

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

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>АСР ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА В ТОПКЕ ПАРОВОГО КОТЛА</b>

УДК 681.51:621.182.2-63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Глотов Максим Иванович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель специализации ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

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

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

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ П.А. Стрижак

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

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Глотову Максиму Ивановичу

Тема работы:

АСР процесса горения композиционного жидкого топлива в топке парового котла	
Утверждена приказом директора	29.01.2021, 29-59/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	07.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Результаты выполнения научно-исследовательской работы и прохождения опытно-конструкторских и преддипломных практик.
--------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Описание объекта управления</li> <li>2. Разработка функциональной схемы</li> <li>3. Разработка принципиальной электрической схемы</li> <li>4. Составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации</li> <li>5. Расчет параметров регулятора системы автоматического регулирования</li> <li>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>7. Социальная ответственность</li> </ol>
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема структурная</li> <li>2. Схема функциональная</li> <li>3. Схема внешних электрических и трубных проводок</li> <li>4. Схема принципиальная электрическая шкафа автоматизации</li> <li>5. Общий вид шкафа автоматизации</li> </ol>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Клемашева Елена Игоревна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

10.02.2021

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Глотов Максим Иванович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 86 с., 21 рис., 30 табл., 46 источников, 11 листов графического материала.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, процесс горения, композиционное жидкое топливо.

Объектом исследования является паровой котел Еп-670-13,8-545 КДТ (ТПЕ-214/А).

Цель работы – разработка автоматической системы регулирования (АСР) процесса горения композиционного жидкого топлива.

Выполнены анализ и выбор структурной схемы АСР давления, технических средств автоматизации. Разработаны функциональная схема АСР, принципиальная электрическая схема шкафа автоматизации, монтажная схема, общий вид шкафа автоматизации. Произведены расчет и выбор регулирующего органа, выбор проводов, кабелей и труб электрических и трубных проводок, а также расчет оптимальных параметров настройки регулятора.

Также был проведен анализ финансово-экономических аспектов разработки и внедрения автоматической системы регулирования давления природного газа. Была составлена смета затрат на проект, проведено планирование работ и оценены сроки их выполнения, что позволило провести оценку экономической эффективности проекта.

Помимо этого были проанализированы возможности возникновения негативных воздействий на человека и окружающую среду в процессе разработки и эксплуатации автоматической системы регулирования давления природного газа.

## Содержание

Введение.....	9
1 Научно-исследовательская работа .....	10
1.1 Описание математической модели.....	11
1.2 Результаты численного моделирования .....	12
2 Анализ объекта автоматизации .....	15
3 Выбор структуры автоматической системы регулирования.....	16
4 Разработка функциональной схемы.....	19
5 Выбор технических средств и составление спецификации .....	20
5.1 Выбор датчиков температуры.....	20
5.2 Выбор датчика давления .....	21
5.3 Выбор датчика расхода .....	23
5.4 Выбор газоанализатора.....	24
5.5 Выбор устройств канала управления .....	25
5.6 Выбор микропроцессорного программируемого контроллера.....	25
6 Разработка принципиальной электрической схемы шкафа автоматизации	27
7 Разработка монтажной схемы АСР .....	29
8 Разработка общего вида щита управления .....	31
9 Расчет оптимальных параметров ПИ-регулятора.....	32
9.1 Исходные данные.....	32
9.2 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией .....	33
9.3 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора.....	37
9.4 Расчёт, построение и оценка качества переходных процессов в замкнутой АСР при возмущении $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия .....	38
9.5 Переходный процесс при возмущении $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия.....	42
10 Социальная ответственность .....	48

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	48
10.2 Производственная безопасность.....	50
10.3 Экологическая безопасность.....	55
11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	60
11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	60
11.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	66
11.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	72
11.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	77
Заключение .....	80
Список используемой литературы .....	81
Графический материал:.....	На отдельных листах
ФЮРА.421000.003 С2 Схема функциональная АСР процесса горения жидкого композиционного топлива в топке парового котла	
ФЮРА.421000.003 ЗС Заказная спецификация приборов и средств автоматизации	
ФЮРА.421000.003 Э4 Схема принципиальная электрическая шкафа автоматизации	
ФЮРА.421000.003 ПЭ Перечень элементов	
ФЮРА.421000.003 С4 Монтажная схема соединений внешних проводок	
ФЮРА.421000.003 ВО Общий вид шкафа автоматизации	



## Введение

Целью данной работы является разработка автоматической системы регулирования горения композиционного жидкого топлива (КЖТ) в топке парового котла. Автоматическая система регулирования горения КЖТ в топке парового котла предназначена для поддержания значений технологических параметров в установленном допустимом диапазоне – не ниже нижней уставки и не выше верхней. АСР горения топлива представляет собой неотъемлемую часть энергетического комплекса, хотя и является, по сути, типовым проектным решением.

Для разработки АСР горения КЖТ в топке парового котла необходимо разработать функциональную схему АСР, принципиальную электрическую схему шкафа автоматизации, монтажную схему, общий вид шкафа автоматизации, произвести расчет и выбор регулирующего органа, проводов, кабелей и труб электрических и трубных проводок и также расчет оптимальных параметров настройки регулятора.

Кроме того, требуется провести анализ финансово-экономической целесообразности разработки и внедрения системы и возможности возникновения негативных воздействий на человека и окружающую среду.

Также необходимо разработать программные алгоритмы, реализующие возможность диспетчеризации и дистанционного управления технологическим процессом.

## 1 Научно-исследовательская работа

Производство отходов является неизбежным следствием бытовой и хозяйственной деятельности человека, однако в последние годы данное явление стало одной из основных экологических проблем в мире. Только на территории Российской Федерации на полигонах (более 150 тыс. га) уже накоплено более 94 млрд. т твердых отходов [1]. Ежегодный прирост твердых коммунальных отходов во всем мире составляет более 2,1 млрд. т [2]. Перспективным вариантом для снижения загрузки полигонов и нормализации экологической обстановки в их окрестностях является применение мелкодисперсных твердых коммунальных отходов в качестве компонентов композиционных жидких топлив (КЖТ) на основе отхода углеобогащения – фильтр кека. Фильтр кек – это побочный продукт углеобогащения, который представляет собой угольную суспензию (смесь угольной пыли с размером частиц около 100 мкм и воды с массовой концентрацией около 50 %). Фильтр кек может применяться в теплоэнергетике в качестве топлива [3–5].

Результаты цикла экспериментальных исследований [6–14] процессов горения композиционных жидких топлив доказали эффективность применения на практике перспективной waste-to-energy технологии для выработки тепловой и электрической энергии с относительно низким уровнем антропогенных выбросов. Анализ взаимного синергетического эффекта компонентов топливной смеси КЖТ (угля, воды и ТКО) на временные и экологические характеристики процесса горения одиночной капли топлива является перспективным направлением развития ранее полученных результатов экспериментальных исследований [8,15]. Поэтому целью настоящей работы является разработка на основании результатов экспериментальных исследований [8,15] математической модели горения одиночной капли композиционного жидкого топлива в разогретой до высоких температур воздушной среде, обеспечивающей удовлетворительное воспроизведение экспериментальных данных.

## 1.1 Описание математической модели

Разработанная математическая модель зажигания капли КЖТ при разных условиях нагрева программно реализована в коммерческой среде моделирования ANSYS Fluent (ANSYS Inc., США). Контролировались физико-химические процессы, протекающие в прямоугольной области размером  $30 \times 30$  мм. Расчетная сетка (14400 элементов, 14641 узел) в этой области решения задачи зажигания приведена на рисунке 1.

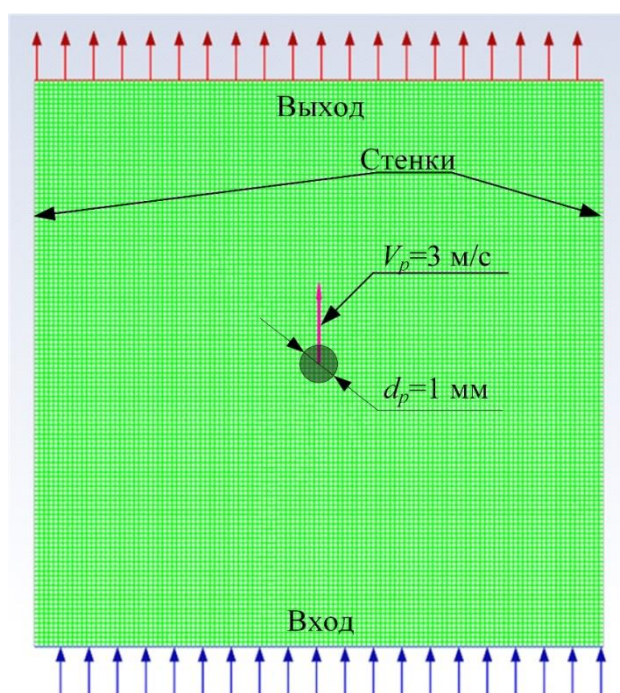


Рисунок 1 – Схема области решения задачи тепломассопереноса в системе частица КЖТ-газовая среда

Одиночная капля КЖТ ( $d_p=1$  мм) с начальной температурой  $T_{p,0}=300$  К генерировалась с помощью однокапельного впрыска и располагалась в геометрическом центре области решения, как показано на рисунке 1 ( $X$ -координата= $0,015$  м;  $Y$ -координата= $0,015$  м). Температура газов в области решения задавалась равной температуре топки  $T_g$ . Границы области решения (стенки камеры сгорания) описывались ГУ 1-го рода. Температуры на границах области решения задавались постоянными и равными  $T_g$  в соответствии с экспериментальными данными [8]. При моделировании зажигания

композиционного топлива в условиях конвективного нагрева (при относительном движении разогретого воздуха относительно капли) скорость движения частицы задавалась равной  $V_p=3$  м/с, скорость движения воздуха принималась равной нулю ( $V_g=0$ ). Концентрация окислителя (кислорода  $O_2$ ) принималась равной массовому содержанию кислорода в воздухе и принято  $\varphi_{O_2}=0,21$ .

Верификация разработанной математической модели и оценка достоверности результатов численного моделирования выполнялись стандартным методом проверки консервативности используемой разностной схемы.

## 1.2 Результаты численного моделирования

В данной работе численное моделирование выполнено для одиночных капель (начальный диаметр  $d_p=1$  мм) пяти разных составов КЖТ на основе влажного ФК с добавлением ТКО:

- №. 1 – ФК 100 %;
- №. 2 – ФК 90 % + древесина 10 %;
- №. 3 – ФК 90 % + резина 10 %;
- №. 4 – ФК 90 % + пластик 10 %;
- №. 5 – ФК 90 % + картон 10 %.

На рисунке 3 представлены зависимости времен задержки зажигания от температуры окислителя разных (по компонентному составу) КЖТ. Зависимости времен задержки зажигания от температуры окислителя имеют нелинейный характер. Это обусловлено тем, что скорости газофазного окисления продуктов термического разложения, испарения воды, гетерогенного зажигания коксового остатка, а также термического разложения органической части угля экспоненциально изменяются при росте температуры. Подобный характер зависимости времен задержки зажигания от температуры окружающего воздуха наблюдался и в экспериментальных результатах [8,15].

