

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 НОЦ И.Н. Бутакова

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
Автоматическая система регулирования реологических характеристик водоугольного топлива

УДК 681.51:662.758.2:532.135

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Волокитин Дмитрий Иванович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	К.Т.Н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	К.Т.Н		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

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

<b>Код компетенции СУОС</b>	<b>Наименование компетенции СУОС</b>
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

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

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

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

## ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Волокитину Дмитрию Ивановичу

Тема работы:

Автоматическая система регулирования реологических характеристик водоугольного топлива	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2022 года
--	------------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом регулирования является участок топливоподачи водоугольного топлива (ВУТ) от резервуара к форсунке. Учитывая специфику реологических характеристик водоугольного топлива, поддержание контролируемого параметра в заданном диапазоне – это неотъемлемая часть технологического процесса. Выполнялся контроль такой реологической характеристики, как вязкость ВУТ, за счет поддержания температуры топлива в заданном диапазоне для бесперебойной транспортировки ВУТ от резервуара хранения к распыляющей форсунке посредством участка топливоподачи.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Описание автоматической системы регулирования;</li> <li>2. Разработка структурной схемы;</li> <li>3. Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации;</li> <li>4. Разработка схемы электрической соединений;</li> <li>5. Разработка монтажной схемы внешних проводов;</li> <li>6. Разработка общего вида щита управления;</li> <li>7. Расчет оптимальных параметров настройки регулятора и прямых оценок качества системы регулирования;</li> <li>8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>9. Социальная ответственность</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала вопросов</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема структурная АСР;</li> <li>2. Схема функциональная АСР;</li> <li>3. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации;</li> <li>4. Схема электрическая соединений;</li> <li>5. Перечень элементов электрической схемы;</li> <li>6. Схема монтажная внешних проводов;</li> <li>7. Общий вид щита автоматизации.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент</b>	Доцент ОСГН ШБИП, к.т.н., Кашук Ирина Вадимовна
<b>Социальная ответственность</b>	Старший преподаватель ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	15.02.2022 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИИФВВП	Р.С. Волков	канд. тех. наук		15.02.2022 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Волокитин Дмитрий Иванович		15.02.2022 г.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 90 страниц, 10 рисунков, 35 таблиц, 35 источников.

Ключевые слова: реологические характеристики, водоугольное топливо, вязкость, топливоподача, автоматическая система регулирования.

Объектом автоматизации является участок топливоподачи водоугольного топлива от резервуара к форсунке для распыления в котел.

Цель работы: разработка автоматической системы регулирования (АСР) реологических характеристик водоугольного топлива.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы проводились экспериментальные исследования, выполнен анализ объекта автоматизации, разработана структурная и функциональная схемы АСР ТП, составлена спецификация приборов и средств автоматизации, а также выполнена разработка монтажной схемы, схемы электрической соединений и общего вида щита автоматизации, составлен перечень элементов.

Результатом выполнения работы является разработка автоматической системы регулирования реологических характеристик водоугольного топлива на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Также выполнен анализ возможности возникновения негативного влияния на человека и окружающую среду автоматической системы регулирования процесса измерения реологических характеристик.

## Оглавление

Введение.....	10
1 Научно – исследовательская работа.....	12
1.1 Описание экспериментального стенда .....	13
1.2 Описание методики исследований.....	14
2 Анализ объекта автоматизации .....	18
3 Выбор структуры автоматической системы регулирования .....	19
3.1 Разработка структурной схемы .....	19
3.2 Разработка функциональной схемы АСР .....	22
3.3 Выбор технических средств АСР реологических характеристик ВУТ .....	23
3.3.1 Выбор датчиков температуры .....	23
3.3.2 Выбор датчиков расхода .....	24
3.3.3 Выбор датчиков измерения вязкости.....	26
3.3.4 Выбор нагревательного элемента .....	27
3.3.5 Выбор насоса.....	28
3.3.6 Выбор исполнительного механизма .....	29
3.3.7 Выбор блока управления исполнительного механизма.....	30
3.3.8 Выбор регулирующего устройства .....	31
3.4 Разработка монтажной схемы.....	32
3.5 Разработка схемы электрической соединений.....	34
3.6 Разработка общего вида шкафа автоматизации.....	35
4 Расчет параметров настройки регулятора .....	36
4.1 Идентификация объекта управления .....	36
4.2 Расчет параметров настройки регулятора .....	39
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 47	
Введение.....	47
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	47
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	47
5.1.2 SWOT - анализ .....	49
5.2 Планирование научно – исследовательских работ.....	53

5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	53
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	54
5.3	Бюджет научно – технического исследования.....	59
5.3.1	Расчет материальных затрат научно – технического исследования .....	59
5.3.2	Расчет амортизации специального оборудования.....	60
5.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	61
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	63
5.3.5	Накладные расходы .....	64
5.4.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	65
	Заключение по разделу .....	68
6	Социальная ответственность .....	72
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ....	73
6.1.1	Специальные трудовые нормы правового законодательства .....	73
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ....	74
6.2	Производственная безопасность .....	75
6.2.1	Повышенный уровень шума.....	76
6.2.2	Повышенный уровень общей вибрации .....	77
6.2.3	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения .....	78
6.2.4	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник .....	79
6.3	Экологическая безопасность.....	80
6.3.1	Защита атмосферы .....	80
6.3.2	Защита гидросферы .....	81
6.3.3	Защита литосферы .....	81
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	81
	Заключение по разделу .....	84
	Заключение .....	86
	Список используемых источников.....	87

Графический материал	На отдельных листах
ФЮРА.421000.006 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.006 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.006 СО1	Заказная спецификация приборов и средств автоматизации
ФЮРА.421000.006 Э4	Схема электрическая соединений
ФЮРА.421000.006 ПЭ4	Перечень элементов схемы электрической соединений
ФЮРА.421000.006 С5	Схема монтажная
ФЮРА.421000.006 ВО	Общий вид щита автоматизации

## Введение

За счет постоянного роста численности населения планеты, ускорения процесса индустриализации происходит увеличение количества потребляемых человеком ресурсов. Соответственно, параллельно росту потребления, происходит рост цен на данные ресурсы. В стороне не остаются и главные энергоресурсы Земли, а именно, нефть, газ и уголь. За счет того, что нефть и газ являются дорогими и исчерпаемыми ресурсами, то опора на них, как на самые жизненно важные энергоресурсы, в ближайшей исторической перспективе является не наилучшим вариантом. Очевидно, что зреет вопрос о более надежном энергоресурсе для человечества. Среди энергетических ресурсов наиболее велики на Земле запасы угля. По подсчетам специалистов, при современных темпах его добычи его геологические запасы составляют около 9 трлн. тонн. Перевозка бурого угля на большие расстояния не является выгодной из-за некоторых особенностей энергоресурса, а именно содержания от 40 до 60 % влаги и от 20 до 35 % зольности на сухую массу. Однако, если рассмотреть бурый уголь как источник для получения водоугольного топлива (ВУТ), то его значение заметно меняется.

ВУТ представляет собой топливную композицию, состоящую из нескольких фаз, а именно, твердой (60 – 70 %), жидкой (29 – 39 %) и стабилизирующих добавок (1 %). Твердая фаза представлена отходами углеобогащения (угольный шлам, угольная пыль), жидкая фаза представлена водой или водными растворами, а стабилизирующие добавки представлены полимерами (АФ -12, ОП7, SAPP и др.). Данный вид топлива находит активное применение в энергетической промышленности за счет своих преимуществ в сравнении с углем, состоящих в отсутствии пыли при транспортировке и хранении, заметном снижении вредных выбросов в процессе сжигания, пожаробезопасности и взрывобезопасности. Базовые характеристики ВУТ включают в себя, такие реологические характеристики, как вязкость и предельное напряжение сдвига. Проанализировав существующие

исследования [1, 2], получаем, что реологические характеристики ВУТ имеют высокую чувствительность к изменениям температуры. Данные характеристики необходимо учитывать, оценивать, контролировать в процессе хранения и транспортировки топлива, а также его подготовки к процессу подачи в камеру сгорания.

Целью данной работы является разработка автоматической системы регулирования реологических характеристик водоугольного топлива. Автоматическая система регулирования реологических характеристик водоугольного топлива предназначена для поддержания значения заданного технологического параметра в установленном допустимом диапазоне величин, чтобы он не выходил за пределы нижней и верхней уставки.

Учитывая специфику реологических характеристик, поддержание контролируемого параметра в заданном диапазоне – это неотъемлемая часть технологического процесса. В данной работе выполнялся контроль такой реологической характеристики, как вязкость ВУТ, за счет поддержания температуры топлива в заданном диапазоне для бесперебойной транспортировки водоугольного топлива от резервуара хранения к распыляющей форсунке посредством участка топливоподачи. В случае отсутствия данной системы, неизбежен выход из строя промышленного оборудования, что повлечет за собой большие финансовые потери.

## 1 Научно – исследовательская работа

Результаты экспериментальных исследований демонстрируют, что ВУТ находит применение в энергетической промышленности [3,4] и встречается с такими этапами как: приготовление [1–5], хранение в топливных резервуарах [3,4], транспортировка [1,4,6], распыление форсункой при подаче на сжигание в энергетической установке [7] и, соответственно, термическое разложение при горении с выделением теплоты [8,9]. Рядом с каждым из этих этапов приведены наиболее яркие современные работы с целью подчеркивания актуальности научно-инженерных изысканий в соответствующих областях. С точки зрения приготовления топливных водоугольных суспензий (ВУС), существует большое количество исследований, посвященных изучению эффективности ВУС и улучшению полезных в аспекте топлива свойств и характеристик за счет добавления вспомогательных жидких веществ [10–12] или подмешивания твердых веществ вместо угля или угольного шлама [13,14]. Реологические характеристики водоугольного топлива важно учитывать, оценивать и правильно предсказывать при хранении и транспортировке топливных ВУС. Логично утверждать с практической позиции, что данные жизненные этапы топливных ВУС могут сопровождаться существенными изменениями температуры окружающей среды и, соответственно, самого топлива. Исследования [15,16], учитывающие колебание температурного фактора, показывают высокую чувствительность реологических характеристик топливных ВУС к нему. Таким образом, обеспечение приемлемых для промышленного использования реологических параметров топливных ВУС в широком диапазоне температур, включая отрицательные, учитывая наличие воды в виде несущей среды, является пока еще малоизученным направлением исследований.

## 1.1 Описание экспериментального стенда

Для определения значений основных реологических характеристик водоугольного топлива был выполнен цикл экспериментов при использовании лабораторного оборудования. Был спроектирован экспериментальный стенд и проведена его дальнейшая сборка. Экспериментальный стенд представляет собой рабочий стол, на котором размещается компьютер и ротационный вискозиметр Brookfield DV3T (диапазон измерения  $1 \dots 6 \cdot 10^6$  мПа·с, точность  $\pm 1$  %, воспроизводимость  $\pm 0,2$  %), для измерения реологических характеристик топливных смесей, которые участвовали в эксперименте. В непосредственной близости от стола, для поддержания заданной температуры термостатирования образцов суспензий, находится криостат Kiss К6 фирмы «Huber», Германия (температурный диапазон от  $-25$  °С до  $200$  °С, обеспечиваемый за счет использования теплоносителя – смеси пропиленгликоля и воды в соотношении 50/50, отклонение температуры в рабочей емкости  $\pm 0,05$  °С). Термостатирование образцов проводилось при температурах  $-5$  °С,  $0$  °С,  $5$  °С и  $25$  °С. Для измерения вязкости использовались шпиндели LV-2 (диапазон измерения вязкости  $200 - 400000$  мПа·с), работающие совместно с теплоизолированным цилиндрическим кожухом (высота кожуха  $150$  мм, с отверстием диаметром  $20$  мм для размещения пробирки до  $50$  мл), и шпиндель SC4-34 (диапазон измерений  $24 \dots 600 \cdot 10^3$  мПа·с, точность  $\pm 1$  %, воспроизводимость  $\pm 0,2$  %), работающий совместно с SSA адаптером (теплоизолированным цилиндрическим кожухом со встроенной камерой для образцов объемом до  $16$  мл). Для измерений в диапазоне скоростей сдвига  $0,01 - 70$  с<sup>-1</sup> использовался шпиндель SC4-34, а в диапазоне  $70 - 380$  с<sup>-1</sup> применен шпиндель LV-2. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.

