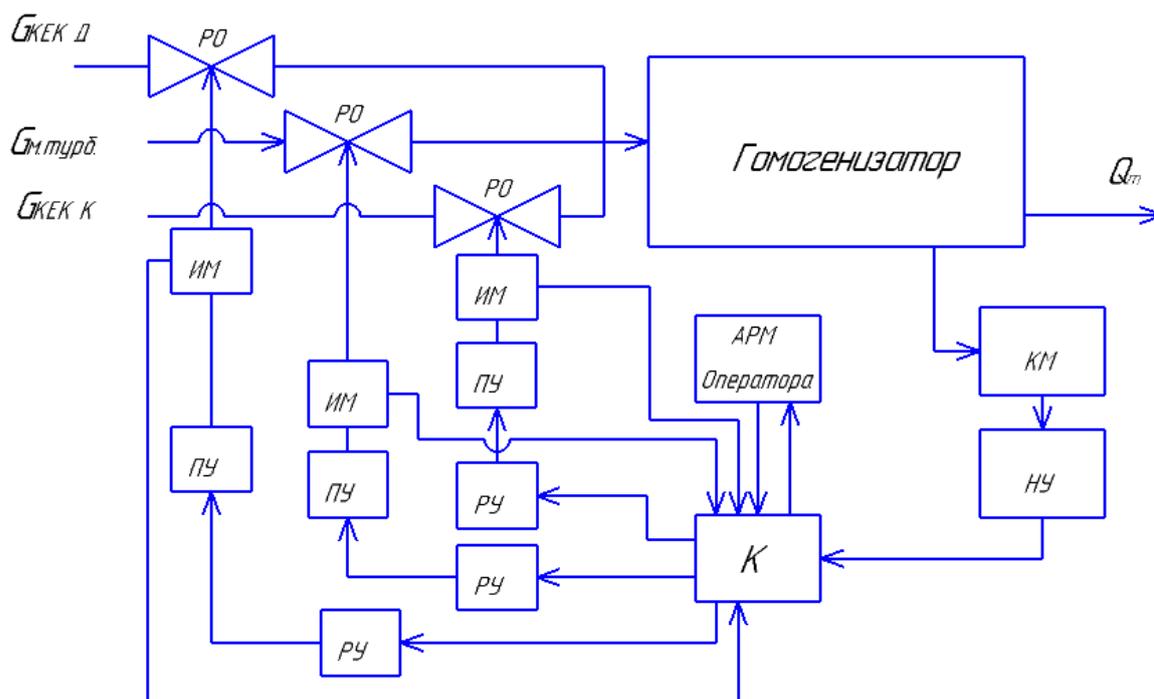


Рисунок 2.5 – Структура системы автоматизированного управления расходом топлива в виде органоводоугольных суспензий: КМ – калориметр, НУ – нормирующее устройство, К – контроллер, ЗУ – задающее устройство, РУ – устройство ручного управления, ПУ – пусковое устройство, ИМ – исполнительный механизм, РО – регулирующий орган,  $G_{\text{КЕК Д}}$  – расход фильтр-кек Д,  $G_{\text{м.турб.}}$  – расход турбинного масла,  $G_{\text{КЕК К}}$  – расход фильтр-кек К,  $Q_{\text{т}}$  – теплота сгорания готового топлива

Цель автоматизированного управления для такой схемы состоит в поддержании теплоты сгорания приготовленного топлива на заданном задающим устройством значении при помощи изменения величины расхода компонента топлива положением регулирующего органа.

Теплота сгорания оценивается калориметром КМ. Значение с калориметра поступает в нормирующее устройство НУ. Значение с нормирующего устройства подается на регулирующее устройство РУ, в котором сравнивается с заданным значением, вырабатываемым задающим устройством с АРМ оператора. Если регулируемая величина равна заданному значению, то САУ находится в состоянии равновесия. При отклонении

теплоты сгорания от заданного значения равновесие нарушается, регулирующее устройство приходит в действие, возникает процесс регулирования. Регулирующее устройство подает выработанное управляющее воздействие на устройство ручного управления РУ, которое осуществляет ручное переключение с автоматического режима управления на ручной. Пусковое устройство ПУ в общем случае осуществляет пуск, реверс и остановку исполнительного механизма ИМ. На выходе исполнительного механизма вырабатывается регулирующее воздействие, передаваемое через регулирующий орган РО на вход объекта. Регулирующее воздействие направлено на уменьшение рассогласования между действительным и заданным значениями регулируемой величины. Регулятор будет воздействовать на объект до тех пор, пока регулируемая величина не сравняется с заданным значением.

САУ расхода должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) построена на основе микропроцессорных устройств, современного оборудования;
- 2) питание должно осуществляться от сети 220 В;
- 3) обеспечение автоматизированного управления расходом компонентов топлива в зависимости от заданной теплоты сгорания с погрешностью  $\pm 0,5$  МДж/кг.

## 2.2 Разработка функциональной схемы САУ расхода топлива

Измерительная информация о ходе технологического процесса и о состоянии оборудования содержит в основном сведения о теплотехнических величинах, измеренных приборами или измерительными системами. Процесс измерения величин и совокупность средств, осуществляющих эти измерения, носят название теплотехнического контроля.

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

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

- контроль технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования, а также их регистрация;
- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- выбор технических средств автоматизации;
- стабилизация технологических параметров процесса.

Технологическое оборудование при проектировании функциональной схемы изображаются, как правило, упрощенно, без указания вспомогательных трубопроводов. Но, несмотря на это, представленная таким образом схема должна давать ясное представление о взаимодействии со средствами автоматизации и ее работы в целом. На трубопроводах показывают только ту арматуру, которая непосредственно участвует в САУ

Функциональная схема САУ расхода компонентов топлива в виде органоводоугольной суспензии представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 С2.

На функциональной схеме САУ расхода компонентов топлива в виде органоводоугольной суспензии представлены измерительные каналы и каналы управления.

На первом этапе разработки функциональной схемы определялись измерительные каналы и каналы управления. Измерительный канал 4, посредством калориметра 4а, формирует сигнал о величине теплоты сгорания подготовленного топлива, который сравнивается с заданным перед непосредственным началом приготовления топлива значением. Измерительные каналы 1, 2 и 3 преобразуют значения расхода кек, с помощью расходомеров 1а, 2а и отработанного масла, при помощи расходомера 3а, значения поступают к регулирующему устройству в виде унифицированного токового сигнала. Контроллер 5а формирует регулирующий сигнал, поступающий на соответствующее пусковое устройство 6а, 7а или 8а, где сигнал усиливается, а затем приводит в действие привод необходимого исполнительного механизма 6б, 7б или 8б. Для контроля за расходом установлено три преобразователя расхода, с одинаковыми характеристиками, которые передают информацию о расходе на контроллер. 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, а также щит управления. В щите управления установлен контроллер.

## 2.3 Выбор технических средств и составление заказной спецификации

### 2.3.1 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства предлагается использовать контроллер для автоматизации локальных систем. В данной работе рассматривались 4 контроллера от разных производителей: ОВЕН, ВЭСТ, Segnetics, Siemens. В таблице 7 приведены реализуемые функции контроллеров [36–38].

Таблица 7 – Сравнение функций контроллеров

Функции	ВЭСТ-02	ECL Comfort 300	ПЛК63	SIMATIC-S7-200
Ручное управление регулирующими клапанами	+	+	+	+
Ручное управление циркуляционным насосом	-	+	+	+
Температурная часовая компенсация	+	+	+	+
Автоматический переход на летнее время	-	+	+	+
Сохранение параметров настройки	+	+	+	+
Ограничение доступа посторонних лиц к изменению настройки	+	+	+	+
Архивация данных в энергонезависимой памяти регулятора	+	+	-	-
ЖК-дисплей	+	+	+	+
ПО для ПК (в комплекте)	+	-	+	+
ЦЕНА, руб	15000	74000	13450	14000

Для реализации САУ расхода компонентов топлива в виде органоводоугольной суспензии выбран контроллер ПЛК-63 от ОВЕН, т.к. при относительно низкой цене предлагает оптимальный функционал. В таблице 8 приведена характеристика контроллера.