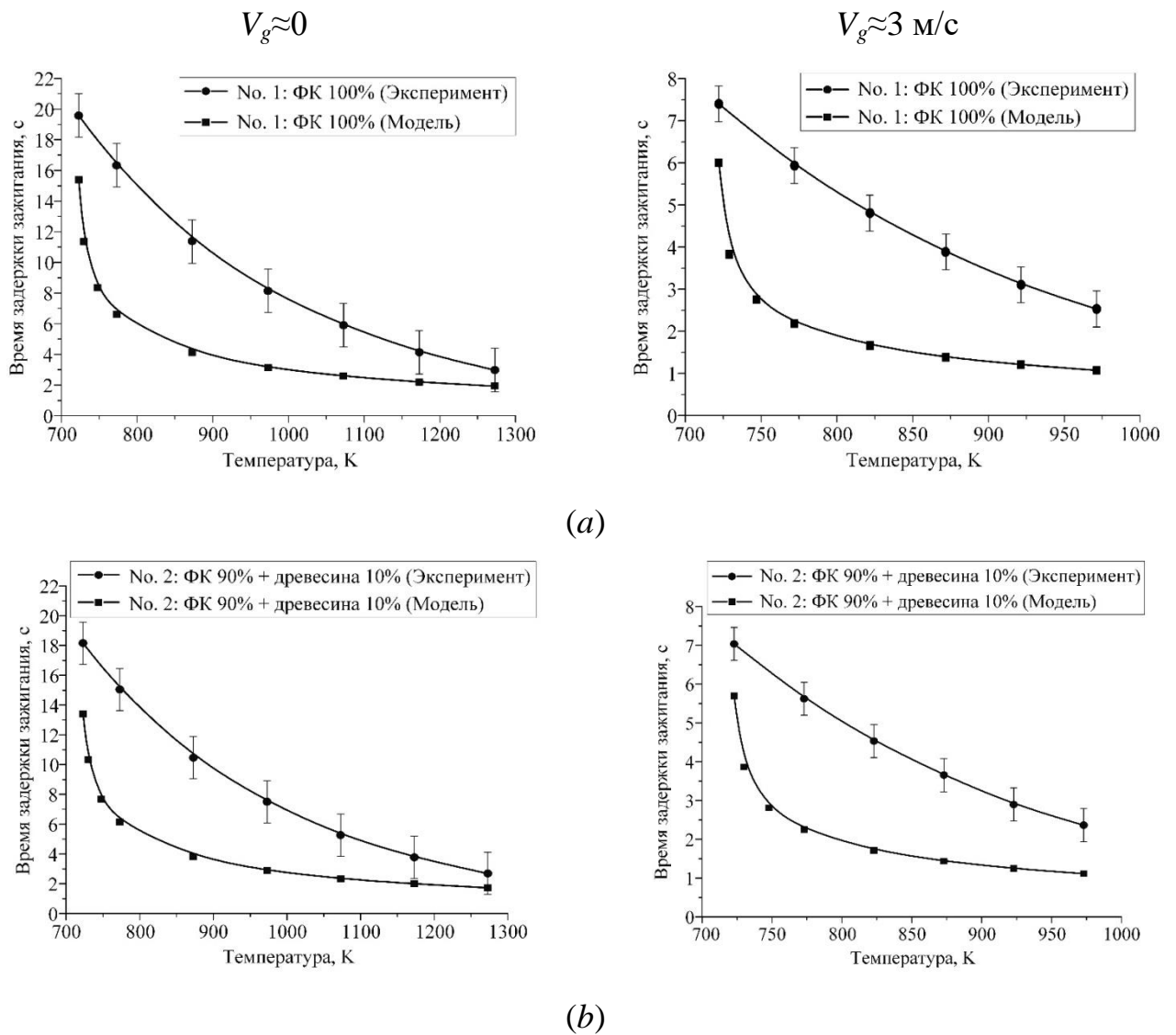
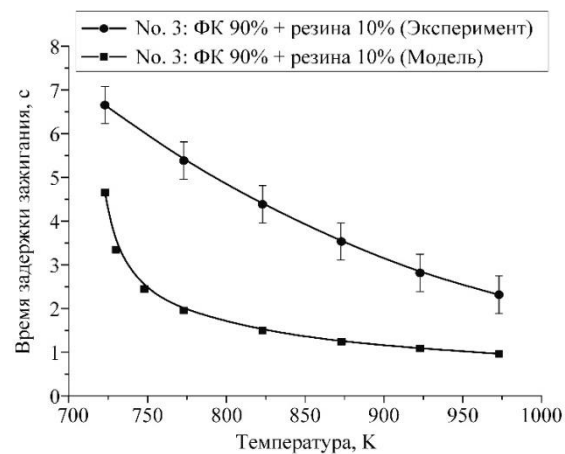
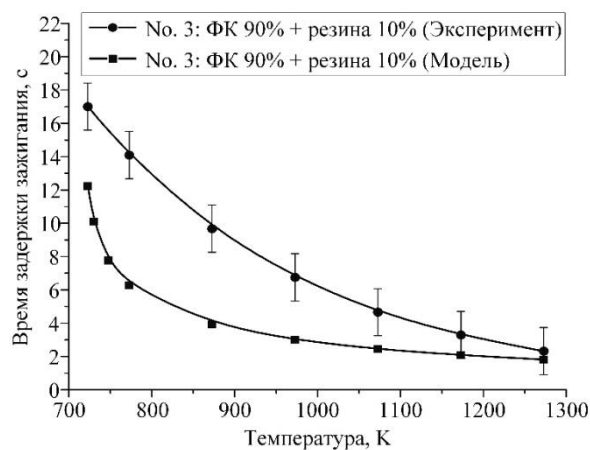
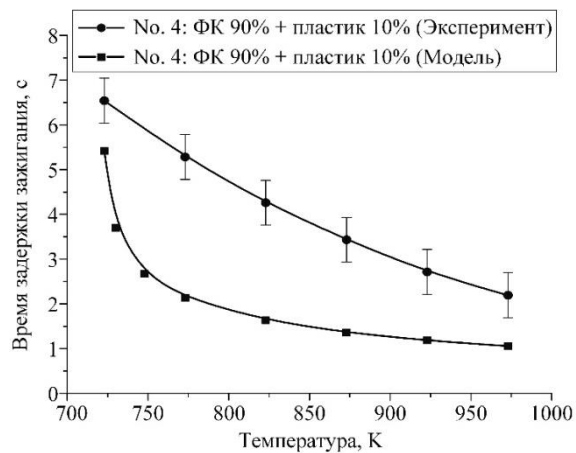
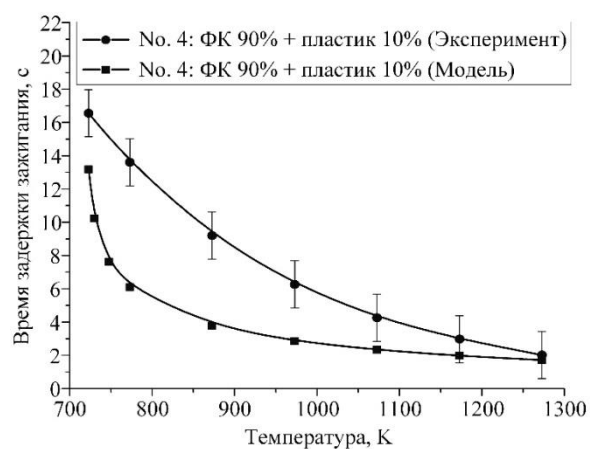


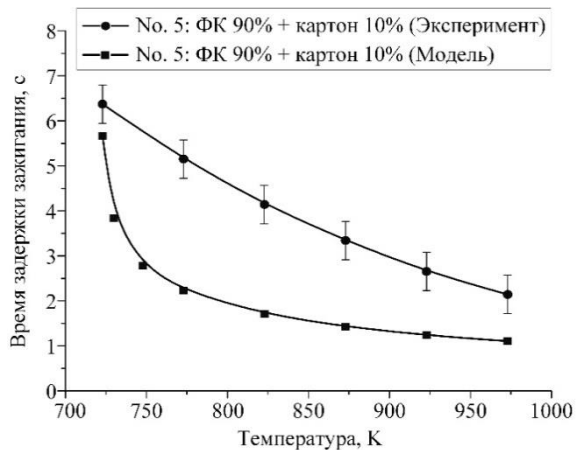
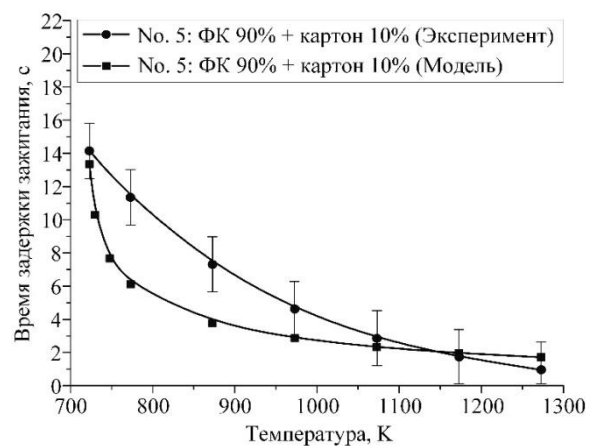
Рисунок 2.1 – Зависимость времен задержки зажигания от температуры разогретой газовой среды для неподвижной ( $V_g \approx 0$ ) и движущейся ( $V_g \approx 3 \text{ м/с}$ ) частицы: сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования для различных составов КЖТ: *a* – No. 1 (ФК 100 %); *b* – No. 2 (ФК 90 % + древесина 10 %)



(c)



(d)



(e)

Рисунок 3.2 – Зависимость времен задержки зажигания от температуры разогретой газовой среды для неподвижной ( $V_g \approx 0$ ) и движущейся ( $V_g \approx 3$  м/с) частицы: сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования для различных составов КЖТ: *c* – No. 3 (ФК 90 % + резина 10 %); *d* – No. 4 (ФК 90 % + пластик 10 %); *e* – No. 5 (ФК 90 % + картон 10 %)

## 2 Анализ объекта автоматизации

Паровой котел – устройство, устанавливаемое для выработки пара из питательной воды при использовании теплоты сгорания органического топлива.

На рисунке 3 приведена схема парового котла [16].

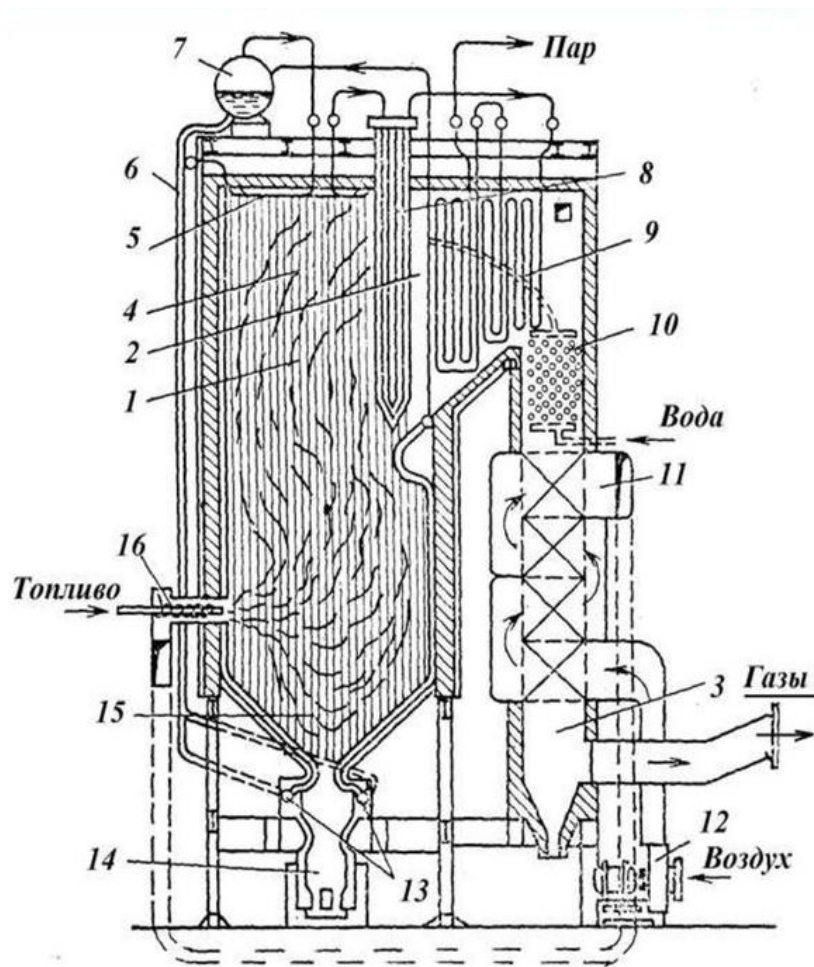


Рисунок 3 – Схема парового котла:

- 1 – топочная камера; 2 – горизонтальный газоход; 3 – конвективная шахта;
- 4 – топочные экраны; 5 – потолочные экраны; 6 – спускные трубы;
- 7 – барабан; 8 – радиационно-конвективный пароперегреватель;
- 9 – конвективный пароперегреватель; 10 – водяной экономайзер;
- 11 – воздухоподогреватель; 12 – дутьевой вентилятор; 13 – нижние коллекторы экранов; 14 – шлаковый комод; 15 – холодная коронка; 16 – горелки

Для сжигания КЖТ подходит котел Еп-670-13,8-545 КДТ (ТПЕ-214/А). Данный котел предназначен для выработки перегретого пара при сжигании

кузнецких каменных углей марок «Г» и «Д», львовско-волинских каменных углей и водоугольных суспензий (ВУС) с концентрацией твердой фазы 61–64 %.

Котлы этой группы предназначены для работы в блоке с турбиной мощностью 180/210 МВт, технические характеристики данного котла приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики котла Еп-670-13,8-545 КДТ [16]

Номинальная паропроизводительность, т/ч	670
Расход пара через промперегреватель, т/ч	570
Давление пара, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> ) На выходе из пароперегревателя высокого давления промперегревателя: на входе на выходе	13,8 (140)  2,7 (27,4) 2,4 (24,4)
Температура, °С на выходе пара высокого давления пара промперегревателя: на входе на выходе питательной воды уходящих газов	545  328 545 248 140
Основной вид топлива	Каменные угли «Г» и «Д», ВУС
Расход топлива, т/ч: натурального условного	90,2 70,3
Тип горелок (шт.)	Прямоточные (8)
Теплопроизводительность, Гкал/ч	457

### 3 Выбор структуры автоматической системы регулирования

Схемы систем регулирования тепловой нагрузки весьма разнообразны и определяются видом компоновки электростанции (блочная или с поперечными связями), вида сжигаемого топлива (жидкое или газообразное, угольная пыль),



способа пылеприготовления при сжигании угольной пыли, режима работы парогенератора (регулирующий или базовый). В данном случае в котле будет сжигаться жидкое композиционное топливо, имеющее непостоянное тепловыделение, поэтому рационально использовать типовую автоматическую систему регулирования тепловой нагрузки по импульсу по «теплу».

Регулирование подачи воздуха по соотношению сигналов задание – воздух с дополнительным сигналом по содержанию  $O_2$  в дымовых газах. Содержание кислорода в продуктах сгорания топлива характеризует избыток воздуха и слабо зависит от состава топлива, поэтому использование сигнала с датчика концентрации кислорода в дымовых газах целесообразно, однако, данный сигнал характеризуется повышенной инерционностью, поэтому является корректирующим (рисунок 4) [17].