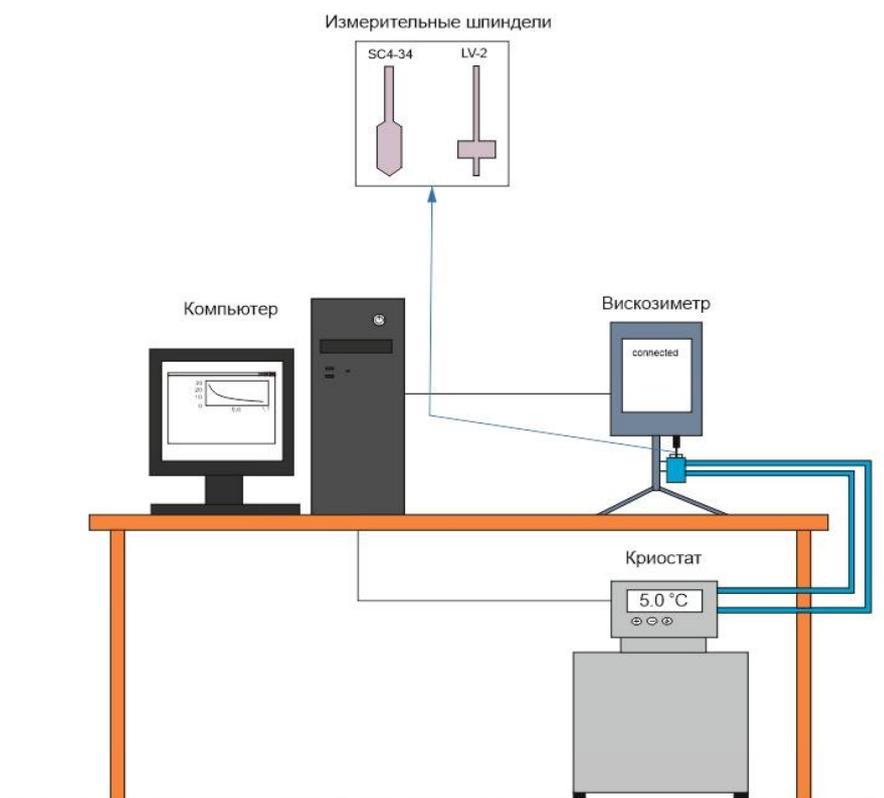


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда по определению реологических параметров

## 1.2 Описание методики исследований

Измерение реологических характеристик образцов осуществляется в диапазоне температур от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $25^{\circ}\text{C}$ , а именно, при  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ . Состав исследуемых топливных композиций представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав перспективных топливных ВУС

№ топливной композиции	Компонентный состав
CWS - 1	50% угольный шлам, 48% дистиллированная вода, 1% лигнитовый полимер, 1% АФ 9-12
CWS - 2	50% угольный шлам, 48% дистиллированная вода, 1% SAPP, 1% АФ 9-12

Продолжение таблицы 1

CWS - 3	50% угольный шлам, 48% дистиллированная вода, 1% SAPP, 1% ОП7
CWS - 4	50% уголь, 49,4% дистиллированная вода, 0,1% УФР, 0,5% ОП7
CWS - 5	50% уголь, 49,4% дистиллированная вода, 0,1% лигнитовый полимер, 0,5% ОП7
CWS - 6	50% уголь, 49,4% дистиллированная вода, 0,1% SAPP, 0,5% ОП7
CWS - 7	50% уголь, 49,9% дистиллированная вода, 0,1% УФР
CWS - 8	50% уголь, 49,2% дистиллированная вода, 0,5% лигнитовый полимер, 0,3% АФ 9-12
CWS - 9	50% уголь, 49,1% дистиллированная вода, 0,6% SAPP, 0,3% АФ 9–12
CWS - 10	50% уголь, 48,6% дистиллированная вода, 0,4% УФР, 1% ОП7
CWS - 11	50% уголь, 48,4% дистиллированная вода, 0,6% лигнитовый полимер, 1% ОП7

Заблаговременно до проведения эксперимента, образцы помещаются в теплоизолированный цилиндрический кожух, в котором они находятся в пробирках или же в специальном адаптере SSA. Для того, чтобы образцы достигли заданной температуры, необходимо 10 минут.

Цилиндрических кожух предназначен для создания изотермической среды вокруг камеры с топливом и, таким образом, изменения температуры самого образца топлива. В боковую стенку кожуха встроены два штуцера для подключения шлангов внешнего контура криостата. Подача от криостата осуществляется через нижний штуцер для полного заполнения внутренней полости кожуха теплоносителем с заданной температурой. После заполнения

камеры теплоноситель через верхний штуцер возвращается в ванну криостата. Внутри кожуха располагается камера с образцом топлива, в которую погружается шпindel и проводятся реологические измерения. Результаты, полученные при заданных температурах 25 °С, - 5 °С, представлены на рисунках 2,3.

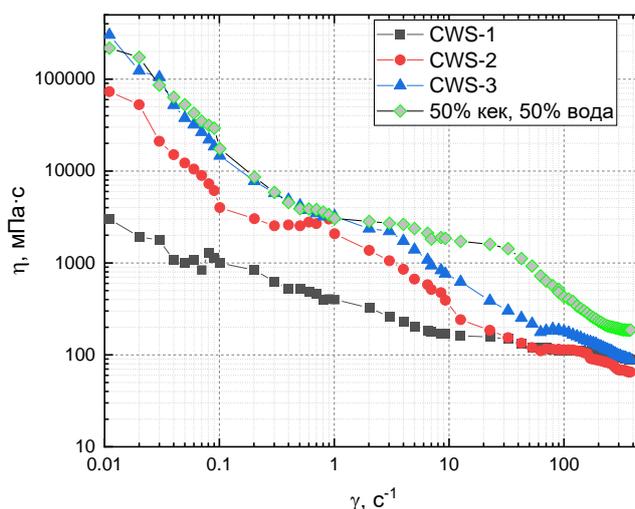


Рисунок 2 – Кривые вязкости для композиционных жидких топлив на основе угольного шлама с подмешанными добавками–регуляторами физико–химических свойств и ПАВ при 25 °С

На рисунке 2 представлен график зависимости вязкости ВУС от скорости сдвига для топливных смесей на основе угольного шлама с добавлением ПАВ и полимера. Ниже перечислены основные особенности, которые можно выделить при анализе рисунка 2:

1. наблюдается снижение вязкости на протяжении всего диапазона скоростей сдвига;
2. исследуемый образец, состоящий из топливной композиции «50% угольный шлам, 50% вода» имеет наибольший угол наклона кривой, что говорит о большем влиянии на «неньютоновость» смеси;

- исследуемый образец (CWS – 1), в состав которого входит добавление ПАВ + полимер, имеет меньший угол наклона кривой, что говорит о существенном влиянии добавок на «неньютоновость» смеси.
- у исследуемых образцов CWS-2 и CWS-3 заметного изменения угла наклона не наблюдается, но наблюдается понижение вязкости на всем диапазоне скоростей сдвига.

На рисунке 3 представлен график зависимости вязкости ВУС от скорости сдвига для топливных композиций на основе угольного шлама с добавлением смеси ПАВ+полимер.

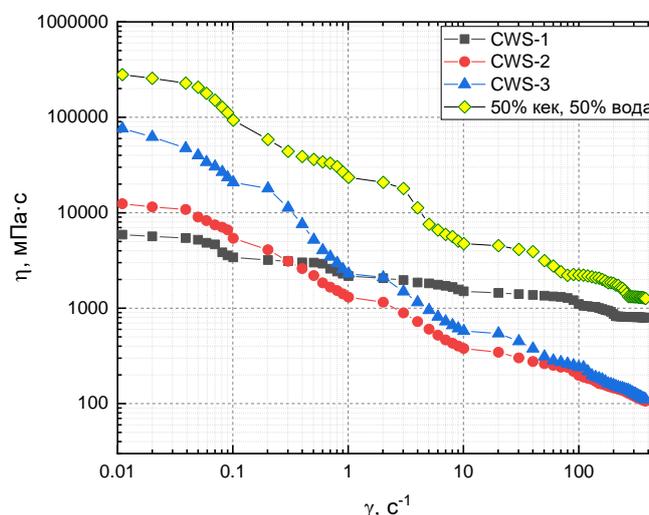


Рисунок 3 – Кривые вязкости для композиционных жидких топлив на основе угольного шлама с подмешанными добавками–регуляторами физико–химических свойств и ПАВ при - 5 °С

Ниже перечислены основные особенности, которые можно выделить при анализе рисунка 3:

- наблюдается снижение вязкости на протяжении всего диапазона скоростей сдвига;

2. исследуемый образец, состоящий из топливной композиции «50% угольный шлам, 50% вода» имеет наибольший угол наклона кривой, что говорит о большем влиянии на «неньютоновость» смеси;
3. исследуемый образец (CWS – 1), в состав которого входит добавление ПАВ + полимер, имеет меньший угол наклона кривой, что говорит о существенном влиянии добавок на «неньютоновость» смеси.
4. у исследуемых образцов CWS-2 и CWS-3 заметного изменения угла наклона не наблюдается, но наблюдается понижение вязкости на всем диапазоне скоростей сдвига.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующее основное заключение: подмешивание в суспензию добавок-регуляторов физико-химических свойств и ПАВ приводит к заметному изменению структуры суспензии, связанному со снижением вязкости.

## 2 Анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации выбран участок топливоподачи водоугольного топлива (ВУТ) от резервуара к форсунке. Учитывая специфику реологических характеристик водоугольного топлива, поддержание контролируемого параметра в заданном диапазоне – это неотъемлемая часть технологического процесса. В данной работе выполнялся контроль такой реологической характеристики, как вязкость ВУТ, за счет поддержания температуры топлива в заданном диапазоне для бесперебойной транспортировки водоугольного топлива от резервуара хранения к распыляющей форсунке посредством участка топливоподачи. В случае отсутствия данной системы, неизбежен выход из строя промышленного оборудования, что повлечет за собой большие финансовые потери.

На данном участке топливоподачи установлен электрический нагреватель, который предназначен для того, чтобы производить нагрев ВУТ

до того момента, когда появится возможность забрать горячую воду с котла в поверхностный теплообменник и для нивелирования влияния внешних факторов, которые негативно влияют на процесс измерения вязкости на участке топливоподачи. Одним из примеров негативных факторов является температура внешней среды. Топливо поступает в трубопровод путём закачки насосом из резервуара и производятся замеры основных параметров, а именно, температуры, расхода и вязкости.

Входными параметрами являются значение температуры, которое измеряется измерительным преобразователем температуры «Элемер ТСМУ – 205» с выходным унифицированным сигналом 4...20 мА, значение расхода, которое измеряется расходомером переменного перепада давления «ЭМИС–МАГ 270» с выходным унифицированным сигналом 4...20 мА, и значение вязкости, которое измеряется цифровым поточным преобразователем вязкости «Solartron 7827» с выходным унифицированным сигналом 4...20 мА.

Чувствительный элемент промышленного поточного вискозиметра производит измерение вязкости в потоке жидкости непрерывно, постоянно омываясь ВУТ. При выходе значения вязкости за пределы допустимого диапазона измерения происходит перекрытие участка топливоподачи задвижкой, открытие участка слива топлива к резервуару и включение электрического нагревателя, который установлен на этом участке с целью подогрева ВУТ для того, чтобы поддерживать вязкость ВУТ в заданном диапазоне значений.