Таблица 8 – Технические характеристики ПЛК63

Наименование	Значение (свойства)
Питание	
Напряжение питания, В переменного тока (47...63 Гц)	от 90 до 264 (номинальное 110/220)
Потребляемая мощность, не более для переменного тока, ВА	18
Параметры встроенного вторичного источника питания выходное напряжен	24±3
Цифровые (дискретные) входы	
Количество входов	8
Аналоговые входы	
Количество аналоговых входов	8
Разрядность АЦП, бит	15
Дискретные выходы (контакты электромагнитных реле)	
Количество релейных выходных каналов	от 1 до 6 (выходы DO1...DO6)
Гальваническая развязка	индивидуальная
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле, А, не более	– 1 (для переменного напряжения не более 250 В и $\cos \phi > 0,4$ – нагрузка для категории использования АС-15 по ГОСТ Р 50030.1–2000). – 4 (для переменного напряжения не более 250 В и $\cos \phi > 0,8$ – нагрузка для категории использования АС-15 по ГОСТ Р 50030.1–2000).

При работе в составе системы контроллер работает в соответствии с запрограммированным сценарием. В случае типовых сценариев контроллер контролирует значения технологических параметров, получая данные с подключенных к нему датчиков, и вырабатывает, в соответствии с заложенными алгоритмами, управляющие воздействия для подключенных к нему исполнительных устройств.

Контроллер может обмениваться данными с периферийными устройствами по сети RS-232 или RS-485.

### 2.3.2 Выбор технических средств измерения расхода топлива

В процессе производства необходимо измерять расходы фильтр-кек, который представляет собой смесь мелкофракционного сыпучего материала (уголь или шлам), отработанного трансформаторного и турбинного масел. Необходимо учитывать особенности измеряемых сред при выборе расходомеров.

Расходомеры Метран-350SFA на базе осредняющей напорной трубки Annubar предназначены для измерения расхода жидкости, газа, пара в технологических процессах различных отраслей промышленности, а также в системах технологического и коммерческого учета.

Технические характеристики наиболее распространенных датчиков дифференциального давления приведены в таблице 9.

Таблица 9 – 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 мА; HART; Modbus RTU	4-20 мА; HART	4-20 мА; HART
Основная погрешность	±0,024 МПа	±0,20 МПа	± 0,031 МПа

При измерении расхода органоводоугольного топлива нужно учитывать, что кек является суспензией 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 [39].

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 САУ.

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. Технические характеристики расходомеров представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики электромагнитных расходомеров

Наименование	Элемер FLONET FS10XX	ЭМИС-МАГ 270	Метран-370
Давление	До 1,6 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
Выходные сигналы	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА

Выберем расходомер FLONET FS10XX предназначенный для непрерывного измерения объема протекающих по трубопроводу электропроводных жидкостей, содержащих в своем составе высокоабразивные частицы.

### 2.3.3 Выбор исполнительного механизма

Выбор исполнительного механизма производим исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента.

Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле:

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

где  $D_y$  - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось условие:

$$M_H > M_{\max},$$

где  $M_n$  – номинальный крутящий момент на выходном валу исполнительного механизма, Нм.

Выберем механизм исполнительный электрический однооборотный рычажный типа МЭО-250/63-0,25У-99 в общепромышленном исполнении для магистралей компонентов ОБУТ. Номинальный крутящий момент на выходном валу 250 ньютон-метров, номинальное время полного хода выходного вала 63 секунды, номинальное значение полного хода выходного вала 0,25 оборота, потребляемая мощность 240 Вт, масса 27,5 кг, напряжение питания 220 В, частота 50 Гц.

Для отбора готового топлива в калориметр и измерения теплоты сгорания, где трубопровод не более 40 мм подойдет МЭО с меньшим крутящим моментом, а именно МЭО-40/50-0,63У-01. Номинальный крутящий момент на выходном валу 40 Н-м, номинальное время полного хода выходного вала 50 с, номинальное значение полного хода выходного вала 0,63 оборота, потребляемая мощность 60 Вт, масса – не более 7 кг, напряжение питания 220 В, частота 50 Гц.

#### 2.3.4 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 [40].

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 [41]. 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.

### 2.3.5 Выбор калориметра

Для определения соответствия теплоты сгорания полученного топлива заранее заданной, необходим калориметр. Технические характеристики рассматриваемых калориметров представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики рассматриваемых калориметров

Величина	Калориметр 5E-C5508 от АКИКО	Калориметр АБК-1В от ПКГ «Гранат»
Диапазон измерения	до 40 МДж/кг	8..40 МДж/кг
Предел допускаемой погрешности	±0,04 МДж/кг	±0,04 МДж/кг
Время измерения	10 мин	14 мин

Для поставленных целей более подходящим является полностью автоматический калориметр серии 5E-C5508 (изопериболический бомбовый калориметр), предназначенный для определения показателей теплоты сгорания твёрдых и жидких горючих веществ, в том числе таких веществ как масло, уголь, кокс, продукты питания и продукты биомассы. Соответствует международным стандартам ASTM D5865, ASTM D4809, ISO 1928, GB/T213, а также ГОСТ 147-95, ГОСТ 21261-95.

Показатель калорийности (теплоты сгорания) является важной особенностью для многих веществ, к тому же этот показатель является ключевым значением при расчете стоимости угля, что оказывает непосредственное влияние на экономическую выгоду для клиентов.

Данное оборудование широко используется на электростанциях, в угольных шахтах, в металлургической и химической промышленности, при технических осмотрах, в научных исследованиях и др.

Спецификация предназначена для составления на ее основе заказа на средства измерения, а также для облегчения чтения проектной документации. Заказная спецификация средств автоматизации представлена в таблице 12.

Спецификация представляет собой техническую документацию, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и технических средствах автоматизации для реализации системы управления приготовления топлива в виде органоводоугольной суспензии.

Таблица 12 – Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол		
1	2	3	4		
1а-2а-3а	Расходомер электромагнитный, предел допускаемой основной погрешности $\pm 0,15\%$ , верхний предел измерений $614 \text{ м}^3/\text{ч}$ , выходной сигнал $4...20 \text{ мА}$ , взрывобезопасное исполнение. НПП «Элемер», г. Зеленоград	FLONET FS10XX	3		
4а	Калориметр изопериболический бомбовый, предел допускаемой основной погрешности $\pm 0,1\%$ , верхний предел измерений $40 \text{ Мдж/кг}$ . ООО «Акико», г. Москва	5E-C5508	1		
5а	Контроллер программируемый, логический, микропроцессорный, количество входов – 8 аналоговых и 8 дискретных, количество выходов – 6 (1 – э/м реле, 4 А, 220 В; 5 – ЦАП, 0...10 В). ОАО «ОВЕН», г. Москва.	ОВЕН ПЛК63	1		
6а-7а-8а-9а-10а	Блок управления электродвигателем реверсивный, входной сигнал управления $24 \pm 6 \text{ В}$ , климатическое исполнение УХЛ 4.2. ЗАО «Волмаг», г. Чебоксары.	БУЭР1-30-02	5		
6б-7б-8б-9б	Механизм электроисполнительный однооборотный. в составе с токовым блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 1999. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭО-250/63-0,254-99	4		
10б	Механизм электроисполнительный однооборотный. в составе с токовым блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 2001. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭО-40/50-0,634-01	1		
<b>ФЮРА.421000.010 С01</b>					
Исполнил	Косинцев А.Г.	Спецификация приборов и средств автоматизации	Стад	Лист	Листов
Проверил	Стрижак П.А.		ТРП		1
			ТПУ	ЭНИИ	
			Группа	5БЗВ	

### 3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего и полевого уровней

Автоматизированная система управления процессом приготовления топлива в виде органоводоугольных суспензий строится по трехуровневому принципу:

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

Автоматизированная система управления должна обеспечивать работу в режиме – 24 часов в день, 7 дней в неделю (24x7), а также выполнение своих функций, таких как: сбор, обработка и загрузка данных, хранение данных, предоставление отчетности.