В этой схеме регулирующее устройство РУ воздействует с помощью пускового устройства ПУ1 на исполнительный механизм ИМ1, который при посредстве регулирующего органа РО1 изменяет расход топлива в топку. Так же регулирующее устройство воздействует на орган, регулирующий подачу воздуха в топку котла для поддержания экономичного режима горения с минимальным недожогом. Сигнал по давлению пара в магистрали поступает с датчика давления ДД2 вместе с сигналом от датчика содержания кислорода в дымовых газах  $O_2$  на вход контроллера К, формирующего воздействия на локальные регуляторы тепловой нагрузки. В приведенной схеме АСР тепловой нагрузки импульс по «теплу» представляет собой сумму двух сигналов: сигнала по расходу пара  $D_p$ , формируемого датчиком расхода пара ДР, и сигнала по производной от давления пара в барабане  $dP/dt$ , формируемого датчиком давления пара ДД1 в барабане и дифференциатором Д на контроллер.

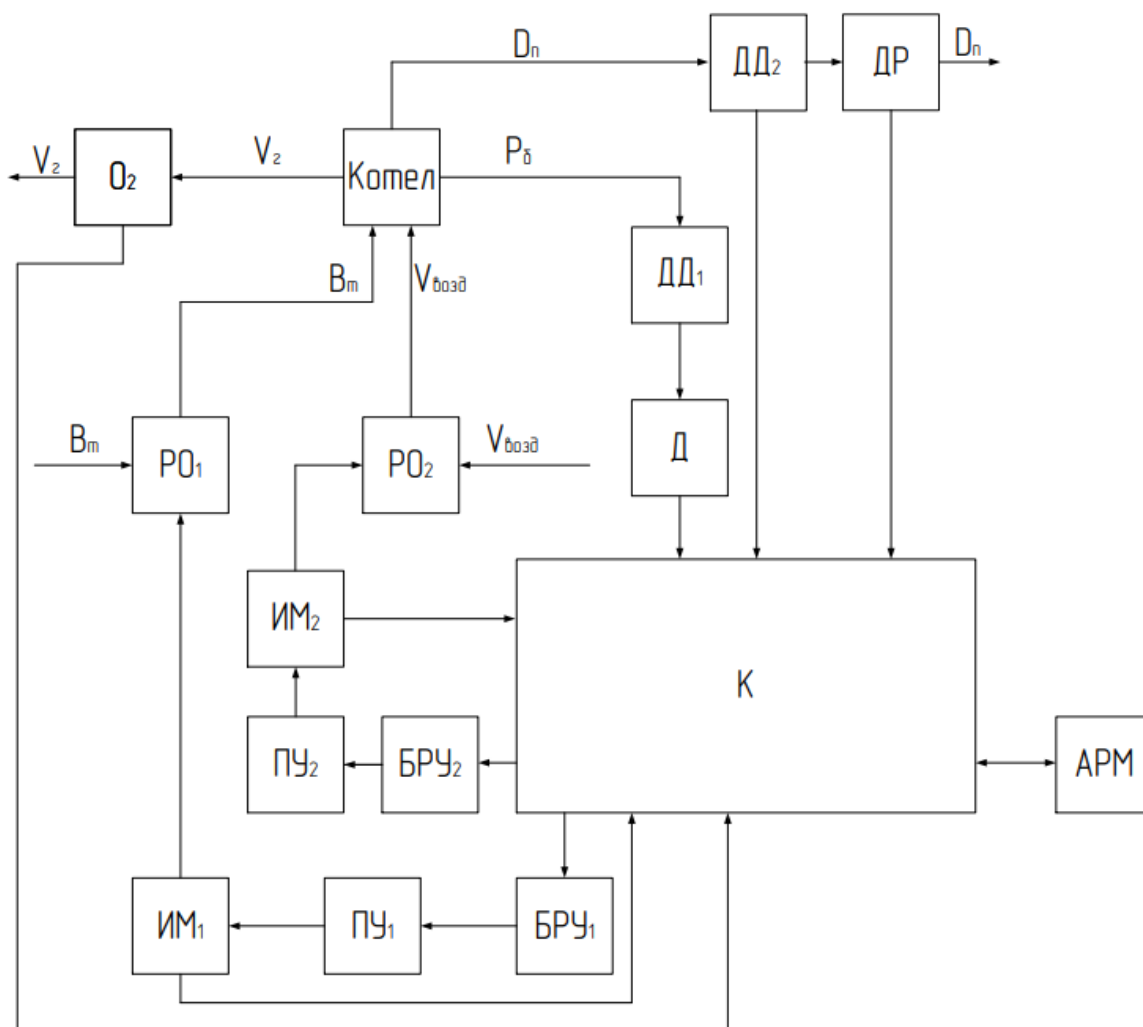


Рисунок 4 –Схема регулирования процесса горения в топке котла:  
 $V_T$  – расход топлива;  $D_{п}$  – расход пара;  $V_{возд}$  – расход воздуха;  $O_2$  – датчик содержания кислорода в дымовых газах;  $P_6$  – давление в барабане котла; РО – регулирующий орган; ИМ – исполнительный механизм; ПУ – пусковое устройство; К – контроллер; ДД – датчик давления; ДР – датчик расхода; Д – дифференциатор; АРМ – автоматизированное рабочее место оператора

В качестве регулирующего устройства будет использоваться микропроцессорный программируемый контроллер (МПК). МПК исключает использование дифференциатора, так как эта функция реализована программно в МПК.

Функции блока ручного управления (БРУ) выполняет кнопочный пост, установленный на двери шкафа автоматизации. Помимо этого, дистанционное ручное управление можно производить с автоматизированного рабочего места оператора (АРМ).

Окончательная структура системы регулирования АСР горения КЖТ представлена на чертеже ФЮРА.421000.003 С1.

#### 4 Разработка функциональной схемы

Процесс сжигания топлива начинается с подачи композиционного топлива насосом Н в топку котла через растопочные вихревые горелки Г. Управление подачей топлива производится с помощью исполнительного механизма 11б. Температура топлива измеряется датчиком температуры 1а. Корректировка подачи топлива в котел производится по давлению пара в паровом тракте, стабилизация расхода топлива происходит по расходу пара и по производной от давления пара в барабане, формируемого датчиком давления 7а. Измерение всех параметров перегретого пара производится с помощью интеллектуального датчика 5а, регулирование подачи пара потребителю осуществляется регулирующим питательным клапаном РПК посредством подачи управляющих сигналов на исполнительный механизм 17б. Поддержание экономичного режима горения с минимальным недожогом осуществляется путем регулирования подачи воздуха в топку дутьевым вентилятором ДВ с помощью исполнительного механизма 13б по сигналу от датчика наличия свободного кислорода в дымовых газах 10а. Для удаления продуктов сгорания топлива из котла и создания в нем необходимого разрежения применяется дымосос ДС, управление воздействием которого обеспечивается исполнительным механизмом 15б. С целью повышения эффективности горения топлива в схеме предусмотрена установка воздухоподогревателя ВЗП для передачи тепловой энергии от уходящих дымовых газов к воздуху, направляемого в топку котельного агрегата.

Управление положениями регулирующих органов осуществляется через МПК и активизируется при срабатывании аналоговых датчиков давления, температуры, расхода и т. д.

## 5 Выбор технических средств и составление спецификации

### 5.1 Выбор датчиков температуры

Для контроля температуры подогретого атмосферного воздуха на входе в вихревые горелки (номинальное значение 220 °С) и температуры дымовых газов на выходе из котла (номинальное значение 140 °С). Рассмотрим модели наиболее производителей датчиков температуры. Характеристики датчиков температуры приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики датчиков температуры

Сравнительные характеристики	ТЭП Rosemount 0185	ТС Метран–2000
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА
Возможные НСХ	J, K, N	100П, 50М, 100М
Диапазон измеряемых температур, °С	-40...750, -40...1000, -40...1000	-50...250, -50...150, -50...150
Степень защиты	IP65/IP68	IP65 с головкой (и для E07, E08); IP5X без головки
Межповерочный интервал	4 года	5 лет

Для измерения температур газовых сред выберем датчики температуры Метран–2000 с НСХ типа 100П (для подогретого атмосферного воздуха) и с НСХ типа 100М (для уходящих дымовых газов), так как этот датчик дешевле и имеет больший межповерочный интервал.

Следующим этапом проведем выбор первичных преобразователей для каналов измерения температуры холодного атмосферного воздуха (рабочее значение порядка 20 °С) и температуры композиционного топлива (рабочее значение порядка 50 °С). Рассмотрим модели серийно производимых

термопреобразователей сопротивления известных марок. Характеристики некоторых первичных преобразователей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики термопреобразователей сопротивления

Сравнительные характеристики	ТС Rosemount 0065	ТС Метран–2000
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА
Возможные НСХ	Pt100	100П, 50М, 100М
Диапазон измеряемых температур, °С	-196...600,	-50...250, -50...150, -50...150
Степень защиты	IP65/IP68	IP65 с головкой (и для E07, E08); IP5X без головки
Межповерочный интервал	4 года	5 лет

Для измерения температур композиционного топлива и холодного атмосферного воздуха выберем термопреобразователи сопротивления Метран–2000 с НСХ типа 100М так как данные датчики являются продуктом отечественного производителя.

## 5.2 Выбор датчика давления

Для работы системы необходимо измерение избыточного давления в барабане котла, давления-разряжения в топке, а также избыточного давления в воздушном тракте. В соответствии с этим рассмотрим датчики различных производителей и сравним их технические характеристики (таблица 4).

Таблица 4 – Технические характеристики датчиков давления

Сравнительные характеристики	Rosemount 2051	Метран-75	Rosemount 3051
Измеряемые (вычисляемые) параметры	Избыточное / Разрежение Абсолютное	Разность давлений Избыточное / Разрежение Абсолютное	Избыточное / Разрежение Абсолютное
Выходной сигнал	4...20 мА/HART Foundation Fieldbus Profibus, WirelessHART 1...5 В/HART	4...20 мА/HART	4...20 мА/HART Foundation Fieldbus WirelessHART
ВГД разности давлений/ избыточного давления, МПа	13,789/68,9	-/25	13,789/68,9
Степень пылевлагозащиты	IP68/IP66	IP66	IP68/IP66
Диагностика	Самодиагностика	Самодиагностика	Мониторинг процесса (FF). Закупорка импульсных линий. Целостность токовой цепи (HART)
Интервал между поверками	4/5 лет	3 года/ 5 лет	5 лет

Для измерения избыточного давления в барабане котла и давления разрежения в топке выберем преобразователь давления измерительный Rosemount 3051, так как только этот датчик (в сборе с выносной мембраной 1199) предназначен для эксплуатации при настолько высоких температурах, как в барабане и топке котла.

Для измерения избыточного давления в воздушном тракте выберем преобразователь давления измерительный Rosemount 2051 (в сборе с выносной мембраной 1199), так как он является наиболее дешевым из аналогов, работающих при температуре окружающей среды 85 °С.

### 5.3 Выбор датчика расхода

Для работы системы необходимо измерять расход перегретого пара. В соответствии с этим рассмотрим датчики расхода различных производителей и сравним их технические характеристики (Таблица 5).

Таблица 5 – Технические характеристики датчиков расхода

Сравнительные характеристики	Метран-150RFA	Rosemount 3051SMV	ЭЛЕМЕР-100 ДД
Диапазон измерений	до 20 МПа	до 25 МПа	0,063...16000 кПа
Выходные сигналы	4...20 мА; HART;	4...20 мА HART	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; HART; Modbus RTU;
Пылевлагозащита	IP65, IP54	IP66	IP65, IP54

Для измерения расхода пара выберем преобразователь давления Rosemount 3051SMV в сборке с диафрагмой модели 1195 и клапанным блоком 305, так как он обладает самой высокой степенью влагозащиты, подходящими эксплуатационными характеристиками. У данного преобразователя при измерении перепада давления на первичном элементе, а также статического давления и температуры среды, вычисление расхода осуществляется с учетом изменений температуры и давления (полная компенсация). Таким образом, данный интеллектуальный преобразователь обеспечивает одновременное измерение расхода, температуры и статического избыточного давления среды, что позволяет сэкономить на покупке дополнительного измерительного оборудования.

Для измерения расхода воздуха в топку котла выберем расходомер Метран-150RFA, так как он имеет интегральную конструкцию, что исключает количество потенциальных мест утечек измеряемой среды.

## 5.4 Выбор газоанализатора

При выборе газоанализатора для системы контроля дымовых газов необходимо также учитывать количество каналов измерения и измеряемых компонентов. Кроме того, важно уделить внимание диапазонам измерений для каждого компонента газовой смеси. Поскольку дымовые газы являются многокомпонентной смесью, необходимо выбирать многоканальный газоанализатор. Приведем технические характеристики газоанализаторов дымовых газов разных производителей в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики газоанализаторов дымовых газов

Сравнительные характеристики	ИКТС-11		АНКАТ-410
Температура анализируемых газов, °С	не более +1000		не более +1000
Выходные сигналы	RS-485, по каналу O <sub>2</sub> 0...5 мА или 4...20 мА		0...5 мА или 4...20 мА, RS-485, RS-232, USB
Определяемые компоненты	O <sub>2</sub> , CO, NO (CO <sub>2</sub> – расчёт)		O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, NH <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub>
Диапазон измерений, %	O <sub>2</sub>	(0...21)	(0...21)
	CO	$(0...104) \cdot 10^{-6}$	$(0...2000) \cdot 10^{-6}$
	NO	$(0...1000) \cdot 10^{-6}$	$(0...2000) \cdot 10^{-6}$
	SO <sub>2</sub>	–	$(0...3000) \cdot 10^{-6}$

Выбираем многокомпонентный газоанализатор промышленных выбросов АНКАТ-410, т.к. только данный газоанализатор позволяет измерять концентрации оксидов серы, а также имеет наибольшую точность измерения концентраций антропогенных выбросов. Оксид серы является нормируемым параметром, поэтому наличие канала его измерения является преимуществом перед аналогичными газоанализаторами. Кроме того, данный прибор оснащен функцией автоматического расчета коэффициент избытка воздуха, который применяется для последующего подбора оптимального соотношения топливовоздух для минимизации недожога топлива.