### 3 Выбор структуры автоматической системы регулирования

#### 3.1 Разработка структурной схемы

Надежность и эффективности работы регулятора напрямую зависит от выбора структуры управления объектом автоматизации. Системы автоматического регулирования бывают одноуровневыми и

многоуровневыми. В данной работе была рассмотрена многоуровневая система регулирования реологических характеристик водоугольного топлива, которая представлена тремя уровнями.

Нижний уровень, он же полевой, включает в себя контрольно-измерительные приборы и арматуру, запорно-регулирующую арматуру, исполнительные механизмы, насос и электронагреватель. На данном уровне, как правило, выполняется контроль за технологическими параметрами; преобразование полученных параметров в унифицированные сигналы; определение положения и состояния исполнительных механизмов; взаимодействие с запорно-регулирующей арматурой.

Средний уровень представлен контроллером, который занимает важнейшее место в автоматической системе управления. Сигналы, получаемые датчиками технологических параметров, поступают на контроллер, а дальше происходит формирование команд исполнительным механизмам, пусковым устройствам и другим элементам структуры, связанным с ним.

Верхний уровень автоматизации в данной работе представлен автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ) – это место, в котором происходит сбор, обработка, систематизация, хранение, формирование базы данных, архивирование информации о технологическом процессе, которая представляется оператору для получения от него команд управления. Также производится формирование сигналов, которые поступают на полевой уровень, при помощи сигналов, подаваемых через контроллер, с целью поддержания режимов работы.

Структурная схема автоматической системы регулирования реологических характеристик водоугольного топлива представлена на рисунке 4. В данной системе происходит регулирование такого технологического параметра водоугольного топлива, как вязкость (РТП). ВУТ поступает в систему топливоподачи путем движущей силы насоса (Н), после чего происходит измерение температуры (ИП1) и вязкости (РТП)

измерительным преобразователем температуры (ПП2) и цифровым преобразователем вязкости (ПП1) до нагревателя (ЭН). Сигналы, поступившие на контроллер (К), обрабатываются и в случае расхождения заданных значений параметров с фактическими, вырабатываются управляющие воздействия, которые передаются пусковым устройствам (ПУ2) и (ПУ3), которые выполняют следующие функции: (ПУ3) приводит в действие (ИМ3) и осуществляет перекрытие подачи топлива на форсунку, а (ПУ2) приводит в действие (ИМ2) и поступившее топливо сливается обратно в резервуар. Далее, путём включения электрического нагревателя (ЭН), происходит догрев ВУТ до необходимого значения температуры, при которой значения вязкости будут допустимы (до 1200 мПа·с). Это определяется путём измерения температуры, вязкости и расхода (ИП2) после нагревателя расходомером переменного перепада давления (ПП3). При достижении заданных значений вязкости и температуры управляющим воздействием контроллера электрический нагреватель отключается и посредством подачи греющей воды из котла, путем работы (ПУ1) и (ИМ1), происходит поддержание заданной температуры, и, следовательно, значения вязкости.

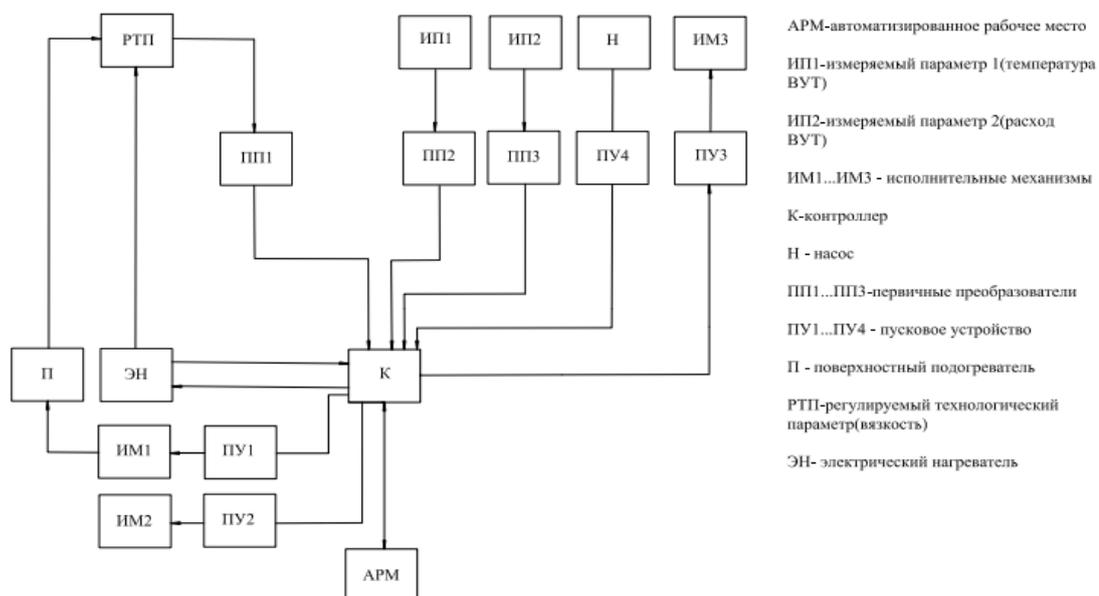


Рисунок 4 - Структурная схема автоматической системы регулирования реологических характеристик водоугольного топлива

### 3.2 Разработка функциональной схемы АСР

Функциональная схема – это важный технический документ, который описывает процессы, протекающие в системе, а также представляет взаимодействие различных частей системы автоматизации, наличие и расположение технических средств автоматизации.

В данной ВКР схема технологического объекта представлена участком системы топливоподачи, в которой происходит транспортировка водоугольного топлива (ВУТ) от резервуара к форсунке. Для поддержания бесперебойной работы определен ряд важнейших технологических параметров, которые необходимо измерять, регулировать и контролировать, а также определены участки контроля параметров, таких как вязкость, температура, расход. Изображение первичных преобразователей, исполнительных механизмов представляет собой окружность, от которой отходит линия связи с присвоенной ей номером. Все эти линии затем ведутся в шкаф автоматизации, в котором находится контроллер. После прохождения сигналов через контроллер, происходит поступление их на АРМ оператора.

Измерительные каналы 1,2 служат для передачи сигнала о величине температуры ВУТ от измерительного преобразователя температуры с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА к контроллеру. По каналу 3 на контроллер передается значение расхода после прохождения топлива нагревателя. Значение такого параметра, как вязкость ВУТ, поступает на контроллер по каналам 4 и 5. Каналы 9, 11, 13 служат для передачи на контроллер информации о положении заслонки. Контроллер вырабатывает управляющее воздействие, которое передается на пусковые устройства по каналам 8б, 10б и 12б, для приведения в действие соответствующих механизмов.

Функциональная схема автоматической системы регулирования реологических характеристик представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С2.

### 3.3 Выбор технических средств АСР реологических характеристик ВУТ

Выбор технических средств автоматизации для различных систем является одной из важнейших частей в проектировании системы. От правильности выбора технических средств автоматизации зависит точность и четкость работы системы. Чтобы правильно выбрать ТСА, необходимо учитывать следующие аспекты: надежность, наличие унификации, диапазоны рабочих параметров, габаритные размеры, сложность обслуживания и наладки, долговечность.

#### 3.3.1 Выбор датчиков температуры

В АСР реологических характеристик ВУТ необходимо измерять температуру топлива в трубопроводе, ведь от значения температуры напрямую зависит значение вязкости водоугольного топлива. Для измерения температуры топлива используются термоэлектрические преобразователи температуры. При выборе нужно определить диапазон температур измеряемой среды, длину монтажной части и то, с какими рабочими средами взаимодействует прибор. После анализа и поисков в каталогах заводов – изготовителей были отобраны следующие измерительные преобразователи температур:

1. Датчик измерения температуры «Элемер» типа ТСМУ – 205;

Таблица 2 – Технические характеристики «Элемер» типа ТСМУ – 205

Характеристика	Величина
Диапазон унифицированного сигнала	4...20 мА
Длина монтажной части	60...3150 мм
Температура окружающей среды	-10 °С...+70 °С

Продолжение таблицы 2

Диапазон преобразования температуры	-50 °С ...+1300°С
Класс точности	0,25; 0,5
Потребляемая мощность	не более 0,8 Вт
Средний срок службы	не менее 15 лет

2. Датчик измерения температуры «Метран» типа ТП – 288.

Таблица 3 – Технические характеристики «Метран» типа ТП – 288

Характеристика	Величина
Выходной сигнал	4...20 мА, HART
Длина монтажной части	60...200 мм
Диапазон преобразования температуры	-50 °С ...+1200°С
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Пылевлагозащита	IP65
Средний срок службы	не менее 8 лет

Технические характеристики данных измерительных преобразователей температуры примерно схожи и удовлетворяют требованиям, однако, срок службы у датчика измерения температуры «Элемер» типа ТСМУ – 205 больше, поэтому выбираем его.

### 3.3.2 Выбор датчиков расхода

В АСР реологических характеристик ВУТ необходимо проводить измерение расхода топлива. В процессе изучения каталогов заводов-производителей были подобраны следующие варианты:

1. Расходомер Метран – 150 RFA;

Таблица 4 – Технические характеристики Метран – 150 RFA

Характеристика	Величина
Выходной сигнал	4...20 мА, HART
Измеряемые среды	Вода, пар, газ и другие энергоносители
Температура измеряемой среды	-40 °С ...+454°С
Предел основной относительной погрешности	± 2,5°С
Избыточное давление в трубопроводе	До 40 МПа
Условный проход трубопровода	50...2400 мм

2. Электромагнитный расходомер ЭМИС – МАГ 270.

Таблица 5 – Технические характеристики ЭМИС – МАГ 270

Характеристика	Величина
Выходной сигнал	4...20 мА, HART, Modbus RTU
Измеряемые среды	Электропроводные жидкости, в том числе агрессивные жидкости с включением твердых частиц
Температура измеряемой среды	-40 °С ...+100°С
Температура окружающей среды	-40 °С ...+75°С
Избыточное давление в трубопроводе	До 32 МПа
Условный проход трубопровода	15...3000 мм
Защита от влаги и пыли	IP65
Срок службы	не менее 15 лет

После проведения анализа технических характеристик можно увидеть, что электромагнитный расходомер ЭМИС – МАГ 270 полностью удовлетворяет требованиям системы, а значит, выбор падает именно на него.

### 3.3.3 Выбор датчиков измерения вязкости

Основной реологической характеристикой с данной работе является вязкость и от точности ее измерения напрямую зависит корректность работы системы, поэтому подходить к выбору средства измерения вязкости нужно с особой внимательностью. Прежде всего, нужно обращать внимание на то, с какими рабочими средами взаимодействует прибор. Немаловажное значение играет и то, при каких температурах окружающей среды функционирует прибор. Проведя анализ средств измерения вязкости, были выбраны для сравнения следующие образцы:

1. Поточный преобразователь вязкости Solartron 7827;

Таблица 6 – Технические характеристики Solartron 7827

Характеристика	Величина
Выходной сигнал	4...20 мА, HART, Modbus, RS-485
Измеряемые среды	Жидкости с высокими вязкостями
Диапазон измерения вязкости	0,5...10000 мПа·с
Максимальное рабочее давление	10 МПа
Температура окружающей среды	-40 °С ...+85°С
Диапазон температур исследуемой среды	-50 °С ...+110°С
Основная погрешность преобразования вязкости	± 1%
Защита от влаги и пыли	IP65
Срок службы	не менее 15 лет

## 2. Вискозиметр вибрационный низкочастотный ВВН – 8.

Таблица 7 – Технические характеристики ВВН - 8

Характеристика	Величина
Выходной сигнал	4...20 мА, Modbus, RS-485
Измеряемые среды	Жидкости с высокими вязкостями
Диапазон измерения вязкости	0,5...12000 мПа·с
Максимальное рабочее давление	6,3 МПа
Температура окружающей среды	-45 °С ...+40°С
Диапазон температур исследуемой среды	-40 °С ...+85°С
Основная погрешность преобразования вязкости	± 2,5%
Защита от влаги и пыли	IP65
Срок службы	не менее 15 лет

Сравнив технические характеристики данных вискозиметров, получаем, что поточный преобразователь вязкости Solartron 7827 полностью удовлетворяет требованиям АСР реологических характеристик водоугольного топлива, следовательно, выбираем его.