Разработанная система регулирования должна обеспечивать постоянный автоматический контроль за всеми необходимыми параметрами технологического процесса на всех его этапах, сбор, хранение и обработку этих данных, а также их передачу. САУ должна быть организована по трехуровневому принципу, с минимизацией участия диспетчеров в технологическом процессе. Также оборудование системы регулирования желательно должно иметь возможность архивации данных о состоянии технологического процесса.

Для электропитания технических средств должна быть предусмотрена трехфазная четырехпроводная сеть с глухо заземленной нейтралью 380/220 В ( $\pm 10-15$ ) % частотой 50 Гц. Каждое техническое средство запитывается однофазным напряжением 220 В частотой 50 Гц через сетевые розетки с заземляющим контактом.

Структурная схема автоматизированной системы регулирования расхода топлива в виде органоводоугольных суспензий представлена на рисунке 3.1.

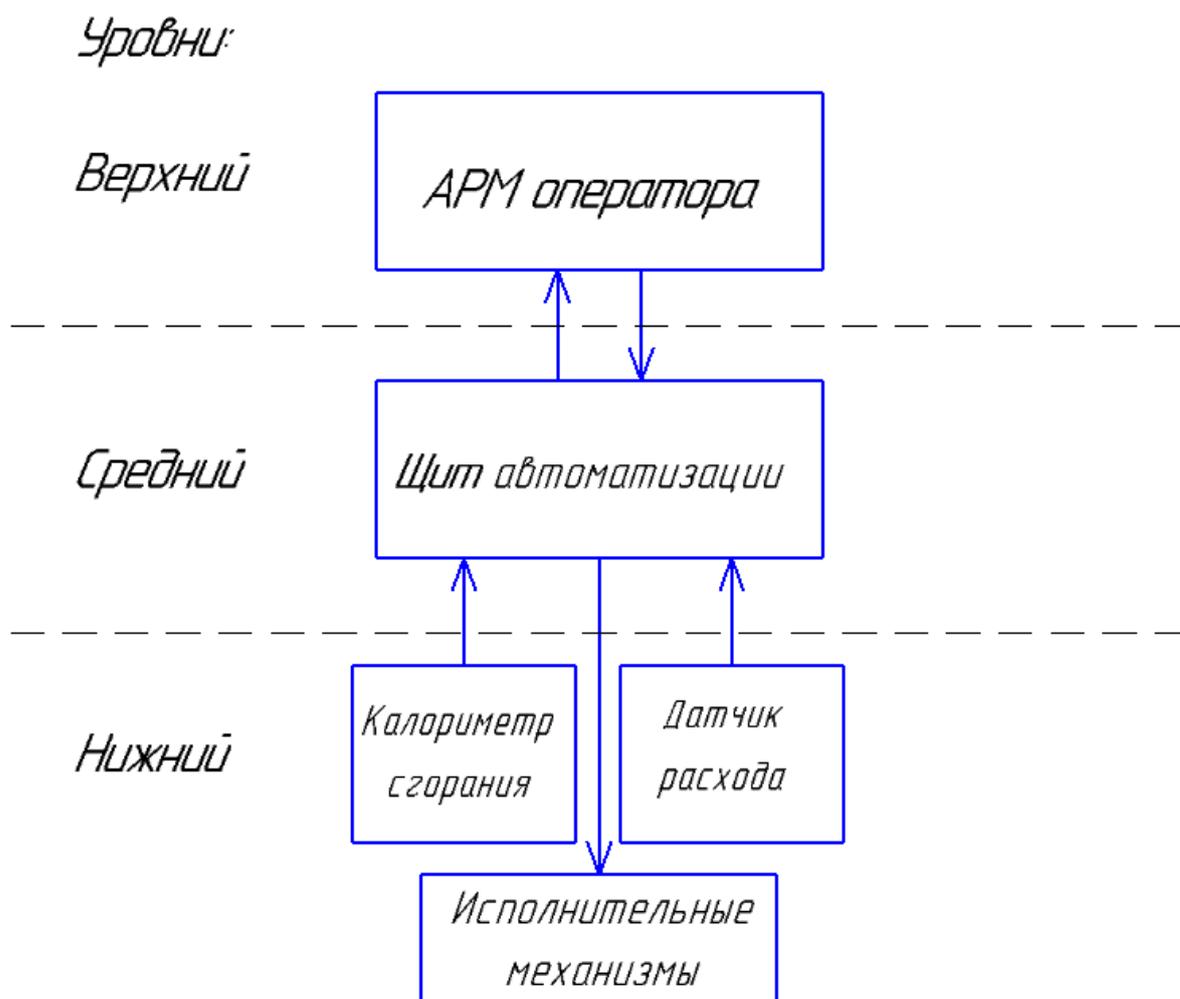


Рисунок 3.1 – Схема взаимосвязи оборудования полевого и верхнего уровней автоматизированной системы регулирования расхода топлива в виде органоводоугольных суспензий

Нижний уровень представляет собой совокупность первичных средств измерения температуры и расхода, а также другого оборудования, необходимого для контроля всех технологических параметров приготовления топлива. Все оборудование нижнего уровня должно быть размещено на технологическом объекте или на приборных щитах.

Технические средства среднего уровня представляют собой щит автоматизации, необходимый для сбора информации с нижнего уровня и передачи ее на верхний уровень – на АРМ оператора. Также средства среднего

уровня требуются для передачи информации о состоянии технологического оборудования.

Верхний уровень САУ является автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ), предназначенным для отображения полученной со среднего уровня информации, а также визуализации протекания технологического процесса посредством соответствующего программного обеспечения. Вдобавок АРМ позволяет непосредственно управлять течением технологического процесса.

АРМ оператора представляет собой персональный компьютер офисного исполнения, в комплекте которого: клавиатура, мышь, монитор. Все АРМ должны идти в комплекте с прикладным, системным, офисным и программным обеспечением.

## 4 Разработка щита управления, монтажной и принципиальной схем САУ топливоприготовления

### 4.1 Разработка принципиальной схемы САУ топливоприготовления

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 [42]. 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 расходом топлива в виде органоводоугольных суспензий представлена на листе ФЮРА.421000.010 ЭЗ.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений. Расположение графического материала выбираем таким образом, чтобы чтение этого чертежа было легким. Для сокращенной записи сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81 «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах». Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

При разработке принципиальной электрической схемы выполняем нанесение на схему технических средств автоматизации в соответствии со стандартами, производим соединение проводок с клеммами устройств по требованиям заводов изготовителей оборудования [40, 44, 45].

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.

#### 4.2 Разработка монтажной схемы САУ топливоприготовления

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.

В данной работе необходимо разработать монтажную схему автоматизированной системы управления расходом компонентов ОВУТ.

Схема монтажная должна содержать:

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

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

Исполнительные механизмы и датчик теплоты сгорания топлива изображены монтажными символами [45]. Внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним соответствующих жил кабелей. Изображены только клеммы, которые используются для решения данной задачи. Маркировки жил указаны вне монтажных символов.