## 5.5 Выбор устройств канала управления

Для регулирования подачи воздуха в топку котла используется шибер в воздухопроводе. На основе типовых проектных решений, в качестве привода РО выберем исполнительный механизм МЭОФ-1000/25-0,25Е2-2-08К. Данный исполнительный механизм предназначен для работы с использованием интеллектуального блока КИМ2, который имеет следующие технические характеристики (таблица 6):

Таблица 6 – Технические характеристики МЭОФ-1000/25-0,25Е2-2-08К

Характеристика	Значение
Крутящий момент, Н·м	1000
КПД, %	88
Номинальная значение полного хода, об.	0,25
Номинальное значение времени полного хода	25

Функции пускателя также выполняет интеллектуальный блок КИМ2, технические характеристики которого представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики интеллектуального блока КИМ2

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение, В	220; 380; 440
Частота тока, Гц	50; 60
Допустимая частота включений, вкл/ч	10000

## 5.6 Выбор микропроцессорного программируемого контроллера

Для выбора оптимального контроллера для системы автоматизации рассмотрим требования, которые обычно предъявляются к его устройству и эксплуатации:

– автоматическая система должна быть построена на микропроцессорных контроллерах промышленного назначения (ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007);

– программируемый контроллер, который входит в состав системы автоматизации должен иметь модульную архитектуру, а также предусматривать возможность замены аппаратных коммуникационных модулей и модулей ввода/вывода без остановки работы контроллера;

– ПЛК, входящий в состав системы автоматизации, должен поддерживать стандарт МЭК 61131-3;

– прикладное программное обеспечение (ПО) должно сопровождаться специализированной программной средой для визуальной конфигурации прикладных данных ПЛК, диагностики всех модулей, тестирования всех функций;

– в ПЛК должна функционировать операционная система реального времени, обеспечивающая обработку критически важных прерываний за заданное время;

– ПЛК должен реализовывать функции самодиагностики всех модулей и целостности ПО.

Проведем сравнение ПЛК разных производителей.

Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК используется для решения задач автоматических систем средней и высокой степени сложности. Данный контроллер имеет модульную конструкцию, что является конкурентным преимуществом, так как проектируемая система становится более открытой.

Рассмотрим для сравнения программируемый логический контроллер фирмы Schneider Electric (Франция). Серия данных программируемых контроллеров типа Modicon M340 также является подходящим вариантом решения для задач управления, на базе высокопроизводительных совместимых программируемых контроллеров, но имеет значительно большую стоимость в сравнении с контроллером ЭЛСИ-ТМК. Поэтому воспользуемся контроллером ЭЛСИ-ТМК, который обеспечивает надежность, гибкость и функциональность системы управления за более низкую цену.

Все необходимые технические характеристики о приборах и технических средствах автоматизации для реализации АСР процесса горения КЖТ в топке парового котла представлены в заказной спецификации приборов и средств автоматизации, представленной на отдельных листах с шифром ФЮРА.421000.003 ЗС.

## 6 Разработка принципиальной электрической схемы шкафа автоматизации

Полный состав приборов и средств автоматизации, используемых для реализации АСР расхода воздуха в топку парового котла при сжигании жидкого композиционного топлива, а также и связей между ними отражает принципиальная электрическая схема.

В данной работе необходимо обеспечить электрическое взаимодействие программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК (производства АО «ЭлеСи», Российская Федерация) с внешними элементами.

На первом листе изображаем схему обеспечения питанием всех элементов, размещенных в шкафу. Шкаф автоматизации питается от цепи переменного тока с напряжением 220 В. Для обеспечения безопасной работы оборудования в шкаф устанавливаются автоматические выключатели QF1...QF2 и штекерный модуль для защиты от перенапряжений Z1. Блок бесперебойного питания G1 – EF A UPS 1AC/24 DC-4 выполняет функции трансформации переменного тока сети с напряжением 220 В в постоянный с напряжением 24 В. Для предотвращения повреждения технических устройств в случае аварийного отключения электроснабжения в шкафу установлен аккумуляторный модуль G2, который автоматически вводится в работу и позволяет оборудованию автономно функционировать определенный промежуток времени для корректного завершения работы и сохранения данных. Контроллер AC1 и вторичные измерительные разделительные преобразователи UY1...UY12, расположенные в шкафу, подключаются к блоку

бесперебойного питания 24 В. Для удобства обслуживания оборудования в шкафу установлена розетка XS1 на ~220 В.

На втором листе изображаем ввод на модули программируемого логического контроллера полевых измерительных сигналов – унифицированных аналоговых сигналов. Для обеспечения гальванического разделения непрерывных сигналов предполагается применение преобразователей измерительных разделительных – ET 422 (производства АО "ЭлеСи", Российская Федерация). Каждый унифицированный сигнал 4...20 мА заведем на отдельный токовый ввод преобразователя измерительного разделительного (по два сигнала на одно устройство, т.к. ET 422 – двухканальный). От выходов измерительных преобразователей сигнал направляется на модуль аналогового ввода контроллера А3, который подключен к общей шине S1 вместе с другими модулями. Также на втором листе изображается вывод регулирующего аналогового сигнала с модуля аналогового вывода А4 с помощью реверсивного подключения измерительных разделительных преобразователей UY11...UY12.

На следующем листе показана разработанная принципиальная электрическая схема подсистемы управления исполнительными механизмами регулирующего органа. Разработанная система обеспечивает ввод дискретных сигналов состояния на модуль дискретного ввода А5 контроллера и вывод управляющих воздействий с модуля дискретного вывода А6 этого же контроллера. Для обеспечения безопасности контроллера произведем гальваническую развязку входных и выходных дискретных сигналов с помощью контактно-релейной схемы.

От каждого исполнительного механизма каждого регулирующего органа на расположенные в шкафу замыкающие реле К1...К8 приходят сигналы состояния (+24 В): «Открыто», «Закрыто». Данные сигналы работают по принципу подачи напряжения или обрыва цепи. В модуль контроллера А5 информация о состоянии поступает после коммутации соответствующего реле посредством сигнала типа "сухой контакт", поэтому с клеммника питания XT1

на соответствующие вводы замыкаемых контактов реле приходит напряжение +24 В, а на общий вход модуля контроллера – 0 В.

Тем же образом для вывода на задвижку управляющих воздействий («Открыть», «Закрыть») предусмотрена аналогичная гальваническая развязка цепей. С модуля вывода дискретных сигналов А6 сигналы будут подаваться на группу реле 1–К1...1–К8, которые в свою очередь должны коммутировать группу контактов, выдающих сигналы в цепь управления интеллектуального блока КИМ2, находящийся в поле. Данные управляющие воздействия могут подаваться оператором вручную с помощью нажатия соответствующих кнопок 1–SH1.1 ...1–SH8.1 на двери шкафа. Информация о состоянии исполнительного механизма подается также на средства индикации на двери шкафа – на подсветку кнопок 1– SH1.2...1–SH8.2.

Схема электрическая соединений (монтажная) представлена на листе ФЮРА.421000.003 Э4.

Совместно с разработкой чертежей электрической схемы соединений системы автоматизации в общем случае должны составляться перечни элементов. Перечень элементов для разработанной электрической схемы соединений АСР процесса горения КЖТ в топке парового котла представлен на листе ФЮРА.421000.003 ПЭ.

## 7 Разработка монтажной схемы АСР

Монтажная схема соединений внешних проводов проектируемой системы представлена на листе ФЮРА.421000.003 С4.

На первом листе верхней части схемы расположена таблица с позиционным обозначением каналов измерения и мест их установки, а также с обозначениями измеряемой среды и соответствующих измеряемых параметров. Ниже расположены условно изображенные датчики, от которых отходят кабели, обозначенные на чертеже линиями, прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также его протяженность. От каждого датчика температуры, давления, расхода или концентрации каждый измеряемый

параметр передается в виде унифицированного аналогового сигнала 4...20 мА по двухпроводной схеме. Линии, проведенные от измерительных датчиков, соединены с условно обозначенным шкафом автоматизации, через клеммную соединительную коробку КС-30. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят кабельные линии от датчиков. В левой части чертежа условно изображен щит силового управления (ЩСУ), обеспечивающий питанием 220 В шкаф автоматизации и исполнительный механизм. Для организации разводки сети питания внешних устройств предполагается использовать кабель КВВГЭ 5х2,5, так как данный тип кабеля предназначен для соединения электрических устройств и оборудования при номинальном переменном напряжении до 660 В, частоте до 100 Гц.

На втором листе чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для регулирования технологических параметров путем подачи на них аналоговых и дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики. Для соединения исполнительных и измерительных устройств с клеммными коробками использовались кабели КВВГЭнг. Данный тип кабеля предназначен для прокладки в помещениях и кабельных сооружениях без опасности механических повреждений при эксплуатации и защиты электрических цепей от влияния внешних электрических полей, а также для обеспечения пожарной безопасности кабельных цепей при прокладке в пучках.

#### Конструкция:

- токопроводящая жила – медная проволока;
- изоляция – ПВХ пластикат;
- экран – обмотка медной фольгой или медной лентой;
- оболочка – ПВХ пластикат пониженной горючести.

Для организации герметичной прокладки кабельных линий и их защиты от механических повреждений расключенные кабели от измерительных и

регулирующих устройств предполагается прокладывать в герметичном металлорукаве DN 15 мм в ПВХ изоляции.

## 8 Разработка общего вида щита управления

Щкаф автоматизации предназначен для оперативного управления объектом автоматизации и контроля его параметров. В шкафу размещают технические средства контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительные приборы, элементы сигнализации, блокировки, защиты и другие элементы, которые предоставляют необходимую информацию на верхний уровень АСР. Конструкция шкафа должна обеспечивать комфортные условия эксплуатации, ремонта с минимально возможными затратами времени и безопасное обслуживание приборов. Также должны быть предусмотрены замки для устранения несанкционированного доступа и шина заземления.

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.002 ВО.

Внутри шкафа управления размещена система контроля и регулирования, а также вспомогательная аппаратура. В верхней части шкафа расположен контроллер ЭЛЕСИ-ТМК АС1, во втором ряду расположены средства защиты системы питания и управления, а именно автоматические выключатели QF1...QF2, устройство защиты от перенапряжений Z1, блок питания G1 и автономный блок питания G2, блок зажимов XT2, а также щитовая розетка XS1. В третьем ряду расположена вспомогательная аппаратура – реле K1...K8, 1–K1...1–K8 разделительные преобразователи UY1...UY12. В нижней части шкафа вертикально в несколько рядов расположены групповые сборки зажимов 2XT1...2XT2, 3XT1...3XT2. На лицевой стороне двери расположена кнопки с подсветкой 1–SH1...1–SH8.

В данной работе был выбран шкаф распределительный типа SE 5829.680 6 IP 66/NEMA 4 производства фирмы Rittal (Германия). Размеры шкафа 1000x700x300 мм. Оборудование размещено на монтажных шинах с перфорацией NS 35/7,5 производителя Phoenix Contact. Для прокладки силовых проводов

используются перфорированные короба 40x40 производителя Efapec. Справой стороны приведен перечень элементов, входящих в щит управления.

## 9 Расчет оптимальных параметров ПИ-регулятора

### 9.1 Исходные данные

Необходимо провести расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией инженерным методом корневым (с использованием РАФЧХ) или частотным по максимуму АЧХ замкнутой системы (метод В.Я. Ротача).

$$W_{об}(P) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot P + 1)} \cdot e^{-P \cdot \tau} \quad (1)$$

Необходимо определить оптимальные параметры настройки регулятора. Рассчитать, построить и оценить качество переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении  $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия.

Параметры передаточной функции объекта, требования к запасу устойчивости системы, критерий оптимальной настройки приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры передаточной функции объекта

Коэффициент передачи объекта, К	Время запаздывания объекта, $\tau$	Постоянная времени объекта, Т	Степень затухания, $\psi$	Интегральный критерий качества
1,1	3	20	0,85	I <sub>2</sub>

На рисунке 5 представлена структурная схема системы регулирования, которая имеет вид:

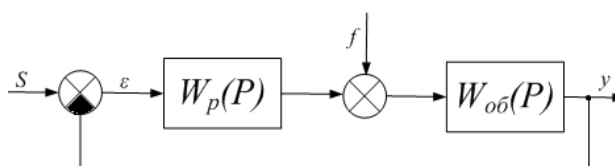


Рисунок 5 – Структурная схема системы регулирования



## 9.2 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией

Для расчёта и построения границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором, воспользуемся корневым методом параметрического синтеза систем автоматического регулирования с применением расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ).

Есть зависимость между степенью затухания переходных процессов в заданной системе регулирования  $\psi$  и степенью колебательности переходных процессов в заданной системе регулирования  $m$ , можно определить значение заданной степени колебательности  $m$  по формуле:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,85) \approx 0,302, \quad (2)$$

где  $\psi$  - степень затухания переходных процессов в заданной системе регулирования.