### 3.3.4 Выбор нагревательного элемента

В процессе работы системы, на начальном этапе, отсутствует подача греющей воды из котла на поверхностный теплообменник, необходимо осуществлять подогрев водоугольного топлива с целью его бесперебойного прохождения по участку топливоподачи в заданном диапазоне значений температуры и вязкости. Для того, чтобы осуществлять первоначальный нагрев ВУТ, в качестве системы нагрева принято решение использовать

греющий кабель XAREX ХНМ 24-2 СТ, обладающий техническими характеристиками, приведёнными в таблице 8:

Таблица 8 – Технические характеристики XAREX ХНМ 24-2

Характеристика	Значение
Мощность, Вт/м	24
Максимальная температура нагрева, °С	110
Температура окружающей среды при эксплуатации, °С	-40 ...+60
Относительная влажность воздуха, %	до 100
Минимальный срок службы, лет	10
Степень защиты от воздействия внешних факторов	IP66

### 3.3.5 Выбор насоса

Для бесперебойной подачи водоугольного топлива от резервуара к форсунке, на проектируемой АСР было принято решение по установке насоса УОДН-120-100-65. При выборе насоса необходимо было, в первую очередь, обращать внимание на специфичность перекачиваемого состава, а именно, высокую вязкость и наличие твёрдых частиц. Данный тип насосов разработан по заказу НК «Сургутнефтегаз» и успешно применяется для работы на различных нефтебазах. Технические характеристики насоса представлены в таблице 9

Таблица 9 – Технические характеристики УОДН-120-100-65

Характеристика	Значение
Температура перекачиваемой жидкости, °С	-30 ...+90
Объемная концентрация твёрдых частиц, %	2
Максимальный размер твёрдых частиц, мм	5
Вязкость перекачиваемой жидкости, мПа·с	500

### 3.3.6 Выбор исполнительного механизма

При проектировании АСР реологических характеристик в качестве исполнительного механизма был выбран механизм электрический однооборотный (МЭО). Для того, чтобы верно определить тип МЭО, необходимо произвести расчет максимального крутящего момента и сравнить его с номинальным.

Максимальное значение крутящего момента рассчитывается по формуле:

$$M_{\max}^{\text{кр}} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 120 - 338 = 488,8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $D_y$  – условный диаметр трубопровода, мм.

Необходимо выполнение следующего условия:

$$M_H > M_{\max}^{\text{кр}},$$

где  $M_H$  – номинальный крутящий момент на выходном валу исполнительного механизма, Н·м.

Исходя из полученного значения максимального крутящего момента и выполнения необходимого условия, выбираем три исполнительных

механизма типа МЭО-630/25-0,25-92КБ, технические характеристики которых приведены в таблице 10:

Таблица 10 – Технические характеристики МЭО-630/25-0,25-92КБ

Характеристика	Значение
Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	630
Номинальное время полного хода выходного вала, с	25
Номинальное значение полного хода выходного вала, об	0,25
Потребляемая мощность, Вт	200
Масса, кг	74

### 3.3.7 Выбор блока управления исполнительного механизма

Блоком управления исполнительным механизмом выбран БУЭР 1-30-02, который предназначен для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ) по командам, полученными по резервированному цифровому каналу. Данные блоки управления обладают следующими функциями: выполнение самодиагностики, управление электродвигателем, а именно, пуск, реверс, останов. В добавок к сказанному, БУЭР 1-30-02 способен выполнять диагностику ЭИМ.

БУЭР 1-30-02 работает в режиме – повторно-кратковременный. Продолжительность включений до 25 %. Данный блок управления исполнительным механизмом содержит микропроцессорное устройство, а также два приёмо-передатчика интерфейсного канала RS-485. БУЭР 1-30-02 обладают степенью защиты корпуса IP20 и средним сроком службы 10 лет.

Блоки управления типа БУЭР выпускаются ЗАО «Волмаг» и являются аналогами пускателей исполнительных механизмов типа МЭО ПБР, ФЦ, разработанных ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары более 20 лет назад.

### 3.3.8 Выбор регулирующего устройства

В разрабатываемой АСР реологических характеристик водоугольного топлива в качестве регулирующего устройство используется контроллер. Контроллер – это одно из важнейших технических устройств автоматизации в структуре производственных систем, которое работает в реальном масштабе времени. Он выполняет различные функции управления в соответствии с информацией, получаемой от датчиков. В данной работе рассматривались два контроллера, которые являются представителями от разных производителей: контроллер типа ЭЛСИ-ТМК от АО «ЭлеСи» и контроллер типа SIMATIC-S7-200 от компании «SIEMENS», технические характеристики которых приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики ЭЛСИ-ТМК и SIMATIC-S7-200

Контроллер	ЭЛСИ-ТМК	SIMATIC-S7-200
Напряжение питания	220 В, 50 Гц; 24В	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность для переменного тока, ВА	20	12
Выходное напряжение, В	24 ± 4	24 ± 3
Количество дискретных входов	64	6

### Продолжение таблицы 11

Количество аналоговых входов	24	6
Количество дискретных выходов	64	10
Количество аналоговых выходов	24	1
Среда программирования	Codesys	Step7
Цена	от 13950 рублей	от 1443 евро

В качестве контроллера, используемого в проектируемой АСР будем использовать контроллер типа ЭЛСИ-ТМК от отечественного производителя АО «ЭлеСи», так как он обладает необходимым количеством аналоговых и дискретных входов, выходов, а также он дешевле своего конкурента.

На основании выполненного выбора технических средств автоматизации была составлена заказная спецификация средств автоматизации, которая представлена отдельным документом с шифром ФЮРА.421000.006 СО1.

#### 3.4 Разработка монтажной схемы

Монтажная схема АСР является документом, который необходим для правильности проведения монтажа оборудования, и, соответственно, для бесперебойного функционирования системы. На монтажных схемах изображаются соединения технических устройств, взаимодействующих между собой в системе. В рамках ВКР при разработке данной схемы использовалась функциональная схема, схема электрическая соединений, лекционный материал, методические пособия, а также руководства по

эксплуатации используемых в системе технических средств, а также были выполнены следующие этапы:

1. изображены технические средства автоматизации в соответствии с установленными требованиями;
2. для соединения и взаимодействия технических средств, выбраны проводки;
3. выполнен выбор клеммных коробок;
4. в соответствии с руководствами по эксплуатации технических средств автоматизации нанесены обозначения клемм;
5. в соответствии со схемой подключения выполнена нумерация клемм;
6. произведено подключения технических средств в шкаф автоматизации и силовой щит управления.

В верхней части схемы изображена пояснительная таблица, в которой показаны параметры, позиции, а также место установления первичных преобразователей. Под таблицей выполнено изображение данных преобразователей монтажными символами в соответствии с их руководствами по эксплуатации, а также отображены клеммные блоки для выполнения внешних подключений. Осуществлено подключение жил кабелей к данным техническим средствам. В непосредственной близости выполнено нанесение на схему блоков управления электродвигателем и механизмов электроисполнительных однооборотных, а также выполнено их подключение в соответствии с заводской документацией. На монтажной схеме также изображены щит силового управления и щит автоматизации, в которых располагаются блоки зажимов для осуществления внешних соединений. К данным клеммам произведено подключение промаркированных жил проводов. Монтажная схема внешних электрических проводок представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С5.

### 3.5 Разработка схемы электрической соединений

Схема электрическая соединений – документ, демонстрирующий состав элементов, устройств АСР, которые находятся непосредственно в щите и взаимодействуют между собой. Данный вид схем показывает электрический принцип действия системы. Во время разработки схемы электрической соединений были выполнены следующие этапы:

1. в соответствии с технической документацией и необходимыми стандартами произведено изображение технических средств автоматизации;
2. пользуясь руководствами по эксплуатации технических средств, проведено соединение проводок с клеммами соответствующих устройств;
3. в соответствии с технической документацией выполнена нумерация клемм.

Питание щита автоматизации производится от щита питания (220В, 50Гц). При помощи первичных преобразователей происходит измерение необходимых параметров в АСР, затем данные величины преобразовываются в токовый унифицированный сигнал 4...20 мА, который поступает в контроллер на модуль ввода аналоговых сигналов, перед этим пройдя через преобразователи измерительные разделительные ЕТ 422. Происходит обработка поступивших сигналов и формирование управляющих сигналов, которые поступают от контроллера на блок управления электродвигателем. Также используется модуль для защиты устройств от перенапряжений УЗМ – 50 Ц, который располагается непосредственно после автоматического выключателя QF-1. Блок питания G1 необходим для преобразования переменного напряжения 220 В в постоянное напряжение, номиналом 24 В, необходимое для питания большинства устройств шкафа автоматизации. Для освещения используется лампа дневного света EL-1, а для охлаждения воздуха в шкафу, в случае срабатывания реле контроля температуры КК1,

применяется вентилятор М1. Помимо данных устройств, в систему входят модули контроллера, без которых невозможно функционирование АСР, а именно, модуль питания А1, процессорный модуль А2, модуль аналогового ввода А3, модули дискретного ввода и вывода А4 и А5 соответственно, а также интерфейсные модули А6, А7.

Схема электрическая соединений приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 Э4, а перечень элементов к данной схеме в отдельном документе с шифром ФЮРА.421000.006 ПЭ4.

### 3.6 Разработка общего вида шкафа автоматизации

При разработке общего вида шкафа автоматизации демонстрируется количество, взаимное расположение его составляющих, а именно, контроллера, осветительного и вентилирующего оборудования, блока питания, защиты от перенапряжения, розеток, релейных модулей, преобразователей, сборок зажимов. Размещение данных устройств осуществляется на DIN-рейку.

Щиты автоматизации, как правило, располагаются в операторских, это для своевременного контроля за протеканием технологического процесса.

Составные части шкафа автоматизации располагают относительно друг друга исходя из требований к их монтажу и эксплуатации, особенностей выполнения электрических соединений, а также необходимостью обзора и доступа к техническим средствам внутри шкафа. В верхней части щита располагается концевой выключатель SQ1, лампа дневного света EL1 и вентилятор М1. Ниже расположен контроллер отечественного производителя «Элеси» типа ЭЛСИ-ТМК. На уровень ниже (в средней части шкафа) располагаются реле контроля температуры КК1, розетка XS1, автоматический выключатель QF1 и модули для защиты от перенапряжений Z01, Z1, Z2, а также блок питания G1. Ниже размещены релейные модули К1, К2, 1-К1,1-

2K2, разделительные преобразователи UY1...UY3. В нижней части шкафа автоматизации располагаются сборки зажимов (5XT1, 2XT1, XT0, XT02)

Чертеж общего вида щита автоматизации содержит также изображение внутренней и внешней части двери, на которых расположены органы управления и элементы индикации 1-SH1, 1-SH2.

Общий вид шкафа автоматизации представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.006 ВО.

#### 4 Расчет параметров настройки регулятора

##### 4.1 Идентификация объекта управления

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

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

В данной работе для получения кривой разгона была использована модель изменения температуры ВУТ по времени.