Щит автоматизации был изображен в виде прямоугольника в нижней части чертежа, в нем показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним провода и жилы кабелей. Проводники, подключаемые к соответствующим зажимам обозначены в соответствии с принципиальной электрической схемой.

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

Для линий питания выбираем кабели с алюминиевыми жилами сечением  $2,5 \text{ мм}^2$  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 В и частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1000 В [46], что полностью удовлетворяет нашим требованиям, так как система питается от сети 220 В. Применяются такие кабели для прокладки на открытом воздухе, в помещениях, каналах, туннелях, если кабели не подвергаются значительным растягивающим усилиям и при наличии опасности механических воздействий на кабели. Не распространяют горение при одиночной прокладке (нормы ГОСТ 12176-89). Стойки к монтажным изгибам.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки САУ

№ линии	Марка	Число жил	Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Диаметр, мм
20, 21, 22	АКРВБГ	4	2,5	15,51
1	АКРВБГ	7	2,5	18,54
2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 27, 28	КРВГ	4	1	10,54
17	КРВБГ	10	1	12,39
19	КРВБГ	19	1	23,25
8, 12, 16, 18, 26, 29, 30	КИПЭВ	2	0,6	9,22

Для защиты кабелей применять защитные трубы нецелесообразно, так как помещения не жаркие, не пыльные, не имеют очень низких температур.

Монтажная схема проектируемой САУ представлена на чертеже ФЮРА.421000.010 С4.

#### 4.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции САУ

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, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) 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, а также степень

защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы топливоприготовления, выберем щит шкафной малогабаритный серии ЩШМ [47].

Щиты серии ЩШМ предназначены для размещения аппаратуры управления, сигнализации и автоматики.

Конструкция щитов шкафных малогабаритных серии ЩШМ представляет собой металлический цельносварной корпус навесного исполнения. Возможен подвод кабелей как сверху, так и снизу. Степень защиты щитов шкафных малогабаритных серии ЩШМ: IP31.

Для контроля за технологическим процессом, а также задания уставок, расположим на щите контроллер ОВЕН ПЛК63.

Общий вид щита представлен на чертеже ФЮРА.421000.010 ВО.

## 5 Расчет параметров настройки регулятора

### 5.1 Идентификация объекта управления

Идентификация систем — совокупность методов для построения математических моделей динамической системы по данным наблюдений. Математическая модель в данном контексте означает математическое описание поведения какой-либо системы или процесса в частотной или временной области. Существует активная и пассивная идентификации. В случае активной — объект исследования выводится из условий нормальной окружающей среды (нормальный режим эксплуатации, номинальные параметры рабочего режима и т. п.), а на его входы подается специальные сигналы. Активную идентификацию используют при разработке новых технологий применительно к действующим промышленным объектам, а пассивную для уточнения математической модели.

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

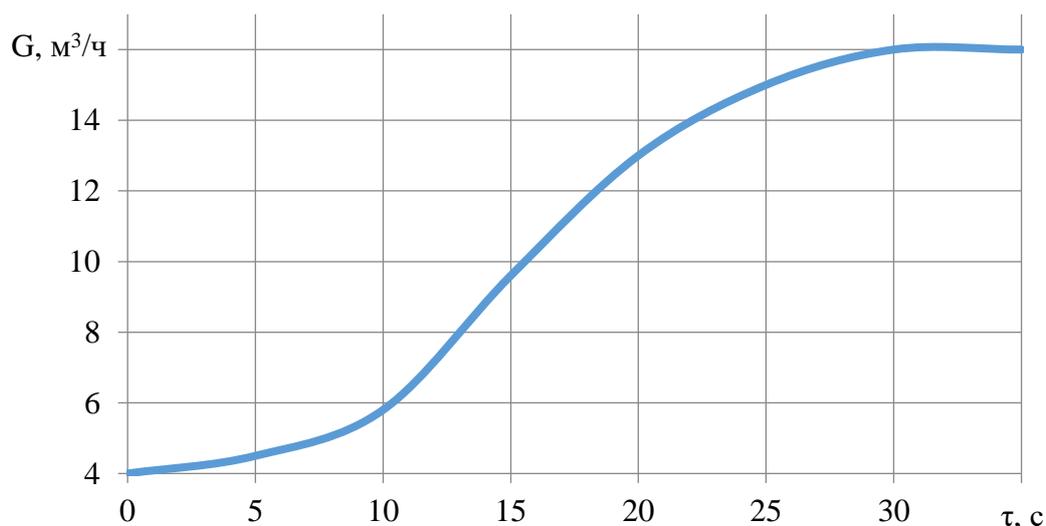


Рисунок 5.1 – Кривая разгона объекта управления;

G – расход, τ – время

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

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

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

где  $k$  - коэффициент усиления;

$P$  - оператор Лапласа;

$\tau$  - время запаздывания;

$T$  - постоянная времени.

Решение уравнения 5.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

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

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  $k = h(T_y)$ . 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:

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

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

где  $t_A$  и  $t_B$  - значение времени для соответствующих точек на кривой;

$h_A$  и  $h_B$  - значение ординат для точек А и Б.

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

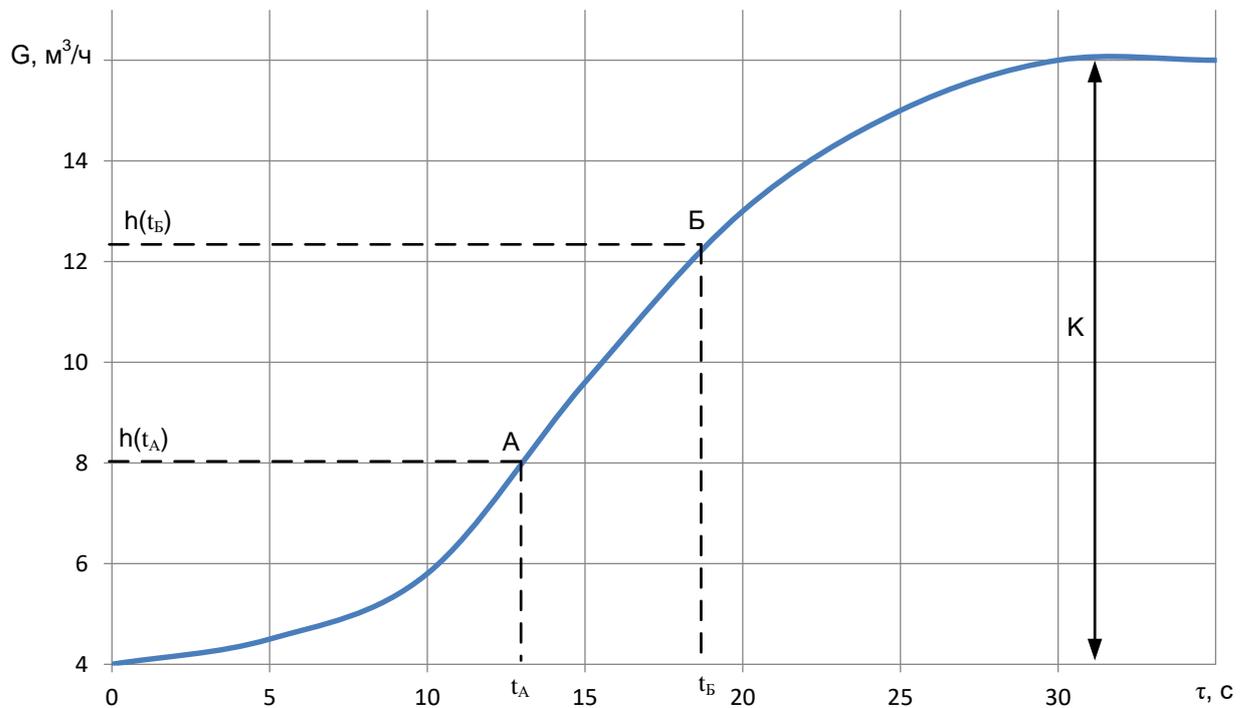


Рисунок 5.2 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора

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  $\tau$ :