Передаточная функция объекта регулирования определяется по формуле:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot P + 1)} \cdot e^{-P \cdot \tau}, \quad (3)$$

где  $P$  – оператор Лапласа.

Если порядок объекта  $n=1$ , то выражение примет вид:

$$W_{об}(P) = \frac{K \cdot e^{-P \cdot \tau}}{(T \cdot P + 1)}. \quad (4)$$

Тогда после подстановки значений выше приведенных параметров получаем окончательное выражение для передаточной функции объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{1,1 \cdot e^{-3 \cdot P}}{(20 \cdot P + 1)}. \quad (5)$$

Определим расширенные частотные характеристики объекта регулирования. Расширенные частотные характеристики какого-либо звена можно получить подстановкой в передаточную функцию этого звена  $W(P)$  оператора  $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$  или  $p = -\eta + i \cdot \omega$ , в выражениях для оператора Лапласа  $\omega$  – частота,  $c^{-1}$ . В первом случае расчётные формулы метода обеспечивают получение границы заданной степени колебательности системы

$m$ , а во втором – получение границы заданной степени устойчивости системы  $\eta$  в пространстве параметров настройки регулятора [18].

Заменим оператор  $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ , в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{1,1 \cdot e^{-3(-m\omega+i\omega)}}{20 \cdot (-m\omega+i\omega)+1}. \quad (6)$$

Используя программное обеспечение Mathcad, предварительно задав начальное значение частоты  $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$  и шаг по частоте  $\Delta\omega = 0,001 \text{ с}^{-1}$ , рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до  $\omega = 0,3 \text{ с}^{-1}$ .

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$Re_{об}(m, \omega) = Re(W_{об}(m, i\omega)). \quad (7)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$Im_{об}(m, \omega) = Im(W_{об}(m, i\omega)). \quad (8)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{Re_{об}(m, \omega)^2 + Im_{об}(m, \omega)^2}. \quad (9)$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctg\left(\frac{Im_{об}(m, \omega)}{Re_{об}(m, \omega)}\right). \quad (10)$$

В таблице 9 приведены результаты расчётов значения частоты с  $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$  до  $\omega = 0,9 \text{ с}^{-1}$  и шаг по частоте  $\Delta\omega = 0,05 \text{ с}^{-1}$ .

Таблица 9 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

$\omega, \text{ с}^{-1}$	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$
0	1,10	0
0,05	0,42	-0,846
0,1	-0,06	-0,5875
0,15	-0,17	-0,3836
0,2	-0,20	-0,2617
0,25	-0,21	-0,1808
0,3	-0,20	-0,1218
0,35	-0,20	-0,0757
0,4	-0,19	-0,0378
0,45	-0,18	-0,00581

0,5	-0,17	0,0217
0,55	-0,15	0,0456
0,6	-0,14	0,0663
0,65	-0,12	0,0841
0,7	-0,11	0,099
0,75	-0,09	0,1112
0,8	-0,07	0,1207
0,85	-0,05	0,1274
0,9	-0,03	0,1314

РАФЧХ объекта регулирования представлена на рисунке 6.

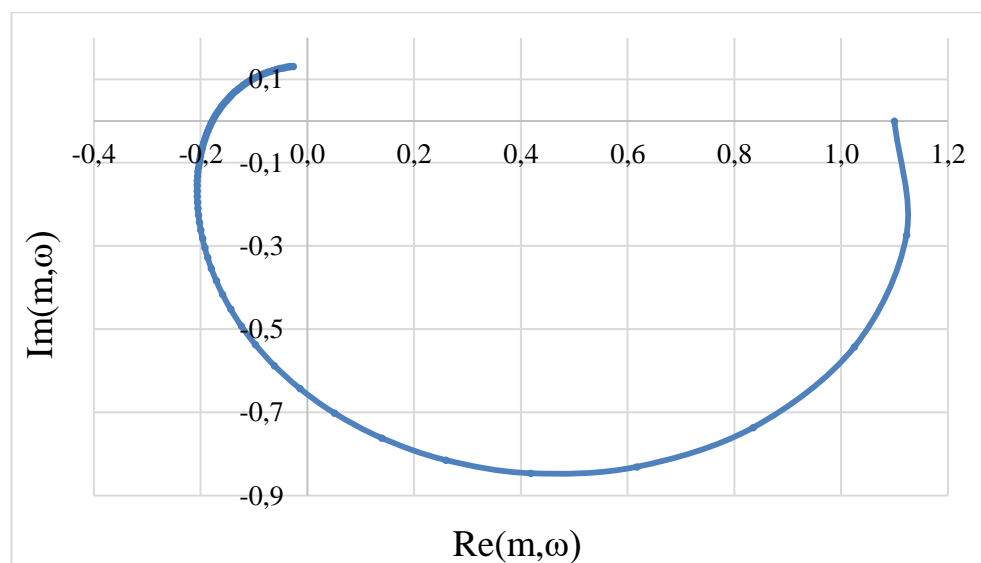


Рисунок 6 – РАФЧХ объекта регулирования

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют вид:

$$\frac{K_p}{T_{\text{и}}} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{\text{об}}(m, \omega)}{A_{\text{об}}^2(m, \omega)} ; \quad (11)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{\text{об}}(m, \omega) + \text{Re}_{\text{об}}(m, \omega)}{A_{\text{об}}^2(m, \omega)} , \quad (12)$$

где  $K_p$  – коэффициент передачи ПИ-регулятора,  $T_{\text{и}}$  – постоянная интегрирования ПИ-регулятора.

Зададим диапазон изменения частоты  $\omega = 0 \dots 0,8 \text{ с}^{-1}$  с шагом  $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$ , определим настройки регулятора  $\frac{K_p}{T_{\text{и}}}$  и  $K_p$  в заданном диапазоне частот.

Результаты расчётов сведём в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчёта настройки ПИ-регулятора

$\omega, \text{c}^{-1}$	$\frac{K_p}{T_i}$	$K_p$
0,00	0,00	-0,91
0,02	0,01	-0,64
0,04	0,03	-0,34
0,06	0,07	-0,02
0,08	0,12	0,33
0,10	0,18	0,69
0,12	0,25	1,06
0,14	0,32	1,44
0,16	0,39	1,82
0,18	0,46	2,20
0,20	0,53	2,57
0,22	0,59	2,94
0,24	0,63	3,29
0,26	0,67	3,63
0,28	0,69	3,95
0,30	0,70	4,25
0,32	0,69	4,53
0,34	0,66	4,78
0,36	0,61	5,00
0,38	0,53	5,19
0,40	0,44	5,34
0,42	0,31	5,47

Продолжение таблицы 10

$\omega, \text{c}^{-1}$	$\frac{K_p}{T_i}$	$K_p$
0,44	0,17	5,56
0,46	0,00	5,62
0,48	-0,19	5,64
0,50	-0,41	5,62
0,52	-0,65	5,57
0,54	-0,92	5,48
0,56	-1,20	5,36
0,58	-1,50	5,20
0,60	-1,83	5,01
0,62	-2,16	4,79
0,64	-2,51	4,54
0,66	-2,88	4,25
0,68	-3,25	3,94

0,70	-3,63	3,61
0,72	-4,01	3,25
0,74	-4,40	2,86
0,76	-4,78	2,46
0,78	-5,16	2,04
0,80	-5,53	1,60

На рисунке 7 представлена область параметров настройки ПИ-регулятора.

Полученная кривая является границей заданной степени затухания  $\Psi_{\text{зад}} = 0,85$  процесса регулирования, что соответствует степени колебательности ( $m=0,302$ ). Таким образом, все значения  $\frac{K_p}{T_i}$  и  $K_p$ , лежащие на этой кривой, обеспечивают определенную степень затухания (в данном случае  $\psi = \psi_{\text{зад}} = 0,85$ ) [19].

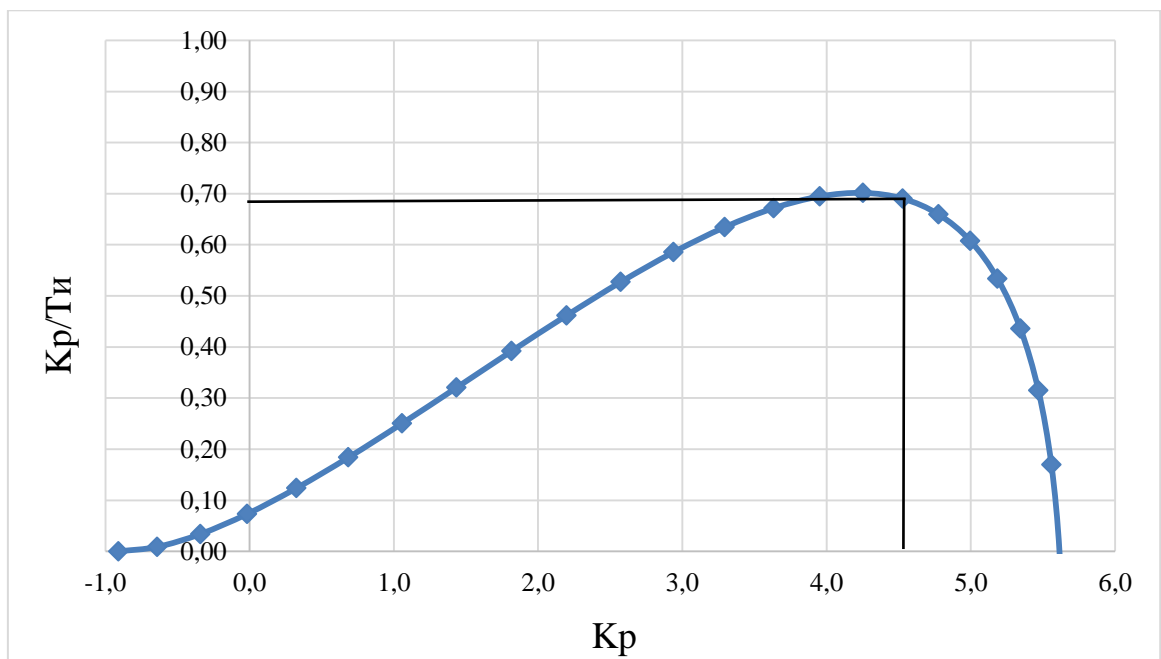


Рисунок 7 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

### 9.3 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора

Поиск оптимальных параметров настройки регулятора осуществляется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования, представленной на рисунке 8, до достижения экстремума принятого критерия

качества. В задании на курсовую работу в качестве принятого критерия качества указан второй интегральный критерий.

Для апериодических и колебательных переходных процессов целесообразно применять интегральную оценку типа:

$$I_2 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt. \quad (13)$$

Используя данные из таблицы 5 и рисунка 8, определяем соответствующие параметры настройки:

$$K_p = 4,25 \text{ и } \max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,7. \quad (14)$$

Резонансная частота замкнутой системы  $\omega_{рез} = 0,3 \text{ с}^{-1}$ .

В соответствии с заданным критерием качества работы системы оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора имеют значения:

$$\frac{K_p}{T_u} \cdot 0,9 = 0,7 \cdot 0,95 = 0,66; \quad K_p = 4,78; \quad (15)$$

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{4,78}{0,66} = 7,24 \text{ с}. \quad (16)$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 4,78 \cdot \left(1 + \frac{1}{7,24 \cdot P}\right). \quad (17)$$

#### 9.4 Расчёт, построение и оценка качества переходных процессов в замкнутой АСР при возмущении $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия

Запишем передаточную функцию:

$$W_{S-y} = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)} = \frac{\frac{1,1 \cdot e^{-3 \cdot P}}{20 \cdot P + 1} \cdot 4,78 \cdot \left(1 + \frac{1}{7,24 \cdot P}\right)}{1 + \frac{1,1 \cdot e^{-3 \cdot P}}{20 \cdot P + 1} \cdot 4,78 \cdot \left(1 + \frac{1}{7,24 \cdot P}\right)}, \quad (18)$$

где  $W_{об}(P)$  — передаточная функция объекта;  $W_p(P)$  — передаточная функция регулятора.

Используя программу Mathcad и предварительно задав диапазон изменения частоты  $\omega = 0 \dots 0,9 \text{ с}^{-1}$  с шагом  $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$ , рассчитываем вещественную частотную характеристику замкнутой системы.

В таблице 11 приведены результаты расчета ВЧХ замкнутой системы по каналу задающего воздействия.