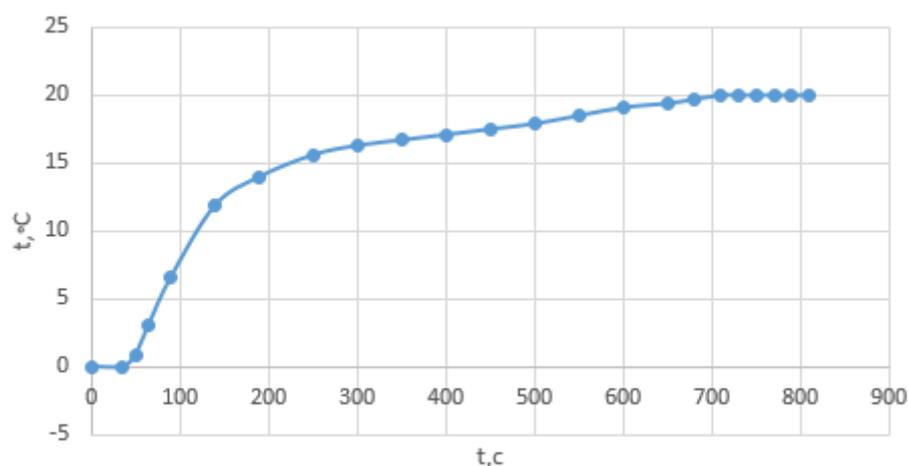


Рисунок 5 – Кривая разгона объекта управления

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

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

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

где  $k$  – коэффициент усиления;

$P$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания;

$T$  – постоянная времени.

Решение уравнения при нулевых начальных условиях представляет собой:

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

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

Получаем два неизвестных значения время запаздывания  $\tau$  и постоянную времени  $T$ . Коэффициент усиления  $k = \frac{h(T_y)}{A}$ , где  $A$  – выходное

воздействие; при единичном воздействии  $k = h(T_y)$ . Время чистого запаздывания заранее выделяется из  $h(t)$ . На кривой разгона строим две точки А и Б. Точка А определяется как  $0,33 k$ , а точка Б имеет ординату  $0,7 k$ . Постоянная времени Т и время запаздывания  $\tau$  определяются по формулам:

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

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

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

$h_A$  и  $h_B$  – значение ординат при точках А и Б.

Из графика, изображенного на рисунке 2 определяем расположение на кривой точек А и Б и находим необходимые неизвестные параметры.

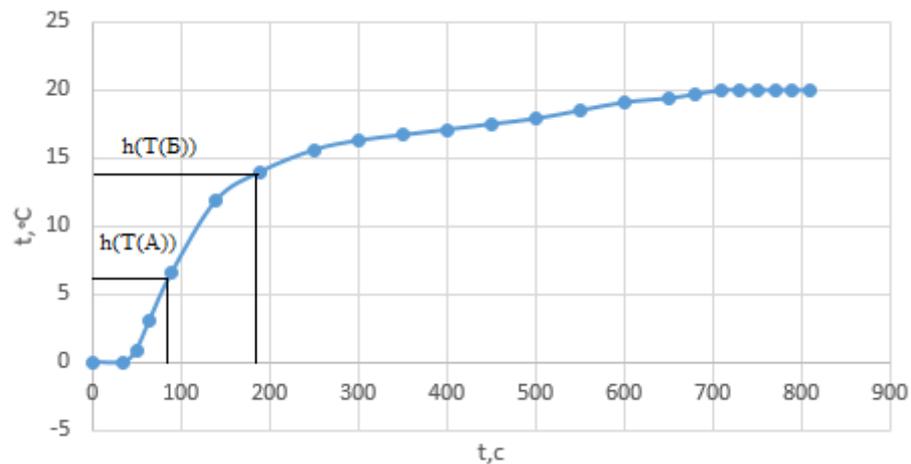


Рисунок 6 – Определение точек на кривой разгона для расчета

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 Т и время запаздывания  $\tau$ :

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

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

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 85 - 185) = 35 \text{ с},$$

$$T = 1,25(185 - 85) = 125 \text{ с}.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{20}{(125P+1)} e^{-35P}.$$

#### 4.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 3 изображена структурная схема системы регулирования.

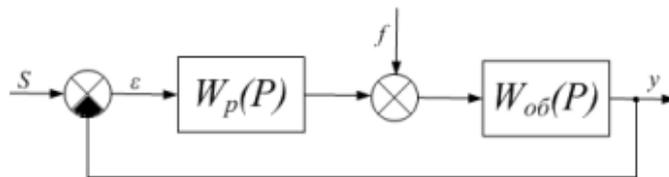


Рисунок 7 - Структурная схема системы регулирования

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

Определяем значение степени колебательности:

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

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{20}{(125P+1)} e^{-35P}.$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 12 в виде листинга расчета. Полученные значения представлены для диапазона частот от 0,001 до 0,003 с<sup>-1</sup>, с шагом по частоте в 0,0001 с<sup>-1</sup>.

Таблица 12 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{c}^{-1}$	$\text{Re}_{o6}(m,\omega)$	$\text{Im}_{o6}(m,\omega)$	$A_{o6}(m,\omega)$
0,001	20,049	-0,321	20,05
0,0011	20,11395	-3,287	20,38
0,0012	19,47485	-6,216	20,44
0,0013	18,18967	-8,874	20,24
0,0014	16,40718	-11,084	19,80
0,0015	14,32159	-12,753	19,18
0,0016	12,1221	-13,879	18,43
0,0017	9,95902	-14,519	17,61
0,0018	7,93213	-14,763	16,76
0,0019	6,09531	-14,704	15,92
0,002	4,46821	-14,428	15,10
0,0021	3,04852	-14,005	14,33
0,0022	1,82172	-13,487	13,61
0,0023	0,76775	-12,914	12,94
0,0024	-0,13487	-12,313	12,31
0,0025	-0,90679	-11,704	11,74
0,0026	-1,56678	-11,099	11,21
0,0027	-2,13129	-10,508	10,72
0,0028	-2,6145	-9,934	10,27
0,0029	-3,02842	-9,381	9,86
0,003	-3,38321	-8,85	9,48

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

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

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

где  $T_u$  – постоянная интегрирования регулятора,

$K_p$  – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0 до  $0,025 \text{ с}^{-1}$ , с шагом по частоте в  $0,001 \text{ с}^{-1}$ . Полученные значения представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Значение параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\frac{K_p}{T_u}$	$K_p$
0,000	0,000000	-0,050000
0,001	0,000008	-0,047000
0,002	0,000032	-0,044000
0,003	0,000071	-0,040000
0,004	0,000130	-0,036000
0,005	0,000190	-0,031000
0,006	0,000270	-0,026000
0,007	0,000360	-0,021000
0,008	0,000470	-0,016000
0,009	0,000580	-0,009629
0,01	0,000700	-0,003455
0,011	0,000830	0,002979
0,012	0,000960	0,009651
0,013	0,001100	0,017000
0,014	0,001240	0,024000
0,015	0,001390	0,031000
0,016	0,001530	0,038000
0,017	0,001680	0,046000
0,018	0,001820	0,053000
0,019	0,001960	0,061000
0,02	0,002090	0,069000

Продолжение таблицы 13

0,021	0,002220	0,077000
0,022	0,002340	0,084000
0,023	0,002450	0,092000
0,024	0,002540	0,100000
0,025	0,002630	0,107000
0,026	0,002700	0,115000
0,027	0,002760	0,123000
0,028	0,002800	0,130000
0,029	0,002830	0,137000
<b>0,030</b>	<b>0,002830</b>	<b>0,144000</b>
0,031	0,002820	0,151000
0,032	0,002780	0,157000
0,033	0,002730	0,164000
0,034	0,002650	0,170000
0,035	0,002550	0,176000

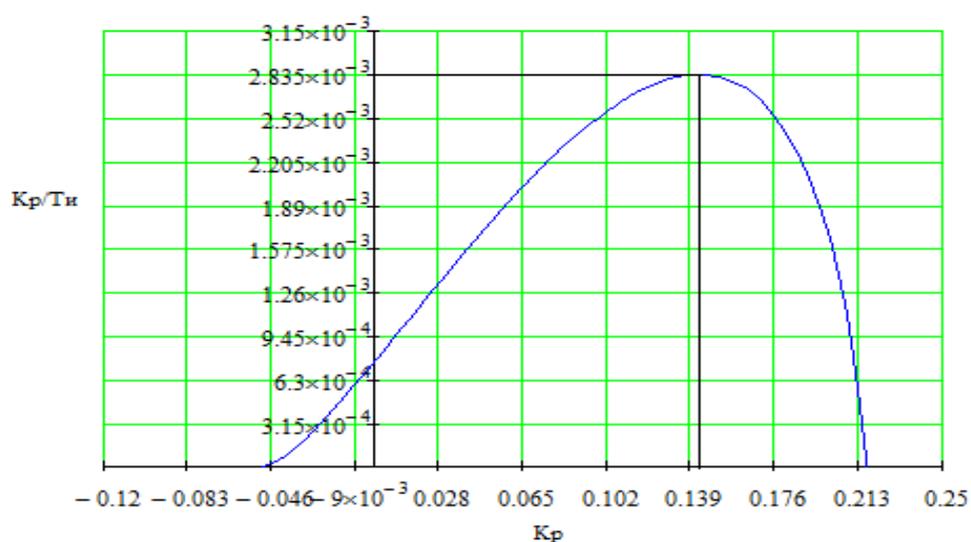


Рисунок 8 – Параметры настройки ПИ-регулятора

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

Из таблицы 13 определяем:

$$\max \left( \frac{K_p}{T_u} \right) = 0,00283, \quad K_p = 0,144, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,03 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 50,88 \text{ с}.$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

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

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 9 представлен график вещественной частотной характеристики.

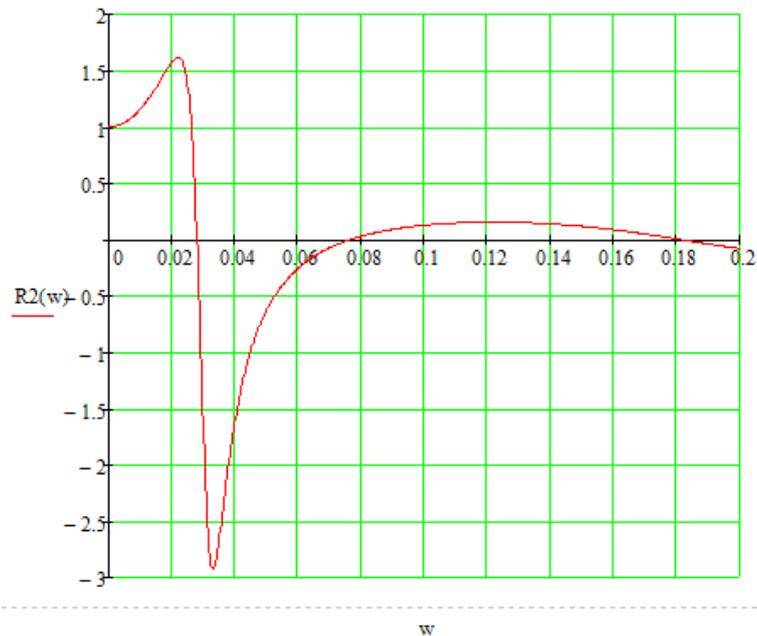


Рисунок 9 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

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

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

$\omega$ - частота;

$t$  – продолжительность переходного процесса системы.

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

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,03} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

На рисунке 10 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.

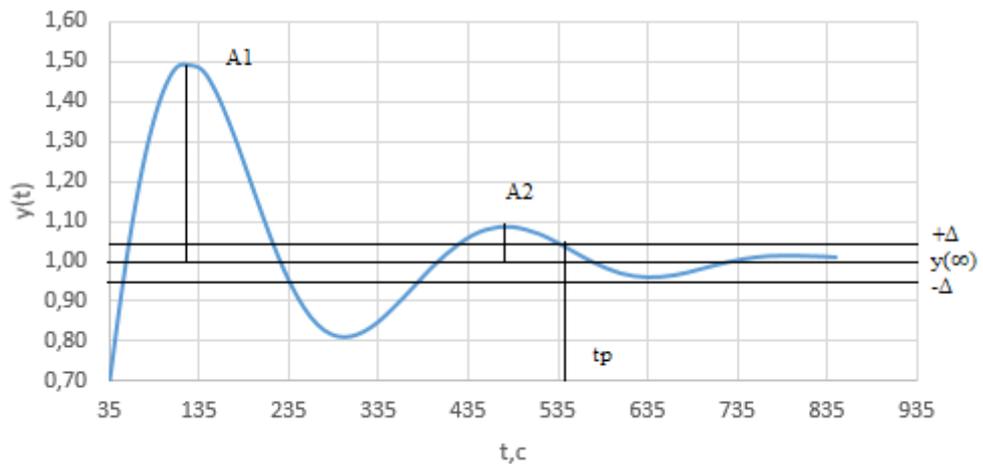


Рисунок 10 – Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

1. Максимальная динамическая ошибка:  $A_1 = 0,5$ .

2. Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{0,5 \cdot 100}{1} = 50 \%$$

3. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,5 - 0,1}{0,5} = 0,8.$$

4. Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{СТ} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0.$$

5. Время регулирования:  $t_p = 540$  с.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Волокитин Дмитрий Иванович

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

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

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		28.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Волокитин Дмитрий Иванович		28.02.2022

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки.
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной ВКР – разработка автоматической системы регулирования реологических характеристик водоугольного топлива.

### 5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### 5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены конкурирующие разработки по исследованию реологических характеристик водоугольного топлива:

- изменение реологических характеристик водоугольного топлива с применением роторного аппарата модуляции потоков;

- изменение реологических характеристик водоугольного топлива с применением механической обработки и химических добавок.

Детальный анализ необходим, так как реологические характеристики водоугольного топлива специфичны и является целесообразным рассмотрение различных методов воздействия на них, с целью выявления наиболее важных параметров для регулирования. В таблице 14 показано сравнение разработки конкурента и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 14 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
2. Уровень шума	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
3. Безопасность	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
4. Простота наладки	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
5. Качество регулирования	0,15	5	5	3	0,75	0,75	0,45
6. Надежность	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,12	3	2	3	0,36	0,24	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,14	4	4	4	0,56	0,56	0,56
3. Стоимость обслуживания	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>37</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>4,23</b>	<b>3,82</b>	<b>3,67</b>

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научного исследования;  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Расчет для своего исследования:

$$K = \sum V_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 5 + 0,09 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,12 \cdot 3 + 0,14 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 = 4,23.$$

Расчет для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 4 + 0,09 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,12 \cdot 2 + 0,14 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 = 3,82.$$

Расчет для конкурента 2:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 4 + 0,09 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,08 \cdot 5 + 0,12 \cdot 3 + 0,14 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 = 3,67.$$

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что наше исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

### 5.1.2 SWOT - анализ

Для исследования внешней и внутренней среды НИ, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации НИ, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Экологичность водоугольного топлива.	Сл1. Низкое теплосодержание водоугольного топлива.
С2. Дешевизна сырья.	Сл2. Новизна технологии.
С3. Использование низкосортных компонентов топлива.	Сл3. Необходимость в сложном гидротранспорте.
С4. Приближенность к потребителю.	Сл4. Привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации.
С5. Повышение КПД котла за счет уменьшения потерь с механическим недожогом.	Сл5. Сложность приготовления топлива.
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Использование оборудования ИШЭ ТПУ.	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.

Продолжение таблицы 15

В2. Замена бурого угля.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Значительное расширение географии применения технологии.	У3. Обращение к другим альтернативным источникам энергии.
В4. Внедрение на отечественный рынок.	У4. Повышение стоимости компонентов системы.
В5. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ.	У5. Ограничения на экспорт технологии.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность научного исследования, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 16–19.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Возможности НИ и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	-	-	-	-
	В2	+	+	+	+	+
	В3	-	+	+	+	-
	В4	+	+	+	-	-
	В5	+	-	-	-	-

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта «Возможности НИ и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	-	+	-	+	+
	В2	+	-	+	-	+
	В3	-	+	-	-	-
	В4	-	+	-	-	-
	В5	-	-	-	-	+

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы НИ и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	+	-	-	-
	У4	-	+	+	-	-
	У5	-	-	-	+	-

Таблица 19 – Интерактивная матрица НИ «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	+	+	-	-
	У4	-	-	-	-	+
	У5	-	-	-	-	-

Результаты анализа приведены в итоговой таблице 20.

Таблица 20 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>C1. Экологичность водоугольного топлива.</p> <p>C2. Дешевизна сырья.</p> <p>C3. Использование низкосортных компонентов топлива.</p> <p>C4. Приближенность к потребителю.</p> <p>C5. Повышение КПД котла за счет уменьшения потерь с механическим недожогом.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Низкое теплосодержание водоугольного топлива.</p> <p>Сл2. Новизна технологии.</p> <p>Сл3. Необходимость в сложном гидротранспорте.</p> <p>Сл4. Привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации.</p> <p>Сл5. Сложность приготовления топлива.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Использование оборудования ИШЭ ТПУ.</p> <p>В2. Замена бурого угля.</p> <p>В3. Значительное расширение географии</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>В2С1С2С3С4С5. Все сильные стороны положительно влияют на замену использования бурого угля на водоугольное топливо.</p> <p>В3С3С4. Возможность использования водоугольного топлива в районах,</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>В1Сл2Сл4Сл5. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований к работе, также может уменьшить рабочую погрешность и предотвратить появление брака.</p>

<p>применения технологии.  В4. Внедрение на отечественный рынок.  В5. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ.</p>	<p>приближенных к залежам низкосортных топлив непригодных для традиционного сжигания.  В4С1С2С3. Низкая цена исходного сырья, использование низкосортных топлив совместно с экологичностью топлива являются основой для внедрения на отечественный рынок.  В5С1. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ приведет к поиску новых, более экологичных технологий, какой и является данная система.</p>	<p>В2Сл1Сл3Сл5. Пока запасов бурого угля достаточно, поставки отлажены, поэтому водоугольное топливо может не прижиться.  В3Сл2. Необходимость в наработке опыта эксплуатации действующей технологии.  В4Сл2. Новизна технологии и привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации может положительно сказаться на внедрении продукта на отечественный рынок.  В5Сл5. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ может сказаться на процессе приготовления топлива.</p>
<p><b>Угрозы</b>  У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.  У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.  У3. Обращение к другим альтернативным источникам энергии.  У4. Повышение стоимости компонентов системы.  У5. Ограничения на экспорт технологии.</p>	<p><b>Угрозы развития</b>  У1С1. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наша технология является более экологичной, больше перспектив развития.  У2С1. Наш продукт является более экологичным, а значит, более привлекательными мировом рынке.  У3С2. Развитие технологий, основанных на других источниках энергии может поставить под угрозу развитие технологии использования ВУТ, но дешевизна сырья может предотвратить данную угрозу.  У4С2С3. Повышение стоимости на компоненты системы приведет к повышению стоимости на систему в целом и повлияет на выбор используемых компонентов топлива.  У5С4. Введение ограничений на экспорт технологии может заметно сказаться на приближенности к потребителю.</p>	<p><b>Уязвимости:</b>  У2Сл1. Аналоги могут обладать более выраженными характеристиками.  У3Сл2Сл3. Развитие альтернативных источников энергии, в области которых проведено больше исследований и обладающих большей экономичностью.  У4Сл5. Повышение стоимости компонентов является смежным со сложностью приготовления топлива.</p>

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны научного исследования, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации.

Основным достоинством такой системы является экологичность, которая приветствуется в России, а также и за рубежом.

У системы также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с привязкой системы к конкретным параметрам объекта и сложности приготовления топлива. Выявленные недостатки возможно устранить путем проведения дальнейшей модернизации системы с использованием новых технологий.

## 5.2 Планирование научно – исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Обзор научной литературы	Инженер
	3	Выбор направления исследования	Инженер, Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Подготовка образцов для исследования	Инженер
	5	Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение реологических характеристик водоугольного топлива	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Анализ полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Разработка технической документации и проектирование	7	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	Инженер
	8	Разработка схемы электрической соединений, монтажной схемы и щита управления	Инженер
	9	Написание раздела «Социальная ответственность»	Инженер
	10	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки	Инженер

### 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

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

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Пример расчета ожидаемого значения трудоемкости для работы по составлению и утверждению технического задания, плана-графика:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ человеко} - \text{дней.}$$

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Пример расчета продолжительности работы для составления и утверждения технического задания, плана-графика:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{1} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ д.}$$

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

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

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

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

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

Пример расчета для перевода длительности этапа из рабочих в календарные дни для составления и утверждения технического задания, плана-графика:

$$T_{\text{кл.инж}} = 2,8 \cdot 1,48 = 4 \text{ кд.}$$

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в 2022 году;  $T_{\text{вых}}$  – общее количество выходных дней в 2022 году;  $T_{\text{пр}}$  – общее количество праздничных дней в 2022 году.

Для остальных этапов работы расчеты проводятся аналогично.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 22.

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ожг}}$ , чел-дни		$T_{\text{pi}}$		$T_{\text{ki}}$	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
2. Обзор научной литературы	-	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	10

Продолжение таблицы 22

3. Выбор направления исследования	3	5	5	7	3,8	5,8	4,8	4,8	7	7
4. Подготовка образцов для исследования	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	9
5. Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение реологических характеристик водоугольного топлива	-	11	-	15	-	12,6	-	12,6	-	19
6. Анализ полученных результатов	2	5	3	7	2,4	5,8	4,1	4,1	6	6
7. Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	9
8. Разработка схемы электрической соединений, монтажной схемы и щита управления	-	8	-	10	-	8,8	-	8,8	-	13
9. Написание раздела «Социальная ответственность»	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	9
10. Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	-	7	-	9	-	7,8	-	7,8	-	12
11. Составление пояснительной записки	-	5	-	8	-	6,2	-	9,2	-	9
Итого:	7	62	12	85	9	71,2	11,7	71,5	17	103

*Примечание:* Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 23).

Таблица 23 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█												
2	Обзор научной литературы	Исп2	10	█	█											
3	Выбор направления исследования	Исп1 Исп2	7		█	█										
4	Подготовка образцов для исследования	Исп2	9			█										
5	Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение реологических характеристик водоугольного топлива	Исп2	19				█	█	█							
6	Анализ полученных результатов	Исп1 Исп2	6						█	█						
7	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	Исп2	9							█	█					
8	Разработка схемы электрической соединений, монтажной схемы и щита управления	Исп2	13								█	█				
9	Написание раздела «Социальная ответственность»	Исп2	9									█	█			
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Исп2	12										█	█		
11	Составление пояснительной записки	Исп2	9												█	

Примечание:

█ – Исп. 1 (научный руководитель), █ – Исп. 2 (инженер)

Общее количество рабочих дней  $T_{pi}$  для инженера 71,5; для научного руководителя 11,7. Общее количество календарных дней  $T_{ki}$  для инженера 103, для руководителя 17.

### 5.3 Бюджет научно – технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### 5.3.1 Расчет материальных затрат научно – технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении исследуемого образца ВУТ. Результаты расчета затрат представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Затраты на получение исследуемого образца ВУТ

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Вода дистиллированная	л	0,5	30	15
Угольный шлам	кг	1	50	50
ПАВ	кг	1	110	110
<b>Итого:</b>				175

### 5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

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

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Расчет нормы амортизации для магнитной мешалки с подогревом «PL – HR – basic»:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1;$$

Расчет нормы амортизации для вискозиметра «Brookfield DV3T»:

$$H_A = \frac{1}{20} = 0,05;$$

Расчет нормы амортизации для криостата «Kiss К6»:

$$H_A = \frac{1}{20} = 0,05.$$

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

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

где  $И$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Расчет амортизации для магнитной мешалки с подогревом «PL – HR – basic»:

$$A = \frac{0,1 \cdot 32000}{12} \cdot 0,15 = 8 \text{ руб.}$$

Расчет амортизации для вискозиметра «Brookfield DV3T»:

$$A = \frac{0,05 \cdot 465000}{12} \cdot 0,15 = 307 \text{ руб.}$$

Расчет амортизации для криостата «Kiss K6»:

$$A = \frac{0,05 \cdot 248000}{12} \cdot 0,15 = 103 \text{ руб.}$$

Таблица 25 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	Н <sub>А</sub> , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Магнитная мешалка с подогревом «PL – HR – basic»	1	10	0,15	10	32000	307
2	Вязкозиметр «Brookfield DV3T»	1	20	0,15	5	465000	291
3	Криостат «Kiss K6»	1	20	0,1	5	248000	103
<b>Итого:</b>						701 руб.	