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

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

Определяем значения постоянной времени  $T$  и времени запаздывания  $\tau$ :

$$\tau = 0,5(3 \cdot 13 - 19) = 10 \text{ с},$$

$$T = 1,25(19 - 13) = 7,5 \text{ с}.$$

Передаточная функция (5.1) имеет вид:

$$W(P) = \frac{12}{(7,5P+1)} e^{-10P}.$$

### 5.1 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 5.3 представлен вид расчетной схемы системы регулирования.

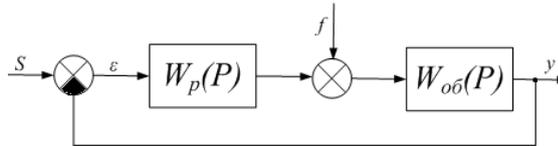


Рисунок 5.3 – Расчетная схема системы регулирования

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

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221. \quad (5.7)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{12}{(7,5P+1)} e^{-10P}.$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 14. Полученные значения представлены для диапазона частот от  $0,0001$  до  $0,34 \text{ с}^{-1}$ , с шагом по частоте в  $0,02 \text{ с}^{-1}$ .

Таблица 14 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{ с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0,000	12,005	-0,021	12,005
0,020	12,024	-4,443	12,819
0,040	10,143	-8,703	13,365
0,060	6,654	-11,871	13,609
0,080	2,307	-13,383	13,580
0,100	-2,062	-13,189	13,349
0,120	-5,828	-11,614	12,994
0,139	-8,667	-9,121	12,582
0,159	-10,493	-6,146	12,160
0,179	-11,359	-3,030	11,756
0,199	-11,385	-0,018	11,385

Продолжение таблицы 14

$\omega, \text{c}^{-1}$	$\text{Re}_{o6}(m, \omega)$	$\text{Im}_{o6}(m, \omega)$	$A_{o6}(m, \omega)$
0,219	-10,711	2,726	11,052
0,239	-9,479	5,093	10,760
0,259	-7,823	7,016	10,508
0,279	-5,867	8,457	10,293
0,299	-3,727	9,401	10,112
0,319	-1,506	9,848	9,963
0,338	0,699	9,817	9,842

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)}, \quad (5.8)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{o6}(m, \omega) + \text{Re}_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)}, \quad (5.9)$$

где  $T_u$  – постоянная времени интегрирования регулятора, с;

$K_p$  – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0 до 0,34  $\text{c}^{-1}$ , с шагом по частоте в 0,02  $\text{c}^{-1}$ . Полученные значения представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Значение параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{c}^{-1}$	$K_p$	$K_p/T_u$
0,000	-0,08327	0,000000015
0,020	-0,0672	0,00056713
0,040	-0,04602	0,00203892
0,060	-0,02176	0,00402029
0,080	0,00353	0,00606603
0,100	0,02793	0,0077319
<b>0,120</b>	<b>0,04972</b>	<b>0,00862125</b>
0,139	0,06748	0,00842386
0,159	0,08014	0,00694466
0,179	0,08703	0,0041211
0,199	0,08787	0,00002847
0,219	0,08275	-0,0051264
0,239	0,07214	-0,01102187
0,259	0,0568	-0,01724699
0,279	0,03774	-0,02333334
0,299	0,01613	-0,0287909
0,319	-0,00676	-0,03314499
0,338	-0,02962	-0,03597189

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 5.4. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,75. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

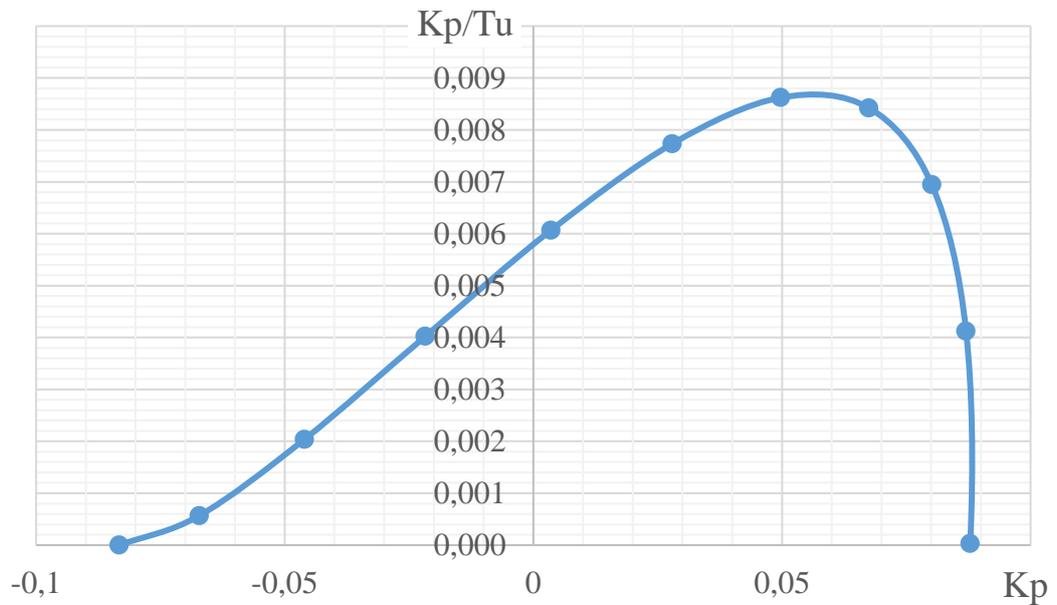


Рисунок 5.4 – График зависимости  $K_p/T_u$  от  $K_p$

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 15 определяем:

$$\max \left( \frac{K_p}{T_u} \right) = 0,00862125, \quad K_p = 0,04972, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,120 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 5,77 \text{ с.} \quad (5.10)$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (5.11)$$

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

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

Переходный процесс идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 5.5 представлен график вещественной частотной характеристики.

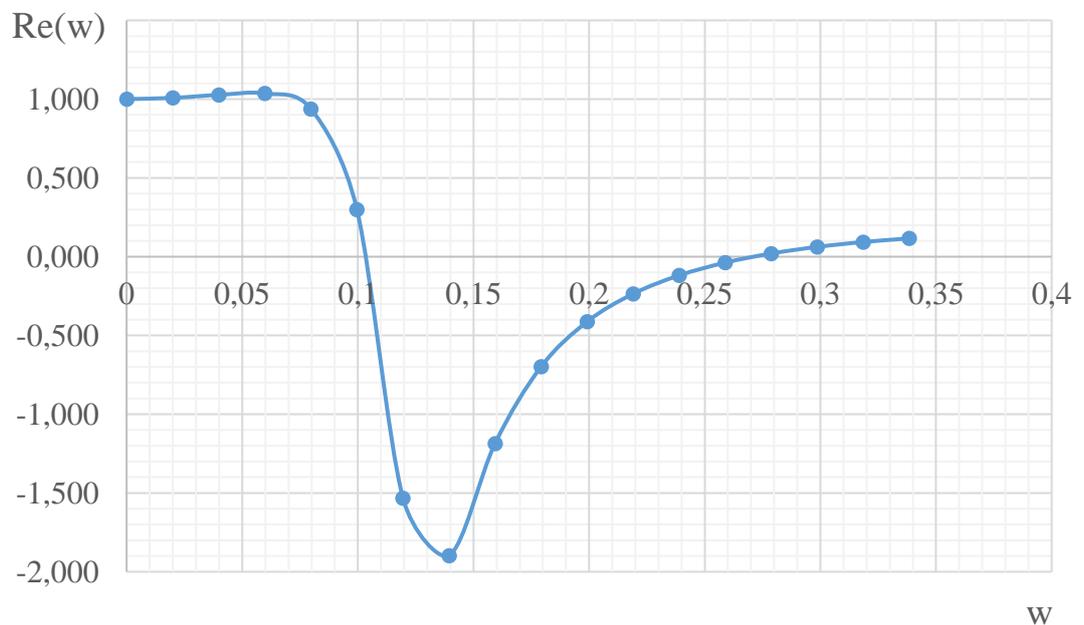


Рисунок 5.5 – Графическое представление вещественно частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественно частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (5.12)$$