Таблица 11 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы по каналу задающего воздействия

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$
0,00	1,00	0,32	-0,37	0,62	-0,52
0,02	1,01	0,34	-0,95	0,64	-0,45
0,04	1,03	0,36	-1,43	0,66	-0,39
0,06	1,07	0,38	-1,70	0,68	-0,34
0,08	1,11	0,40	-1,79	0,70	-0,29
0,10	1,16	0,42	-1,74	0,72	-0,25
0,12	1,21	0,44	-1,61	0,74	-0,21
0,14	1,26	0,46	-1,46	0,76	-0,18
0,16	1,29	0,48	-1,30	0,78	-0,15
0,18	1,32	0,50	-1,15	0,80	-0,12
0,20	1,31	0,52	-1,01	0,82	-0,09
0,22	1,27	0,54	-0,88	0,84	-0,07
0,24	1,16	0,56	-0,77	0,86	-0,05
0,26	0,97	0,58	-0,68	0,88	-0,03
0,28	0,65	0,60	-0,59	0,90	-0,01

По данным таблицы 7 построим график вещественной частотной характеристики (рисунок 10):

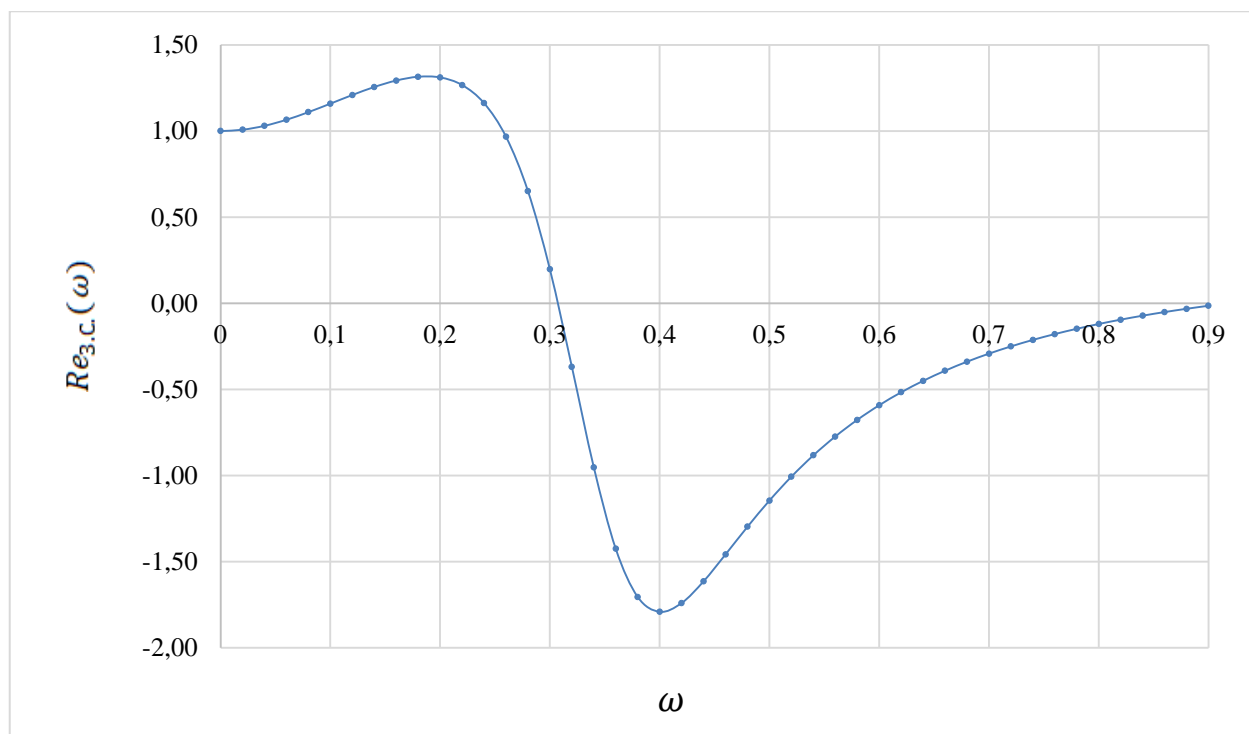


Рисунок 8 – График ВЧХ замкнутой системы по каналу задания

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитываем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_{с.з.}} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega, \quad (19)$$

где  $\omega_{с.з.} = 0,31 \text{ с}^{-1}$  — частота среза, при которой график  $Re(\omega)$  стремится к 0, данная частота определена графическим способом из рисунка 10.

Задав диапазон изменения времени переходного процесса  $t = 0 \dots 160 \text{ с}$ , с шагом  $\Delta t = 5 \text{ с}$ , рассчитываем переходный процесс в замкнутой АСР. Результаты расчета представим в таблицу 8. По полученным данным построим

Таблица 12 – Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)
0	0,00	16	1,05	31	1,07	46	1,01
1	0,00	17	0,93	32	1,06	47	1,013
2	0,00	18	0,85	33	1,03	48	1,013
3	0,00	19	0,80	34	1,01	49	1,013
4	0,27	20	0,78	35	0,99	50	1,009
5	0,57	21	0,79	36	0,98	51	1,006
6	0,89	22	0,83	37	0,97	52	1,004
7	1,19	23	0,88	38	0,97	53	1
8	1,43	24	0,93	39	0,97	54	0,998
9	1,59	25	0,99	40	0,97	55	0,996
10	1,67	26	1,03	41	0,98	56	0,995
11	1,67	27	1,06	42	0,99	57	0,995
12	1,60	28	1,08	43	0,99	58	0,994
13	1,48	29	1,09	44	1,00	59	0,996
14	1,34	30	1,09	45	1,01	60	1
15	1,19	16	1,05	31	1,07	-	-



На рисунке 11 представлен результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия.

Используя данные таблицы 8 и рисунок 9, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР [19].

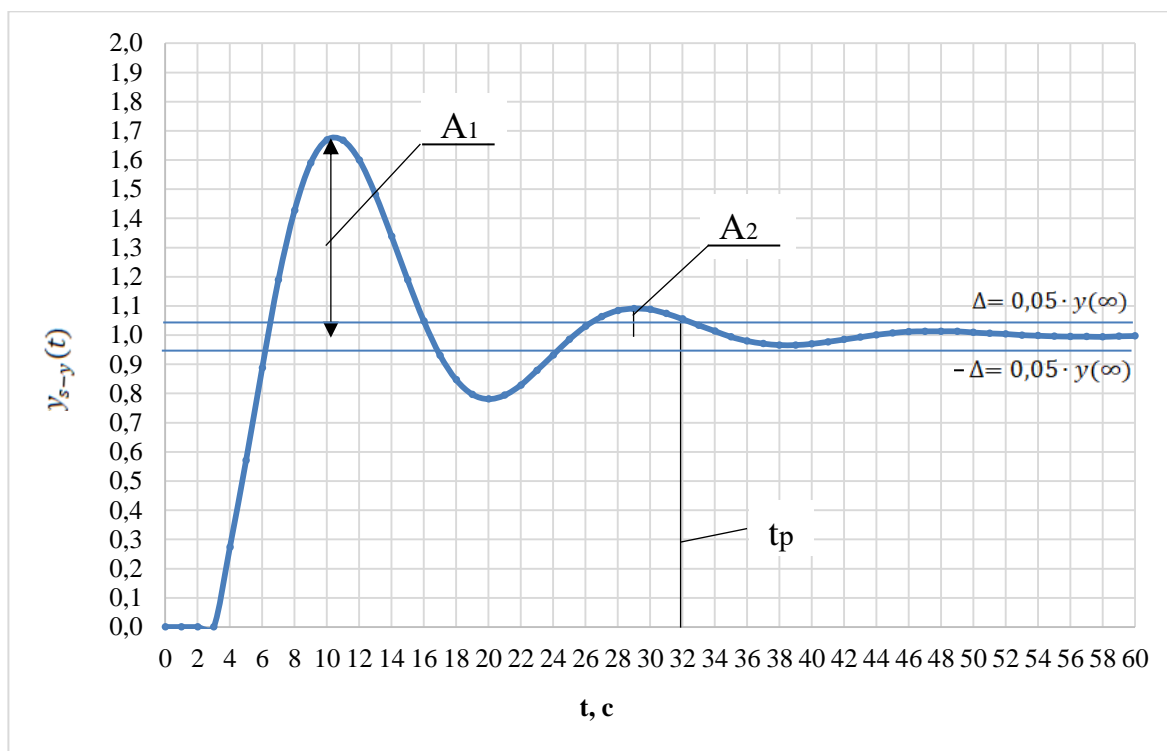


Рисунок 9 – Результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Под качеством регулирования понимают совокупность показателей или критериев, позволяющих оценить характер отклонения регулируемой величины под действием изменяющихся возмущений и судить о том, насколько система удовлетворяет поставленным требованиям при заданных конкретных ограничениях.

Прямые оценки качества:

1. Динамическая ошибка:  $A_1 = 0,67$ .
  2. Перерегулирование:  $\sigma = \frac{A_1 \cdot 100}{y(\infty)} = \frac{0,67 \cdot 100}{1} = 67 \%$ .
  3. Статическая ошибка:  $\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0$ ,
- где  $S$  – величина сигнала задания.

$$4. \quad \text{Степень затухания: } \Psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,67 - 0,09}{0,67} = 0,866,$$

где  $A_2$  – вторая амплитуда колебаний.

$$5. \quad \text{Время регулирования } t_p = 32 \text{ с.}$$

9.5 Переходный процесс при возмущении  $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия

Для одноконтурной системы регулирования, приведенной на рисунке 7, определим передаточную функцию замкнутой АСР по каналу  $f$ -у:

$$W_{f-y}(P) = \frac{W_{o\delta}(P)}{1 + W_{o\delta}(P) \cdot W_p(P)} = \frac{\frac{1,1 \cdot e^{-3 \cdot P}}{20 \cdot P + 1}}{1 + \frac{1,1 \cdot e^{-3 \cdot P}}{20 \cdot P + 1} \cdot 4,78 \cdot \left(1 + \frac{1}{7,24 \cdot P}\right)}. \quad (20)$$

Рассчитаем ВЧХ замкнутой АСР с помощью Mathcad в диапазоне частот  $\omega = 0,001 \dots 0,32 \text{ с}^{-1}$  и с шагом  $\Delta\omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ , результаты представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчета ВЧХ системы по каналу регулирующего воздействия

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$
0,001	0,000	0,136	-0,363	0,271	-0,057
0,010	0,021	0,145	-0,398	0,280	-0,046
0,019	0,072	0,154	-0,392	0,289	-0,035
0,028	0,143	0,163	-0,366	0,298	-0,025
0,037	0,221	0,172	-0,331	0,307	-0,017
0,046	0,298	0,181	-0,293	0,316	-0,009
0,055	0,367	0,190	-0,257	-	-
0,064	0,420	0,199	-0,224	-	-
0,073	0,449	0,208	-0,194	-	-
0,082	0,443	0,217	-0,167	-	-
0,091	0,385	0,226	-0,143	-	-
0,100	0,264	0,235	-0,121	-	-
0,109	0,086	0,244	-0,103	-	-
0,118	-0,109	0,253	-0,086	-	-
0,127	-0,269	0,262	-0,071	-	-

На рисунке 10 представлен график ВЧХ замкнутой системы при возмущении  $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия.

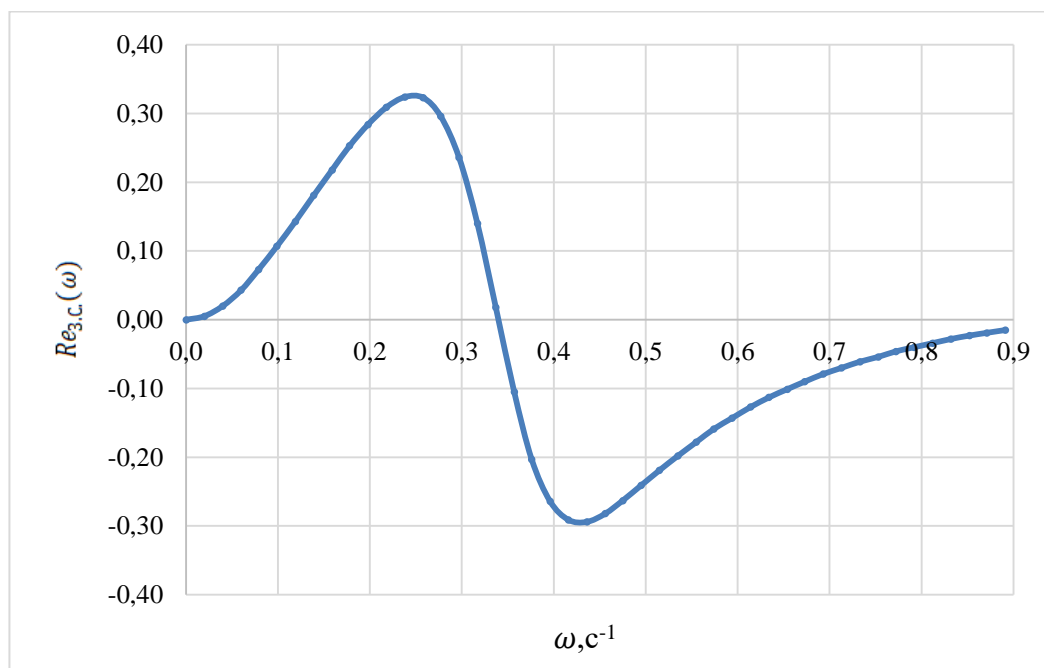


Рисунок 10 – График ВЧХ замкнутой системы при возмущении  $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия

Переходный процесс по каналу регулирующего воздействия рассчитаем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_{\text{с.з.}}} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \quad (21)$$

где  $\omega_{\text{с.з.}} = 0,32 \text{ с}^{-1}$  — частота среза, определяемая из графика ВЧХ.

Задав диапазон изменения времени переходного процесса  $t = 0 \dots 450 \text{ с}$  и шаг  $\Delta t = 10 \text{ с}$ , рассчитываем переходный процесс АСР по каналу регулирующего воздействия.