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

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

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 22).

Расчет основной заработной платы для научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2490,2 \cdot 11,7 = 29135,34$$

Расчет основной заработной платы для инженера:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2132,7 \cdot 71,5 = 29135,34$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{59475 \cdot 10,3}{246} = 2490,2 \text{ руб.},$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней –  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{40560 \cdot 11,2}{213} = 2132,7 \text{ руб.},$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 30500 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 59475 \text{ руб.}$$

- для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 20800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40560,$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 26 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 27 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}, руб$	$k_{np}$	$k_{\partial}$	$k_p$	$З_m, руб$	$З_{\partial n}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$З_{осн}, руб$
Руководитель	30500	0,3	0,2	1,3	59475	2490,2	11,7	29135,34
Инженер	20800	0,3	0,2	1,3	40560	2132,7	71,5	152488,05
Итого:								181623,39

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

- для руководителя:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 29135,34 = 4370,3 \text{ руб.}$$

- для инженера:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 152488,05 = 22873,21 \text{ руб.}$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

### 5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

- для руководителя:

$$\begin{aligned} З_{внеб} &= k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = \\ &= 0,3 \cdot (29135,34 + 4370,3) = 10051,7 \text{ руб.} \end{aligned}$$

- для инженера:

$$\begin{aligned} З_{внеб} &= k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = \\ &= 0,3 \cdot (152488,05 + 22873,21) = 52608,38 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### 5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 28 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
701	175	181623,39	27243,51	62660,08	272402,98

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование реологических характеристик водоугольного топлива» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научных исследований.

Таблица 29 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	175	526,7	784,3	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	701	907,25	1131,8	Пункт 4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	181623,39	181623,39	181623,39	Пункт 4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	27243,51	27243,51	27243,51	Пункт 4.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	62660,08	62660,08	51194,9	Пункт 4.3.4
6	Накладные расходы	54480,6	54480,6	54480,6	Пункт 4.3.5
Бюджет затрат НИР		326883,58	327441,53	327923,68	Сумма ст. 1- 6

#### 5.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данного НИ рассмотрены:

- изменение реологических характеристик водоугольного топлива с применением роторного аппарата модуляции потоков;
- изменение реологических характеристик водоугольного топлива с применением механической обработки и химических добавок.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

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

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 326883,58$  руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 327441,53$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 327923,68$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{326883,58}{327923,68} = 0,996;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{327441,53}{327923,68} = 0,998;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{327923,68}{327923,68} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущее исследование) с меньшим перевесом считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения научного исследования ( $I_{ri}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 30).

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,05	5	5	5
2. Динамическая точность системы	0,2	5	5	3
3. Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	3
4. Надежность	0,2	4	4	4
5. Качество регулирования	0,2	5	5	4
6. Простота наладки	0,1	4	4	4
7. Срок эксплуатации	0,2	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	4,43	4

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,43;$$

$$I_{p3} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}}$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,65}{0,996} = 4,668;$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{4,43}{0,998} = 4,438;$$

$$I_{\text{исп.3}} = \frac{4}{1} = 4.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта научного исследования сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 31).

Таблица 31 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,996	0,998	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,43	4
3	Интегральный показатель эффективности	4,668	4,438	4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,95	0,86

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущее исследование). Наше научное исследование является более эффективным по сравнению с конкурентами.

#### Заключение по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие **ВЫВОДЫ:**

1. В первой части проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Проведен анализ конкурентных технических решений. С помощью SWOT-анализа выявлены сильные, слабые стороны научного исследования, яркими представителями которых является экологичность и сложность приготовления, соответственно, а также возможности и угрозы. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 107 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 103 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 17 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 326883,58 руб;

4. Результат оценки эффективности НИ показывает следующие выводы:

- значение интегрального финансового показателя НИ составляет 0,996, что является показателем того, что НИ является финансово выгодной по сравнению с аналогами;
- значение интегрального показателя ресурсоэффективности НИ составляет 4,65, по сравнению с 4,43 и 4;
- значение интегрального показателя эффективности НИ составляет 4,668, по сравнению с 4,438 и 4, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИ, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 5Б8В		<b>ФИО</b> Волокитин Дмитрий Иванович	
<b>Школа</b>	ИШЭ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	НОЦ И.Н. Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01. «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Автоматическая система регулирования реологических характеристик водоугольного топлива	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p>Объект исследования: Автоматическая система регулирования реологических характеристик водоугольного топлива.          Область применения: ООО «СпецХимТехнология», Томск, Россия.          Рабочая зона: производственное помещение          Размеры помещения: 300 м<sup>2</sup>          Количество и наименование оборудования рабочей зоны:          -измерительный преобразователь температуры (2);          -расходомер переменного перепада давления (2);          -цифровой поточный преобразователь вязкости (2);          -шнековый насос (1);          -контроллер программируемый (1).          Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:          Измерение реологических характеристик водоугольного топлива.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ;          -Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»;          -ГОСТ 22269-76 «Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования».</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных</li> </ul>	<p>Вредные факторы:          -повышенный уровень шума;          -повышенный уровень общей вибрации;</p>

производственных факторов	-отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения. Опасные факторы: -производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты: -глушители шума; -противошумы; -виброизолирующие устройства; -виброизолирующие перчатки; -изолирующие устройства и покрытия; -диэлектрические перчатки; -каска защитные.
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации:</b>	Воздействие на литосферу: -загрязнение почвы из-за утечки топлива. Воздействие на гидросферу: -разлив водоугольного топлива при транспортировке; -повышенное использование питательной воды для подогрева топлива. Воздействие на атмосферу: -выбросы загрязняющих веществ при сжигании топлива.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации:</b>	Возможные ЧС: -техногенные ЧС (пожары, угроза взрывов) Наиболее типичная ЧС: -пожар
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
08.02.2022	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Волокитин Дмитрий Иванович		

## 6 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа по теме «Автоматическая система регулирования реологических характеристик водоугольного топлива» посвящена изучению процесса регулирования реологических характеристик ВУТ. Объектом регулирования в данной работе является участок топливоподачи водоугольного топлива (ВУТ) от резервуара к форсунке. Учитывая специфику реологических характеристик водоугольного топлива, поддержание контролируемого параметра в заданном диапазоне – это неотъемлемая часть технологического процесса. Рабочая зона: производственное помещение. Размеры помещения: 300 м<sup>2</sup>. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: измерительный преобразователь температуры (2), расходомер переменного перепада давления (2), цифровой поточный преобразователь вязкости (2), шнековый насос (1), контроллер программируемый (1). Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: измерение и контроль реологических характеристик водоугольного топлива.

Основная задача данной работы - это контроль такой реологической характеристики, как вязкость ВУТ, за счет поддержания температуры топлива в заданном диапазоне для бесперебойной транспортировки водоугольного топлива от резервуара хранения к распыляющей форсунке посредством участка топливоподачи. В случае отсутствия данной системы, неизбежен выход из строя промышленного оборудования, что повлечет за собой большие финансовые потери.

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

## 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

### 6.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства

По результатам специальной оценки условий труда рабочее место оператора может относиться к вредным условиям труда 3 класса [20]. Согласно Трудового кодекса РФ устанавливается несколько видов гарантий и компенсаций для работников, занятых на работах с вредными и/или опасными условиями труда:

- доплата за работу во вредных/опасных условиях – минимум 4% от тарифной ставки (оклада), действующей для работ с нормальными условиями труда;
- сокращенная продолжительность работы (рабочая неделя – не более 36 часов, рабочий день (смена) – максимум 8 часов при 36-часовой рабочей неделе, максимум 6 часов при 30-часовой рабочей неделе) для работников, занятых на работах с подклассом вредности 3.3 и 3.4 и на опасных работах;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск сроком не меньше 7 календарных дней для работников, занятых на работах с подклассом вредности 3.2, 3.3 и 3.4 или на опасных работах;
- выдача молока и других равноценных пищевых продуктов либо лечебно-профилактического питания по установленным нормам;
- выдача специальной одежды, обуви, других средств индивидуальной защиты, а также смывающих и обезвреживающих средств [19].

К работе инженером-оператором допускаются лица, достигшие совершеннолетнего возраста, при наличии соответствующей квалификации, прошедшие медицинское освидетельствование и не имеющие медицинских противопоказаний. Обязательным для оператора является проверка знаний

требований безопасности труда и получение допуска к самостоятельной работе [31].

### 6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно [32] при размещении органов управления на рабочем месте оператора должны выполняться следующие эргономические требования:

- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- органы управления, применяемые только для технического обслуживания и регулировки, должны размещаться отдельно от остальных органов управления или быть изолированными от человека-оператора на период выполнения им основной работы.

Согласно [32] взаимное расположение элементов рабочего места оператора должно обеспечивать:

- возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. При этом должны учитываться ограничения, налагаемые спецодеждой и снаряжением человека-оператора;
- необходимые зрительные и звуковые связи между оператором и оборудованием, а также между операторами.

Согласно [32] средства отображения информации на рабочем месте оператора необходимо группировать и располагать группы относительно друг

друга в соответствии с последовательностью их использования или с функциональными связями элементов систем, которые они представляют. При этом средства отображения информации необходимо размещать в пределах групп так, чтобы последовательность их использования осуществлялась слева направо или сверху вниз.

## 6.2 Производственная безопасность

При проведении исследований и дальнейшей разработки проектируемого решения согласно ГОСТ 12.0.003-2015, в таблице 32 приведен перечень возможных опасных и вредных факторов.

Таблица 32 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора участка трубопровода

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1.Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 2146-ст), Введ. 1.11.2015
2.Повышенный уровень общей вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования
3.Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

Продолжение таблицы 32

4.Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник.	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
--	--

6.2.1 Повышенный уровень шума

Повышенный уровень шума возможен за счет наличия в помещении большого количества различного производственного оборудования, такого как насос, нагреватель, запорно-регулирующая арматура. Известно, что данный фактор непосредственно ухудшает условия труда, оказывая на организм вредное воздействие. При длительном воздействии на организм, осуществляется воздействие на нервную систему человека, органы слуха, повышается кровяное давление, способствующее возникновению сердечно-сосудистых заболеваний. Предельно допустимый уровень шума на рабочих местах регламентирован документом. Согласно п.6 «Нормы допустимого шума», СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003, в таблице 33 указаны допустимые уровни шума.

Таблица 33 – Допустимые уровни шума [21]

Назначение помещений или территорий	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для измерительных и аналитических	103	91	83	77	73	70	68	66	75

работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону									
Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами.	107	95	87	82	78	75	73	71	80

Средствами защиты от шума на рабочем месте могут быть глушители шума, а также средства индивидуальной защиты органа слуха противорумы.

### 6.2.2 Повышенный уровень общей вибрации

Такой вредный фактор как вибрация возникает в процессе эксплуатации оборудования. Источниками вибрации являются вращающиеся части клапанов, подвижные элементы электродвигателей. Для помещения оператора вибрация соответствует 3 категории типа «в» - технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах или передающиеся на рабочие места, не имеющие источников вибрации [22]. Повышенная вибрация может оказывать влияние на увеличение кровяного давления, нарушения сна, обострения нервных и сердечно-сосудистых заболеваний. Для снижения воздействия повышенного уровня вибрации применяют виброизолирующие перчатки, виброизолирующие устройства. В операторной вибрация не превышает предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 8 ч, которые в пересчете на эквивалентные значения составляют:

- по виброускорению – 0,145 м/сек<sup>2</sup> (100 дБ);

- по виброскорости – 0,12 м/с (75 дБ).