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 вещественная частотная характеристика системы стремится к 0. Из рисунка 5.5 определяем это значение.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,10} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega . \quad (5.13)$$

На рисунке 5.6 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

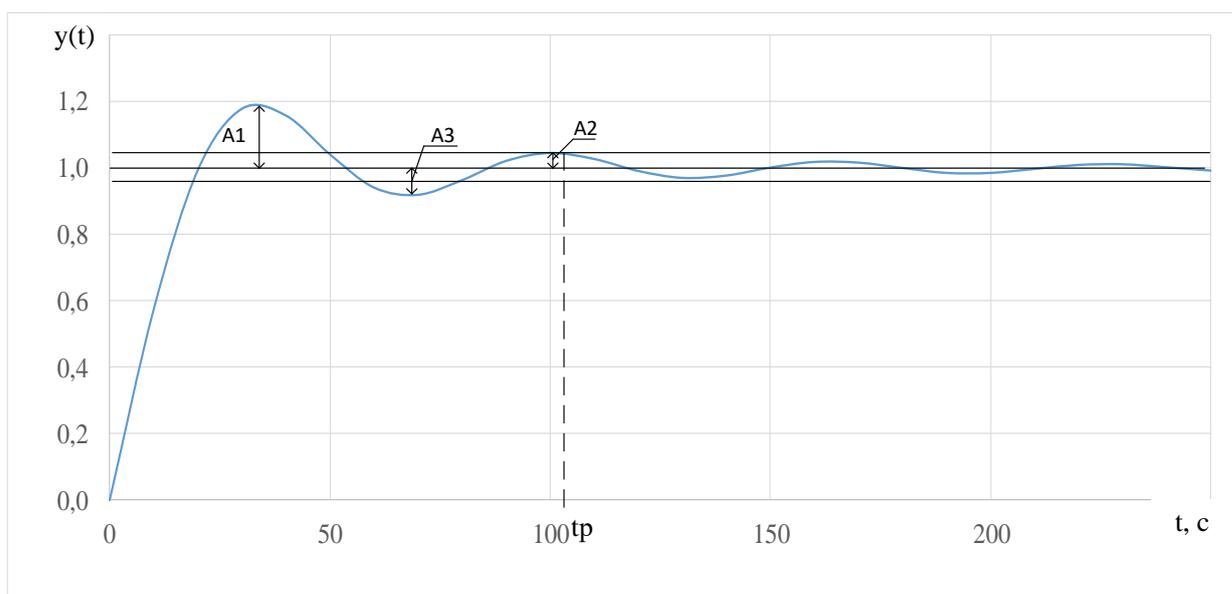


Рисунок 5.6 - Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

- а) максимальная динамическая ошибка:  $A_1=0,2$ ;

б) перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_3}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,08}{1} \cdot 100 = 8 \% ; \quad (5.14)$$

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

$$R_{д} = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 = \frac{0,2 + 1}{12} \cdot 100 = 10 \% , \quad (5.15)$$

где  $K_{об} = 12$  - коэффициент передачи объекта;

г) степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,04}{0,2} = 0,8, \quad (5.16)$$

где  $A_2 = 0,04$  - второй максимальный выброс регулируемой величины;

д) статическая ошибка:

$$\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0; \quad (5.17)$$

е) время регулирования:  $t_p = 107$  с.

## 6 Мнемосхема проекта

Мнемосхема представляет собой совокупность изображений оборудования, задействованного на объекте, а также связей объекта, которые показываются на диспетчерских пультах или на персональном компьютере. Мнемосхемы позволяют оператору, находясь на автоматизированном рабочем месте следить за технологическим процессом, а также принимать в нем непосредственное участие (запускать различные насосы, регулировать расходы веществ, открывать или закрывать задвижки и многое другое). Также на мнемосхеме можно наблюдать различные предупреждения, которые отображают сбои в работе оборудования, или предупреждают, что на некоторые параметры технологического процесса следует обратить внимание.

В данной работе была разработана мнемосхема системы управления процессом приготовления топлива в форме органомоделюгольных суспензий в системе SIMATIC WinCC, которая представлена на рисунке 6.1.

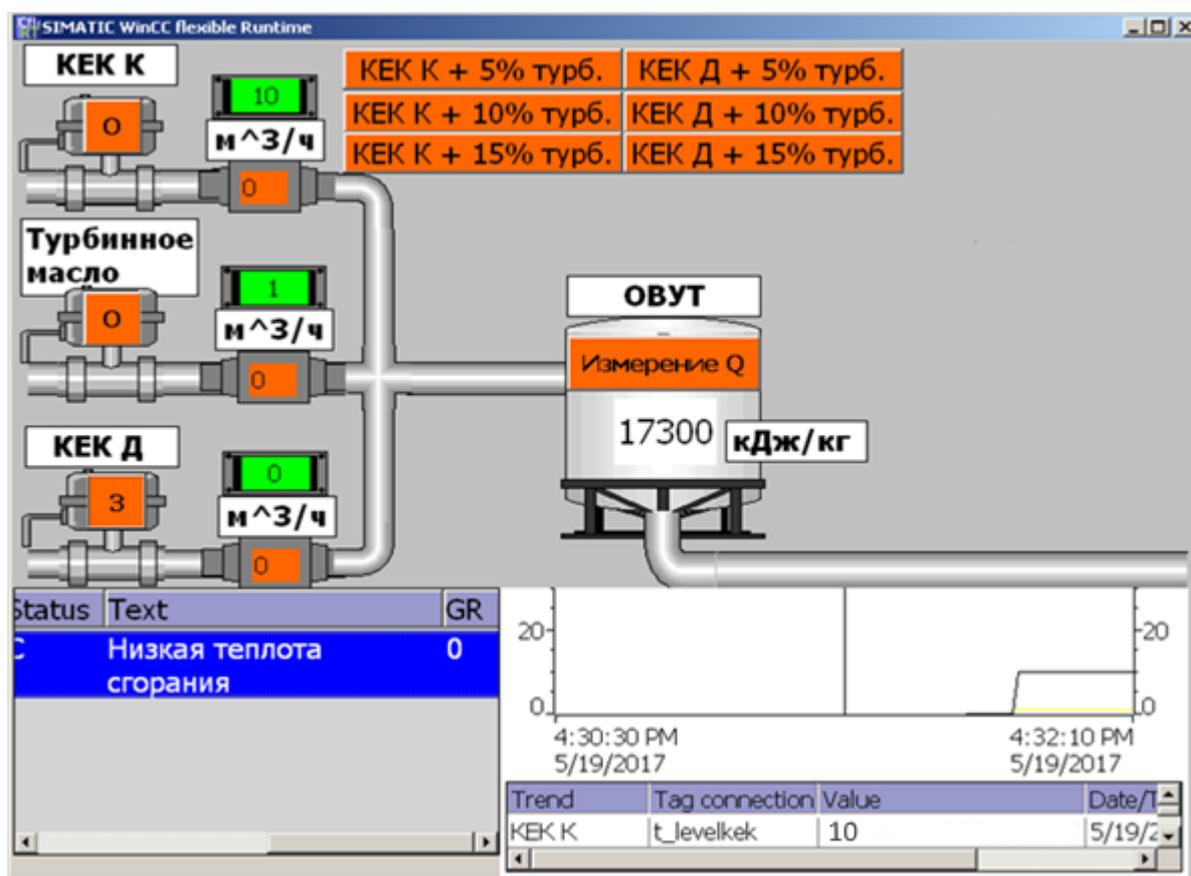


Рисунок 6.1 – Мнемосхема системы управления топливоприготовлением

В верхней части схемы можно выбрать одно из шести представленных видов топлива для приготовления в системе, а именно суспензии на основе фильтр-кек К и фильтр-кек Д и отработанного турбинного масла с различными концентрациями последнего: 5–15%. Также можно ввести значения расходов самостоятельно, напротив соответствующих трактов подачи компонентов. Также в нижней части можно наблюдать текущие предупреждения, например, о падении расхода одного из компонентов, или о низкой полученной теплоте сгорания.