Результаты представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты расчета переходного процесса АСР при возмущении  $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия

t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)
0,00	0,00	16,00	-0,01	31,00	0,01	46,00	0,00
1,00	-0,01	17,00	-0,03	32,00	0,01	47,00	0,00
2,00	0,00	18,00	-0,04	33,00	0,00	48,00	0,00

Продолжение таблицы 14

t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)
3,00	0,02	19,00	-0,05	34,00	0,00	49,00	0,00
4,00	0,05	20,00	-0,04	35,00	0,00	50,00	0,00
5,00	0,10	21,00	-0,04	36,00	-0,01	51,00	0,00
6,00	0,15	22,00	-0,02	37,00	-0,01	52,00	0,00
7,00	0,19	23,00	-0,01	38,00	-0,01	53,00	0,00
8,00	0,22	24,00	0,00	39,00	-0,01	54,00	0,00
9,00	0,22	25,00	0,01	40,00	-0,01	55,00	0,00
10,00	0,21	26,00	0,02	41,00	0,00	56,00	0,00
11,00	0,18	27,00	0,02	42,00	0,00	57,00	0,00
12,00	0,14	28,00	0,02	43,00	0,00	58,00	0,00
13,00	0,10	29,00	0,02	44,00	0,00	59,00	0,00
14,00	0,06	30,00	0,02	45,00	0,00	60,00	0,00
15,00	0,02	16,00	-0,01	31,00	0,01	-	-

По результатам расчёта построим график переходного процесса системы по каналу возмущения. Полученный график представлен на рисунке 11.

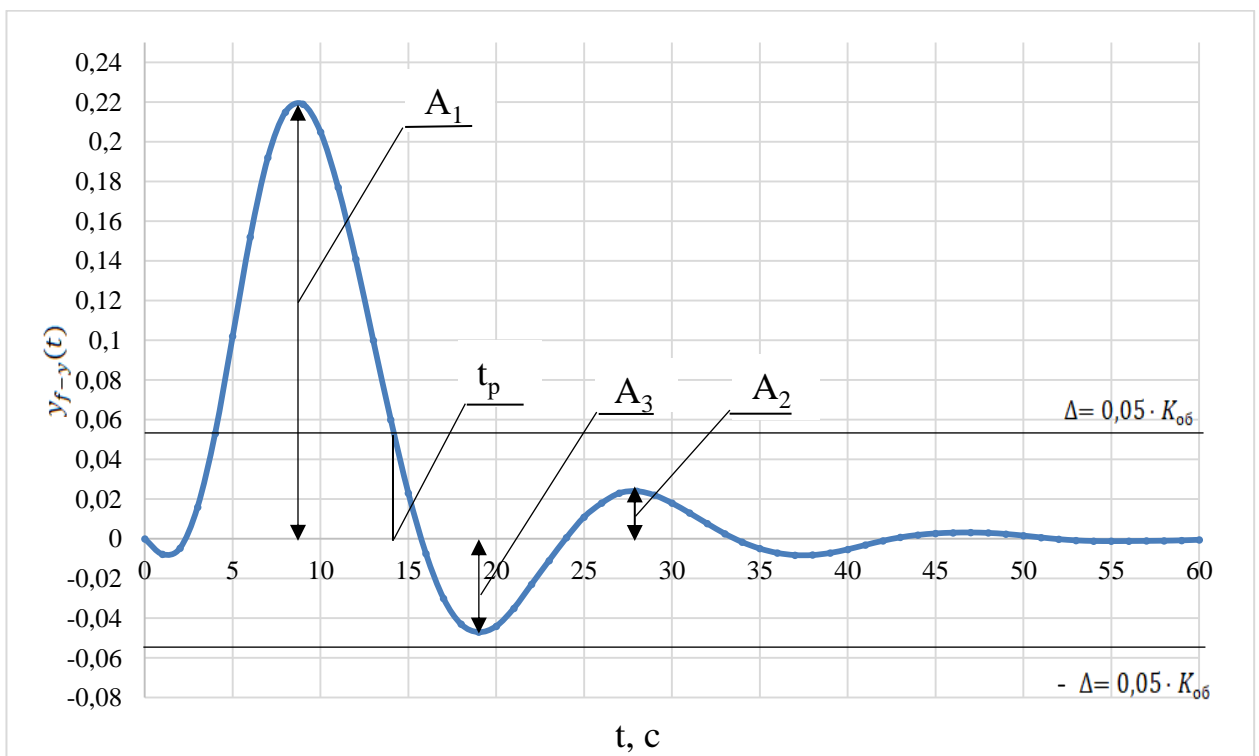


Рисунок 11 – График переходного процесса в АСР при возмущении  $f$ , идущем по каналу регулирующего воздействия

Используя данные таблицы 10 и рисунка 11, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия  $f - y$ .

Прямые оценки качества:

1. Динамическая ошибка:  $A_1 = 0,22$ .
2. Перерегулирование:  $\sigma = \frac{A_2 \cdot 100\%}{A_1} = \frac{0,02 \cdot 100\%}{0,22} = 9 \%$ .
3. Статическая ошибка:  $\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0$ .
4. Степень затухания:  $\Psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = \frac{0,22 - 0,04}{0,22} = 0,85$ .
5. Время регулирования:  $t_p = 14$  с, при величине  $\delta = 0,05 \cdot K_{об} = 0,55$ .
6. Динамический коэффициент регулирования:  $R_D = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100\% = \frac{0,22 + 0}{1,1} \cdot 100\% = 20 \%$ .

где  $K_{об} = 1,1$  — коэффициент передачи объекта.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б7В	Готову Максиму Ивановичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение (НОЦ)</b>	И.Н. Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСР процесса горения композиционного жидкого топлива в топке парового котла	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: паровой котел, питающийся жидким композиционным топливом. Область применения: выработка пара на ТЭС.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	Отражены правовые нормы: – ГОСТ 12.0.004-2015; – ТК РФ N 197-ФЗ; – ГОСТ 22269-76.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Выявлены вредные факторы: – электромагнитное излучение; – повышенный уровень шума; – повышенная запыленность и загазованность; – повышенная концентрация СО в помещении. Выявлены опасные факторы: – поражение электрическим током; – тепловое воздействие; – механическое воздействие.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие на атмосферный воздух (выбросы CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> при работе оборудования).

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– взрывы резервуаров;</li> <li>– возгорание угольной пыли.</li> <li>– разрыв трубопровода.</li> </ul> <p>Наиболее типичные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– возгорание угольной пыли.</li> </ul>
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Готов Максим Иванович		

## 10 Социальная ответственность

В выпускной квалификационной работе разработана автоматическая система регулирования процесса горения композиционного жидкого топлива в топке парового котла марки Еп-670-13,8-545 КДТ (ТПЕ-214/А), которая позволит упростить работу оперативного персонала.

Одним из перспективных направлений снижения экологической опасности при сжигании угля и технико-экономических проблем вовлечения низкокачественных углей и отходов углеобогащения в топливно-энергетический комплекс является внедрение на тепловых электрических станциях водоугольных [20, 21] и органоводоугольных [22–24] технологий. Эти технологии предполагают сжигание композиционных топлив вместо угля. Такие топлива, как правило, состоят из трех основных компонентов [22–26]: низкокачественного угля или отхода углеобогащения 40–50 %, воды 30–40 % и отработанной горючей жидкости 5–20 %.

Процесс сжигания композиционного топлива характеризуется повышенными экологическими и экономическими показателями по сравнению с процессом сжигания твердого натурального топлива [25, 26]. Поэтому данная технология является актуальной в области теплоэнергетики.

Вредные факторы: электромагнитное излучение, повышенный уровень шума, повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенная концентрация СО в помещении.

Опасные факторы: поражение электрическим током, тепловое воздействие, механическое воздействие.

### 10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

#### 10.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства

Согласно [27,28] работник имеет право на:

– рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;



- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;
- защиту своих трудовых прав, свобод и законных интересов всеми не запрещенными законом способами;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами;
- обеспечение средствами индивидуальной защиты и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

К работе инженером-оператором АСУ допускаются лица не моложе 18 лет, соответствующей квалификации, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие медицинское освидетельствование в соответствии с приказом [29], прошедшие проверку знаний требований безопасности труда в установленном порядке и получившие допуск к самостоятельной работе. Инженер-оператор АСУ должен иметь соответствующую группу по электробезопасности – III группа [30].

III группа по электробезопасности позволяет работнику производить отключения, переключения, выключения электрооборудования, выполнять работы в порядке текущей эксплуатации, наблюдать за безопасностью других членов бригады [30].

Инженер-оператор АСУ должен проходить обучение по охране труда в виде: вводного инструктажа, первичного инструктажа на рабочем месте и специального обучения в объеме программы подготовки по профессии [30].

## 10.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно [31] общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя:

1) конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы [31];

2) рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда [31].

Требования к взаимному расположению элементов рабочего места: пульта управления, средств отображения информации, органов управления, кресла, вспомогательного оборудования установленные в [32].

## 10.2 Производственная безопасность

### 10.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для проведения анализа вредных и опасных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации АСР составлена таблица 15 в соответствии с классификацией, указанной в [33].

Таблица 15 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу тация	
1. Электромагнитное излучение	+			Параметры уровня электромагнитного излучения устанавливаются ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ [34].
2. Повышенный уровень шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [35].
3. Повышенная запыленность и загазованность	+		+	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [36].
4. Повышенная концентрация СО в помещении	+		+	

Продолжение таблицы 15

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [37].
6. Тепловое воздействие		+	+	ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий [38].
7. Механическое воздействие		+	+	ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация [39].

1) Электромагнитное излучение

Так как трудовая деятельность оператора АСУ ТП, в частности, связана с работой за персональным компьютером, то на него оказывается воздействие электромагнитного излучения.

Источниками электромагнитного излучения являются все элементы персонального компьютера. Электромагнитные излучения негативно влияют на нервную, эндокринную и сердечно-сосудистую системы. Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПВМ представлены в таблице 16, согласно СанПиН 1.2.3685-21 [40].

Таблица 16 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

2) Повышенный уровень шума

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во много обусловленная индивидуальными особенностями человека [41].

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести в дБА [42]

Категория напряженности трудоого процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

### 3) Повышенная запыленность и загазованность

На котельных, которые используют уголь в виде топлива, есть вероятность возникновения утечек токсичных веществ внутри и снаружи помещения. В случае появления угольной пыли в воздухе здоровью персонала может быть нанесен серьезный ущерб.

Величина предельно допустимой концентрации угольной пыли в воздухе рабочей зоны нормируется ГОСТ 12.1.005-88 и представлено в таблице 18 [43].

Снижение влияния фактора можно осуществить при мониторинге технологического оборудования на наличие утечек для их незамедлительного устранения. Широкое распространение в системах контроля загазованности и запыленности получили датчики, определяющие концентрацию вредных веществ в помещении. При этом, такие датчики оснащаются средствами сигнализации для оповещения персонала.

Таблица 18 – Предельно допустимые концентрации угольной пыли в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Углерода пыли: а) коксы каменно-угольный, пековый, нефтяной, сланцевый	6	а	IV	Ф
б) антрацит с содержанием свободного диоксида кремния до 5 %	6	а	IV	Ф
в) другие ископаемые угли и углепородные пыли с содержанием свободного диоксида кремния: до 5 % от 5 % до 10 %				
	10	а	IV	Ф
	4	а	III	Ф

Для уменьшения запыленности и загазованности в помещении устанавливается вытяжная система. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно.

#### 4) Повышенная концентрация СО в помещении

В топке котла при сжигании топлива происходит неполное сгорание. Недостаточная плотность соприкосновении стальных конструкций дымохода ведет к утечке СО в производственное помещение. Повышенная концентрация СО препятствует доставке кислорода в кровотоке, из-за этого страдает весь организм.

Таблица 19 – Предельно-допустимая концентрация СО в воздухе рабочей зоны [40]

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Особенности действия на организм
Оксид углерода	СО	20	О
При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч предельно допустимая концентрация оксида углерода может быть повышена до 50 мг/м <sup>3</sup> , при длительности работы не более 30 мин - до 100 мг/м <sup>3</sup> , при длительности работы не более 15 мин - 200 мг/м <sup>3</sup> . Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее, чем в 2 ч.			

Одним из самых известных методов по снижению концентрации в производственных помещениях углекислого газа является метод рециркуляции.

Еще один метод подразумевает использование дополнительного оборудования – продувочных вентиляторов.

#### 5) Поражение электрическим током

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 [44]. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 20 [45].

Таблица 20 – Значения напряжений прикосновений и токов [44]

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

#### б) Тепловое воздействие

Во время работы с котлоагрегатом некоторые части оборудования сильно нагреваются. Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам.

Кроме того, для защиты от высоких температур при проведении профилактических мероприятий в непосредственной близости от котлоагрегата персоналу выдается специальная экипировка. Последствиями контакта с высоко нагретыми поверхностями являются ожоги.

#### 7) Механическое воздействие

Существует опасность получения травмы подвижными элементами модуля линейного перемещения.

Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются:

- при эксплуатации модуля необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами;

- запрещается эксплуатация модуля при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов. Продолжать работу разрешается только после устранения причин неисправностей специалистами;

- при эксплуатации необходимо следить за чистотой всех механизмов модуля и двигателя, периодически очищать их от пыли и грязи. Обтирочные материалы, которыми очищается модуль, не должны оставлять следов и ворса на протираемых поверхностях.

### 10.3.1 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

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

При повышенном уровне шума в качестве индивидуальных средств защиты применяют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются: изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним, установки защитного заземления, наличие общего рубильника, своевременный осмотры технического оборудования, изоляции.

### 10.3 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации парового котла происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара.

#### Защита атмосферы

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 чистка.