### 6.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Свет создает нормальные условия для трудовой деятельности. Недостаточное освещение вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или напряженности. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему утомлению. Кроме создания зрительного комфорта свет оказывает на человека психологическое и физиологическое воздействие. Неудовлетворительная освещенность в рабочей зоне может являться причиной снижения производительности и качества труда, получения травм. При освещении производственных помещений используют естественное освещение, создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом и меняющемся в зависимости от географической широты, времени года и суток, степени облачности и прозрачности атмосферы, искусственное освещение, создаваемое электрическими источниками света. Так же используют совмещенное освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным. Для достаточной освещенности помещений используется совмещенное использование источников света. Так как естественное освещение не создает требуемый уровень освещенности, то на рабочих местах предусмотрено использование разрядных ламп, повышающих освещенность до 700 лк. Требуемый уровень освещенности для работ категории средней точности IV должен быть не ниже 300 лк при использовании комбинированного или 200 лк при естественного способа освещения [23].

6.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник

В помещении с большим количеством аппаратуры, использующей однофазный электрический ток, промышленной частоты напряжением 220 В, есть вероятность электропоражения. Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. При этом электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое воздействие на организм человека. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 34[24].

Таблица 34 – Значения напряжений прикосновений и токов

Род тока	U,В	I,мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях [24]:

- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;

- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаизолированного от земли человека к незаизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции;
- наличие общего рубильника;
- установки защитного заземления;
- изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- использование средств индивидуальной защиты головы и рук (каска защитные, диэлектрические перчатки);
- постоянный контроль изоляции [33].

### 6.3 Экологическая безопасность

#### 6.3.1 Защита атмосферы

В процессе сжигания топлива происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара.

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для очистки дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая очистка.

### 6.3.2 Защита гидросферы

Для подогрева топлива паровой котел использует воду из близлежащих водоемов. Перед тем как сбросить воду обратно в водоем ее остужают и очищают. Для очистки сточных вод используют механическую очистку, физико-химическую очистку, химическую очистку, биохимическую.

Для уменьшения повышенного использования питательной воды на подогрев топлива необходимо регулировать температуру топлива путем подогрева электрическим нагревателем.

### 6.3.3 Защита литосферы

Твердые частицы, содержащиеся в топливе, при утечке, осаждаются на поверхности земли и загрязняют почву. Еще одним источником загрязнения являются зола и шлак, образующиеся в процессе сгорания топлива, которые далее складываются в золошлакоотвалах. Золошлакоотвалы загрязняют не только поверхность почвы. Твердые частицы через почву попадают в грунтовые воды, а также попадают в атмосферу.

Для предотвращения такого опасного источника загрязнения необходима своевременная утилизация золошлаковых отходов.

## 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные чрезвычайные ситуации, которые могут произойти на данном объекте: пожары, взрывы, разрывы трубопроводов, резервуаров, выброс горючих жидкостей.

При использовании жидкого топлива необходимо контролировать состояние:

- емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха;
- трубопровода, путем внешнего осмотра и измерения температуры в нем.

Одна из самых типичных чрезвычайных ситуаций – это пожар.

Возгорание может произойти на месте установки промышленного нагревателя, из-за выхода из строя данного оборудования. Еще одним местом возгорания может стать цех. В цехе хранится много взрывоопасного топлива. Часто пожары здесь происходят из-за проблем с топливоподачей.

Согласно перечню, указанному в [26], в данных помещениях необходимо устанавливать автоматические установки пожаротушения и автоматические установки пожарной сигнализации. Своевременно принятые меры пожарной безопасности могут предупредить возгорание и не допустить поломок в системе оборудования:

- персонал предприятия должен проходить тренировочные учения для того чтобы знать, как действовать в ЧС;
- в обязанности дежурного по смене входит осмотр оборудования в конце каждого рабочего дня. При обнаружении поломок их устраняют в кратчайшие сроки;
- приборы под напряжением и легковоспламеняющиеся вещества необходимо размещать вдали от источника огня;
- цех должен быть оснащен автоматической системой пожарной безопасности, а также датчиками задымления.

В случае возникновения пожара сотрудники предприятия должны предпринять следующую последовательность действий:

- сотрудник, заметивший воспламенение, должен незамедлительно сообщить о пожаре главному по смене;
- начальник по смене доносит информацию до пожарной службы;
- до прибытия спасателей весь персонал, не задействованный в тушении, удаляется с объекта возгорания;
- электричество во всем здании должно быть отключено, а также прекращены все работы до начала тушения;
- при поломках в автоматической системе пожаротушения необходимо включить ее вручную;
- ответственный персонал должен приступить к тушению воспламенения с помощью первичных средств пожаротушения;
- главный по смене выделяет сотрудников, которые встретят пожарные бригады и укажут им кратчайший путь к очагу возгоранию.

На основании [26] определено, что класс возможного пожара на данном объекте: (В) – пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов.

По пожарной и взрывопожарной опасности производственное помещение относится к категории В3.

Необходимое количество и типы огнетушителей для данного объекта согласно [34] приведены в таблице 35:

Таблица 35 – Нормы оснащения помещения огнетушителями

Класс пожара	Огнетушители			
	Пенные и водные огнетушители	Порошковые огнетушители	Хладоновые огнетушители	Углекислотные
В	-	2	-	-

## Заключение по разделу

В процессе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что, соблюдая определенные нормы и правила, возможно наладить стабильное производство, не подвергая опасности окружающую среду и людей.

Следует добавить, что помещение по электробезопасности согласно ПУЭ относится к помещению с повышенной опасностью, характеризующимся наличием токопроводящего пола [27].

Согласно [28], инженер-оператор АСР должен иметь соответствующую группу по электробезопасности – III группа. III группа по электробезопасности позволяет работнику производить отключения, переключения, выключения электрооборудования, выполнять работы в порядке текущей эксплуатации, наблюдать за безопасностью других членов бригады.

Тяжесть труда, согласно СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» относится к категории 1б.

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно [29], соответствует категории В3: в которых находятся горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть

Также, согласно [30], данный объект относится к объектам II категории, оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду.

## Заключение

Результатом выполнения данной выпускной квалификационной работы является разработка автоматической системы регулирования реологических характеристик водоугольного топлива.

Проведен ряд научных исследований, направленных на получение оптимальных реологических характеристик водоугольного топлива.

Объектом автоматизации в данной ВКР является участок топливоподачи водоугольного топлива от резервуара к форсунке. Для данного объекта проведена разработка АСР реологических характеристик ВУТ и составлена проектная документация:

1. Структурная схема;
2. Функциональная схема;
3. Спецификация приборов и средств автоматизации;
4. Схема электрическая соединений;
5. Перечень элементов схемы электрической соединений;
6. Монтажная схема;
7. Общий вид щита автоматизации.

Также выполнен расчет параметров настройки регулятора, определены прямые оценки качества, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

## Список используемых источников

1. Routray A, Senapati PK, Padhy M, Das D, Mohapatra RK. Effect of mixture of a non-ionic and a cationic surfactant for preparation of stabilized high concentration coal water slurry. *Int J Coal Prep Util* 2019;0:1–16. doi:10.1080/19392699.2019.1674843.
2. Shin Y-J, Shen Y-H. Preparation of coal slurry with organic solvents. *Chemosphere* 2007;68:389–93. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.12.049.
3. Wamankar AK, Murugan S. Review on production, characterisation and utilisation of solid fuels in diesel engines. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;51:249–62. doi:10.1016/j.rser.2015.06.018.
4. Esnouf C. Charcoal--Water Slurries: State of the Art and Future Prospects. In: Bridgwater A V, Grassi G, editors. *Biomass Pyrolysis Liq. Upgrad. Util.*, Dordrecht: Springer Netherlands; 1991, p. 119–54. doi:10.1007/978-94-011-3844-4\_5.
5. Pinchuk VA, Kuzmin A V. The effect of the addition of TiO<sub>2</sub> nanoparticles to coal-water fuel on its thermophysical properties and combustion parameters. *Fuel* 2020;267:117220. doi:10.1016/j.fuel.2020.117220.
6. Loureiro LMEF, Gil PBF, Vieira de Campos F V, Nunes LJR, Ferreira JMF. Dispersion and flow properties of charcoal oil slurries (ChOS) as potential renewable industrial liquid fuels. *J Energy Inst* 2018;91:978–83. doi:10.1016/j.joei.2017.08.001.
7. Shadrin EY, Anufriev IS, Butakov EB, Kopyev EP, Alekseenko S V, Maltsev LI, et al. Coal-water slurry atomization in a new pneumatic nozzle and combustion in a low-power industrial burner. *Fuel* 2021;303. doi:10.1016/j.fuel.2021.121182.

8. Egorov RI, Antonov D V, Valiullin TR, Strizhak PA. The ignition dynamics of the water-filled fuel compositions. *Fuel Process Technol* 2018;174. doi:10.1016/j.fuproc.2018.02.003.
9. Zhao Z, Wang R, Ge L, Wu J, Yin Q, Wang C. Energy utilization of coal-coking wastes via coal slurry preparation: The characteristics of slurring, combustion, and pollutant emission. *Energy* 2019;168:609–18. doi:10.1016/j.energy.2018.11.141.
10. Zhang Y, Shu G, Gao S, Wang H. Viscosity-temperature characteristics of high-concentration coal-oil slurry preheated by light solvent. *Fuel Process Technol* 2021;224:107009. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107009.
11. Routray A, Senapati PK, Padhy M, Das D. Effect of mixture of natural and synthetic surfactant and particle size distribution for stabilized high-concentrated coal water slurry. *Int J Coal Prep Util* 2019;0:1–16. doi:10.1080/19392699.2019.1592166.
12. Routray A, Das D, Parhi PK, Padhy MK. Characterization, stabilization, and study of mechanism of coal-water slurry using Sapindous Mukorossi as an additive. *Energy Sources, Part A Recover Util Environ Eff* 2018;40:2502–9. doi:10.1080/15567036.2018.1503755.
13. Li W, Li W, Liu H, Yu Z. Influence of sewage sludge on the slurryability of coal–water slurry. *Fuel* 2009;88:2241–6. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.05.002.
14. Xu R, He Q, Cai J, Pan Y, Shen J, Hu B. Effects of chemicals and blending petroleum coke on the properties of low-rank Indonesian coal water mixtures. *Fuel Process Technol* 2008;89:249–53. doi:10.1016/j.fuproc.2007.11.026.

15. Fan Y, Wang R, Li X, Xiang J, Shao Q, Meng S, et al. A high-efficiency utilization of coke-oven plant coke ash for the preparation of coke ash emulsion slurry. *Fuel* 2019;245:139–47. doi:10.1016/j.fuel.2019.02.068
16. Feng P, Hao L, Huo C, Wang Z, Lin W, Song W. Rheological behavior of coal bio-oil slurries. *Energy* 2014;66:744–9. doi:10.1016/j.energy.2014.01.097.
17. Андык, В. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на тэс : учебник для вузов / В. С. Андык. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 407 с.
18. Волощенко А. В., Горбунов Д. Б. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие //Томск: Изд-во ТПУ. – 2008. – 108 с.
19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.
20. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».
21. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
22. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.
23. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
24. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
25. Приказ от 18 июня 2003 года N 315. Об утверждении норм пожарной безопасности «Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией».
26. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

27. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), приказ от 8 июля 2002 г. N 204.
28. Приказ Минтруда и социальной защиты РФ от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».
29. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
30. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 года N 2398, «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».
31. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России N1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры».
32. ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
33. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
34. Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2020 года N 1479, «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации».
35. СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».