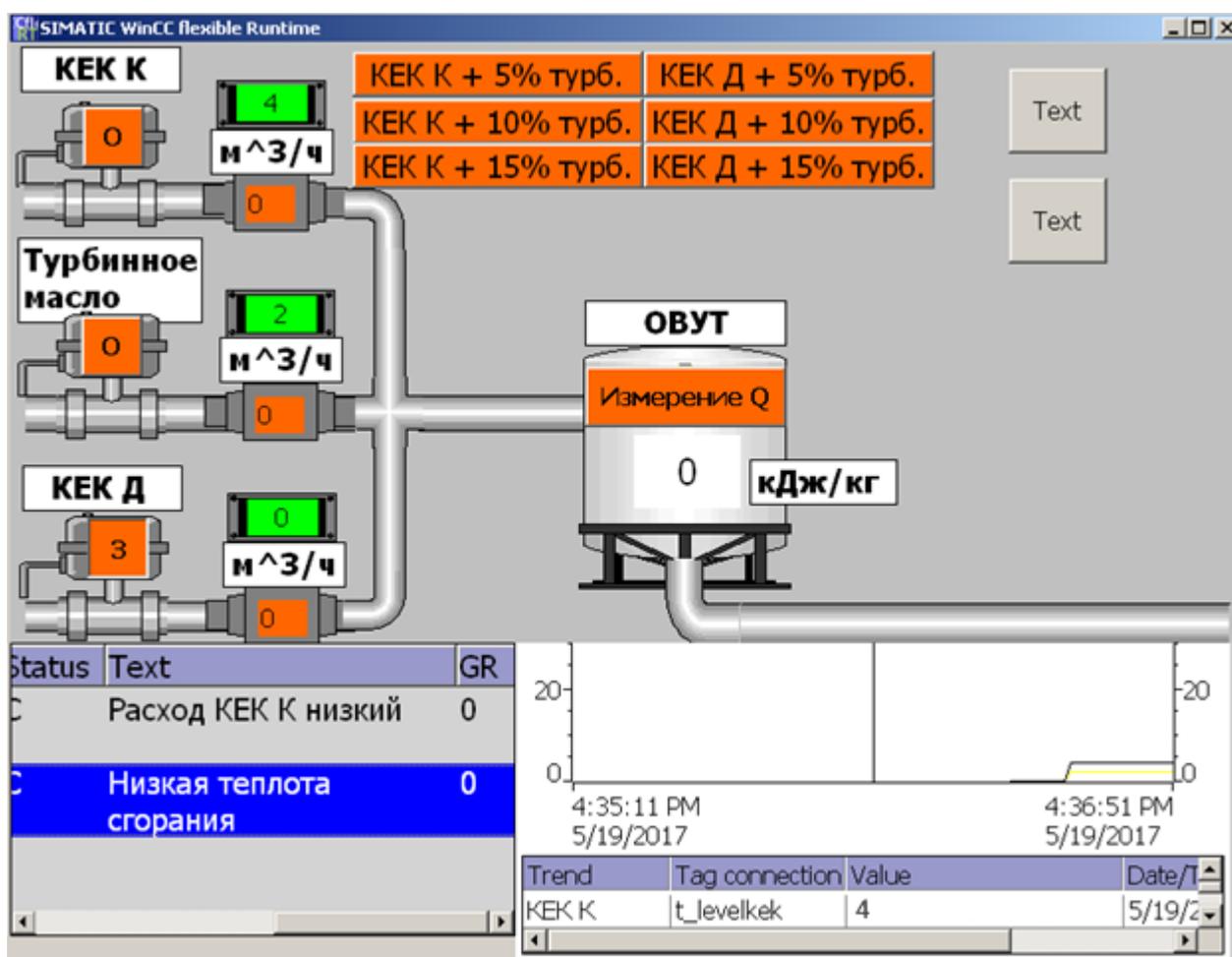


Рисунок 6.2 – Схема отображения предупреждений и трендов

В нижней части схемы помимо предупреждений можно следить в настоящем времени за текущим расходом компонентов ОВУТ, которые перекачиваются из системы хранения топлива. Полученная теплота сгорания отображается на баке-гомогенизаторе после нажатия кнопки «Измерение Q».

После получения необходимой теплоты сгорания топливо перекачивается в систему топливоподачи соответствующим насосом. Также можно по отдельности управлять клапанами (закрывать их в случае аварийных ситуаций дистанционно), которые регулируют расход компонентов водоугольной суспензии.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БЗВ	Косинцеву Андрею Георгиевичу

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АТП</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость угля = 2 руб/кг Стоимость ОБУТ = 1 руб/кг</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Расход угля = 3221 т/год</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления в социальные фонды 30 %</i>

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

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

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *График проведения НИР*

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

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Косинцев Андрей Георгиевич		

## 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания данного раздела является расчет экономической эффективности разработки автоматизированной системы топливоприготовления органоводоугольного топлива, которое может заменить собой традиционное топливо – угольную пыль. Как известно, ресурсоэффективность — способность минимально возможными усилиями достигать максимальных результатов, чтобы таким образом сэкономить ресурсы в широком смысле этого слова (материальные, финансовые и временные ресурсы, силы, здоровье и т. д.), а также использование меньшего количества ресурсов для производства того же объема продукции. В данной работе проведен анализ топливной эффективности перехода с использования угля на использование органоводоугольного топлива.

### 7.1 Перечень работ и оценивание времени их выполнения

Для оценки затрат на проект необходимо знать, сколько времени было потрачено на его разработку. Анализируя затраченное время на проект составим таблицу для наглядности. В таблице 16 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 16 – Планирование работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей		Продолжительность, дней	
	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 р)	Инженер (10 р)	Руководитель (16 р)
Выдача и получение задания	1	1	1	1
Анализ литературных данных	1	-	20	-
Описание объекта исследования, разработка структурной схемы	1	-	9	-
Разработка функциональной схемы	1	1	3	1
Выбор технических средств и составление заказной спецификации	1	1	8	1

Продолжение таблицы 16

Наименование работ	Количество исполнителей		Продолжительность, дней	
	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 разряд)	Инженер (10 разряд)	Инженер (10 разряд)
Разработка монтажной и принципиальной схем	1	1	8	1
Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции	1	1	4	1
Проведение экспериментальных исследований	1	1	25	2
Обработка результатов исследований	1	-	11	-
Технико-экономическое обоснование	1	-	4	-
Социальная ответственность	1	-	4	-
Оформление пояснительной записки	1	-	9	-
Проверка пояснительной записки	-	1	-	3
Итого	-	-	106	10

Анализируя перечень работ и оценки их выполнения, составим график проведения НИР, который представлен на рисунке 7.1. Такие графики используются для иллюстрации графика работ по проекту и являются одним из методов планирования проектов.

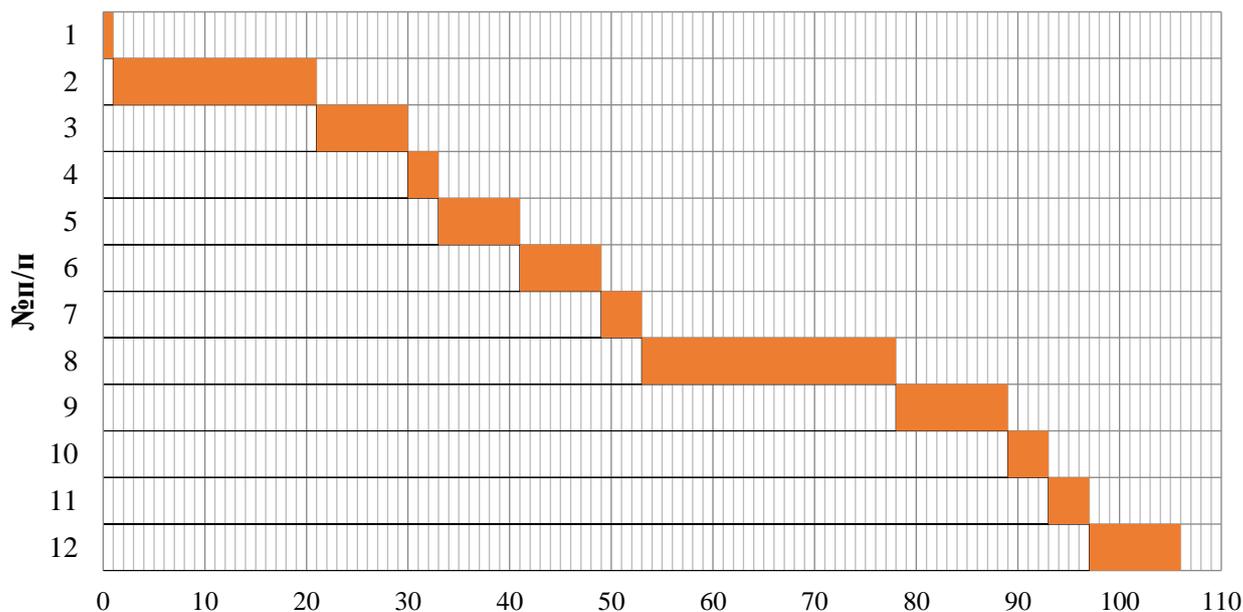


Рисунок 7.1 – График проведения НИР

## 7.2 Смета затрат на проект

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

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

где  $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты, руб.;

$K_{\text{ам}}$ -амортизация компьютерной техники, руб.;

$K_{\text{з/пл}}$ - затраты на заработную плату, руб.;

$K_{\text{с.о}}$ - затраты на социальные нужды, руб.;

$K_{\text{пр}}$ - прочие затраты, руб.;

$K_{\text{накл}}$ - накладные расходы, руб.

### 7.2.1 Материальные затраты

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем  $K_{\text{мат}}=1000$  руб.

### 7.2.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, вследствие ее износа. Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

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

где  $T_{исп.кт}$  - время использования компьютерной техники;

$T_{кал}$  - календарное время;

$C_{кт}$  - цена компьютерной техники;

$T_{сл}$  - срок службы компьютерной техники.

$$K_{ам} = \frac{106}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1742,5 \text{ руб./год.}$$

### 7.2.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты инженеру, разрабатывающему проект, а также научному руководителю и рассчитываются как:

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

где  $ЗП_{инж}^{\phi}$  - фактическая заработная плата инженера, руб.,

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

Месячный оклад:

$$ЗП_{инж}^м = ЗП_{0инж} \cdot K_1 \cdot K_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}, \quad (7.4)$$

$$ЗП_{нр}^м = ЗП_{0нр} \cdot K_1 \cdot K_2 = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}, \quad (7.5)$$

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

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

$ЗП_{0инж}$  - месячный оклад инженера;

$ЗП_{0нр}$  - месячный оклад научного руководителя;

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

$K_2$  - районный коэффициент, равен 1,3 (30 %).

Фактическая заработная плата:

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

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

21 - среднее число рабочих дней в месяце;

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

Инженер:

$$ЗП_{\text{инж}}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 106 = 122708 \text{ руб.}$$

Научный руководитель:

$$ЗП_{\text{нр}}^{\phi} = \frac{42900}{21} \cdot 10 = 20429 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{з/пл}} = 20429 + 122708 = 143137 \text{ руб.}$$

#### 7.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

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

$$K_{\text{соц/н}} = 143137 \cdot 0,3 = 42941 \text{ руб.}$$

#### 7.2.5 Прочие затраты

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

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

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1742,5 + 143137 + 42941) \cdot 0,1 = 18882 \text{ руб.}$$

#### 7.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

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

$$K_{\text{накл}} = 143137 \cdot 2 = 286274 \text{ руб.}$$

В таблице 17 представлена смета затрат на проект.

Таблица 17 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1742,5
Затраты на заработную плату	143137
Затраты на социальные нужды	42941
Прочие затраты	18882
Накладные расходы	286274
Итого	<b>493976,5</b>

### 7.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 18 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 18 – Затраты на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК ОВЕН 63	12500	1
Расходомер	40000	3
Исполнительный механизм	19000	5
Блок управления	14000	5
Калориметр	800000	1
Провод ПВ-1 1x1	1000	1
Провод КИПЭВ 2x0,6	250	1
Провод КРВБГ 4x1	1580	1
Провод КРВБГ 10x1	2600	1
Провод КРВБГ 10x1	1000	1
Провод АКРВБГ 4x2.5	3500	1
Провод АКРВБГ 7x2.5	1000	1
Компьютер	30000	1
Итого	<b>1128430</b>	23

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 10 % от суммы затрат на технические средства:

$$I_{\text{МОНТ}} = 0,1 \cdot I_{\text{ОБОР}} \text{ руб.}, \quad (7.10)$$

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

$$I_{\text{МОНТ}} = 0,1 \cdot 1128430 = 112843 \text{ руб.}$$

#### 7.4 Определение экономической эффективности проекта

Эффективность перехода на новое топливо определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{\text{ДО}}^T - I_{\text{ПОСЛЕ}}^T, \quad (7.11)$$

где  $I_{\text{ДО}}^T$  - топливные издержки до перехода на ОВУТ;

$I_{\text{ПОСЛЕ}}^T$  - топливные издержки после перехода на ОВУТ.

При расходе в котельной угля  $V_{\text{УГ}} = 3221$  т/год, учитывая что удельная теплота сгорания угля  $Q_{\text{УГ}} = 29$  МДж/кг рассчитаем количество ОВУТ, необходимого для выработки такого же количества теплоты в год.

Для органоводоугольного топлива:  $Q_{\text{ОВУТ}} = 21$  МДж/кг, а значит

$V_{\text{ОВУТ}} = 4448$  т/год.

$$I_{\text{ДО}}^T = V_{\text{УГ}} \cdot C_{\text{УГ}} = 3221 \cdot 2000 = 6442000 \text{ руб./год}, \quad (7.12)$$

где  $C_{\text{УГ}}$  - стоимость угля.

$$I_{\text{ПОСЛЕ}}^T = V_{\text{ОВУТ}} \cdot C_{\text{ОВУТ}} = 4448 \cdot 1000 = 4448000 \text{ руб./год}, \quad (7.13)$$

где  $C_{\text{ОВУТ}}$  - стоимость органоводоугольного топлива.

$$\mathcal{E} = 6442000 - 4448000 = 1994000 \text{ руб.}$$

В данном разделе был проведен расчет проекта по переходу с угля котла НР-18 на органоводоугольное топливо, для этого были решены следующие задачи:

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