#### 10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Существует ряд возможных чрезвычайных ситуаций:

- взрывы резервуаров;
- разрыв трубопровода;
- возгорание угольной пыли.

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

При использовании жидкого и твердого топлива контролировать состояние:

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

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

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

Действия оператора:

В соответствии с «Правилами безопасности в газовом хозяйстве» (ст. 3.7.8), в случаях загорания горючих отложений в газоходах, оператор должен



немедленно прекратить подачу газа на установку и произвести её аварийную остановку:

1. Немедленно прекратить подачу топлива и воздуха в топку; и снизить до нуля тягу, для этого:

1.1. Остановить вентилятор и дымосос;

1.2. Закрывать шиберы за котлом, направляющие аппараты дымососа и вентилятора;

2. Подать пар в топку и газоход котла через обдувочные устройства и (или) через форсунки;

3. Отключить котёл от паропровода;

4. После прекращения горения в газоходе котла включить в работу дымосос и вентилятор;

5. После выхода пара из газоходов провентилировать котёл в течение 15 минут при полностью открытых направляющих аппаратах вентилятора и дымососа;

6. В случае последующего включения котла в работу, растопить его и работать при малых нагрузках, создать в газоходах повышенное разрежение и тщательно обдуть конвективные поверхности, экономайзер и газоходы котла.

### Вывод по разделу

В ходе 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.

Раздел направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий, как на окружающую среду, так и на производственный персонал, а также способы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций и порядок действий при их возникновении.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б7В	Глотову Максиму Ивановичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И.Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 165 000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 123 000 руб; затраты на оборудование – 4520 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2 %.

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование научно-исследовательских работ; Определение трудоемкости работ; Построение диаграммы Ганта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительная оценка характеристик проекта; Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

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

1. Многоугольник конкурентоспособности;
2. Матрица SWOT;
3. Диаграмма Ганта.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Б7В	Глотов Максим Иванович		

## 11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### Введение

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности разработанной автоматической системы регулирования процесса горения композиционного жидкого топлива в топке парового котла с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- определение потенциальных потребителей исследования;
- анализ конкурентов;
- определение структуры работ, сколько времени и финансовых средств необходимо для достижения поставленной цели;
- определение ресурсоэффективности исследования.

11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### 11.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В связи с тем, что разрабатываемая АСР рассчитана на конкретные параметры парового котла марки «Еп-670-13,8-545 КДТ (ТПЕ-214/А)» от «Таганрогского котельного завода» в данном случае потенциальным потребителем такой разработки является энергетическая промышленность. А именно, тепловые электростанции, имеющие в составе энергоблоки, параметры которых, соответствуют параметрам разрабатываемой системы. Данный энергоблок Паровой котел однокорпусный, барабанный с естественной циркуляцией, выполнен по П-образной схеме компоновки, при сжигании твердого топлива шлакоудаление может быть твердое или жидкое. Такие энергоблоки имеются в составе Добротворской ГРЭС и др.

### 11.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [46].

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, обеспечивающие автоматическое регулирование горения топлива.

#### 1) Регулирование расхода топлива по соотношению топливо-воздух

Данный способ использует пропорциональную прямую зависимость, установленную в ходе испытания расхода топлива и расхода воздуха для обеспечения полноты сгорания топлива. Изменения расхода воздуха можно определить достаточно точно, а изменения расхода твердого топлива данным методом не удастся определить с наилучшей точностью, что является проблемой. Так как расход твердого топлива определяют по положению регулирующего органа, которая дает понятие только о частоте вращения питателя, но никак не о расходе пыли [16].

#### 2) Регулирование расхода топлива по соотношению топливо-воздух с коррекцией по $O_2$ и $CO$

В этом варианте регулятор питания является регулятором расхода воздуха, а регулятор топлива – ведомым регулятором. Для регулятора топлива сигналом задания служит импульс по скорости вращения исполнительного механизма, а сигналом отрицательной обратной связи – импульс по содержанию  $O_2$  и  $CO$  в уходящих газах [16].

#### 3) Регулирование расхода топлива по импульсу тепла

При таком варианте регулирования расхода топлива может служить количества тепла, выделившегося в топке. Регулятор топлива получающий задание расхода от корректирующего регулятора. На вход регулятора топлива в качестве отрицательной обратной связи поступает импульс «по теплу» [16].

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 1. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 21 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Динамическая точность	0,2	2	4	4	0,4	0,8	0,8
2. Простота эксплуатации	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
3. Надежность	0,15	3	5	4	0,45	0,75	0,6
4. Качество регулирования	0,2	2	5	5	0,4	1	1
5. Простота наладки	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
3. Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>26</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>3,0</b>	<b>4,3</b>	<b>4,1</b>

На рисунке 12 наглядно представлены преимущества и недостатки предложенного и существующих методов автоматического регулирования нагрузки парового котла.

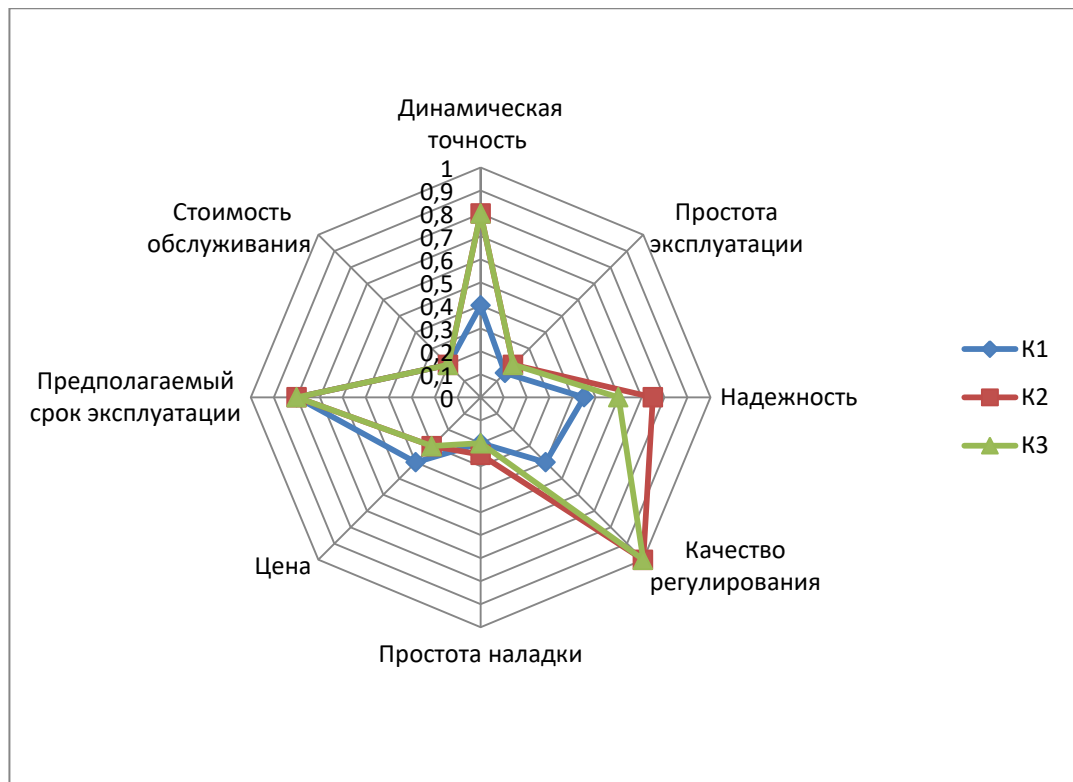


Рисунок 12 – Многоугольник конкурентоспособности

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (22)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,05 \cdot 4 + \\ + 0,1 \cdot 4 + 0,02 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 3,0.$$

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что разработки под номерами 2 и 3 являются наиболее конкурентоспособными и выгодными. Такие разработки проще в наладке и эксплуатации, обеспечивают большее качество регулирования и динамическую точность в отличие от варианта под номером 1.

В данной работе используется разработка под номером 2. Далее будет рассматриваться только эта разработка.

### 11.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта [46].

В данном разделе проведем SWOT-анализ выбранного проектного решения. Для этого необходимо описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта, которые появились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 22.

Таблиц 22 – Матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1.Ориентированность системы на уменьшение выбросов с предприятия. С2.Использование современных компонентов системы. С3. Использование твердых бытовых отходов в качестве топлива. С4. Более низкая стоимость по сравнению с другими технологиями. С5.Высокая надежность системы.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1.Требуются контроллеры, предназначенные для систем средней степени сложности. Сл2. Сложность монтажа. Сл3. Необходимость в подготовке топлива к сжиганию. Сл4. Привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации. Сл5.Потребность в высококвалифицированном персонале.
<b>Возможности:</b> В1.Повышение спроса на продукт. В2.Ужесточение требований к выбросам загрязняющих веществ. В3. Повышение цен на иные топливные ресурсы, не используемые для данного объекта. В4.Повышение стоимости конкурентных разработок. В5.Понижение стоимости на компоненты системы.	Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности». 1. Повышение спроса на продукт из-за применения надежного, современного оборудования. 2. Повышение спроса на продукт из-за применения экологичной технологии. 3. Снижение затрат предприятия за счет применения более дешевого топлива.	Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности». 1. Повышение спроса на продукт приведет к повышению потребности в высококвалифицированном персонале.



Продолжение таблицы 22

<p><b>Угрозы:</b>          У1.Отсутствие спроса на продукт.          У2.Повышение стоимости на компоненты системы.          У3.Введение государственных требований на использование отечественных компонентов системы.          У4.Появление новых проектных решений.          У5. Повышение стоимости используемого топлива.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы».</p> <p>1. В связи с ориентированностью системы на один вид топлива и необходимостью подготовки топлива, повышение стоимости используемого топлива приведет к снижению спроса.</p> <p>2. При использовании современных компонентов системы, повышение стоимости на компоненты системы приведет к удорожанию системы в целом.</p> <p>3. Появление новых универсальных систем, ориентированных автономное сжигание твердых бытовых отходов.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы».</p> <p>1. Появление новых проектных решений, упрощающий монтаж установки.</p> <p>2. Требуемые контроллеры выпускаются зарубежными производителями и введение государственных требований на использование отечественных компонентов, может привести к изменению компонентов системы в целом и повышению стоимости на продукт.</p>
---	--	---

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

Основным достоинством такой системы является ориентированность на снижение выбросов, который в будущем будет активно использовать в России также как и за рубежом. Система включает в себя современные компоненты, использует надежные ПЛК и обладает соответствующей точностью.

У системы также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с привязкой системы на конкретный вид топлива потребность в высококвалифицированном персонале способным обеспечить обслуживание данной системы. Выявленные недостатки возможно устранить путем проведения дальнейшей модернизации системы с использованием новых технологий.

## 11.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 11.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Выбор направления исследования	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель темы
Теоретические исследования	5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель
	6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель темы
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель темы
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель
	10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель
	11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР	12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель

#### 14.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном разделе определена трудоемкость работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула [46]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (23)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [46].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (24)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [46]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (25)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [46]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (26)$$

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

Количество календарных дней в 2021 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней.

Коэффициент календарности равен [46]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48 \approx 2.$$

В таблице 24 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 24 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	$t_{\text{min}}$ , чел.-дни		$t_{\text{max}}$ , чел.-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел.-дни		$T_{\text{pi}}$		$T_{\text{ki}}$	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10
Выбор направления исследования	-	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4
Календарное планирование работ по теме	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Поиск и анализ существующих проектных решений	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6

Продолжение таблицы 24

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	$t_{min}$ , чел.-дни		$t_{max}$ , чел.-дни		$t_{ожі}$ , чел.-дни		$T_{pi}$		$T_{ki}$	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Оценка эффективности полученных результатов	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Определение целесообразности проведения ОКР	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	-	22	-	24	-	22,8	-	23	-	46
Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Составление пояснительной записки ВКР	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10

Пример расчета для первой строки:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. - дн.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 2 \text{ дня.}$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ дня.}$$

11.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе построен ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [46].

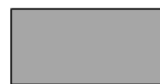
Календарный план-график построен на основе таблицы 4 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 25 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.												
				февраль		март			апрель			май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	10		■										
3	Выбор направления исследования	Исполнитель	4			■									
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	4				■								
5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель	6				■								
6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель	6					■							
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	4						■						
8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	4							■					
9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель	46												
10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель	6												■
11	Оценка коммерческого потенциала, <u>ресурсоэффективности</u> , <u>ресурсосбережения</u>	Исполнитель	6												■
12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель	10												■



- Руководитель



- Исполнитель

### 11.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

#### 11.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме [46]. Затраты на оборудование приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер	1	45 000	45 000
Итого			45 000

Затраты на амортизации используемого ПК, руб./год рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.пк}} \cdot C_{\text{пк}}}{T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{сл}}}, \quad (27)$$

где  $T_{\text{исп.пк}}$  – время использования ПК;  $C_{\text{пк}}$  – цена ПК;  $T_{\text{кал}}$  – календарное время;  $T_{\text{сл}}$  – срок службы ПК.

$$K_{\text{ам}} = \frac{110 \cdot 45000}{365 \cdot 3} = 4520 \text{ руб./год.}$$

#### 11.3.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [46].



Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [46]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (28)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, исполнителя) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [46]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (29)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [46]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (30)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня  $M=11,1$  месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная рабочая неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн. (таблица 27).

Таблица 27 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	66	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Месячный должностной оклад работника [46]:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (31)$$

где  $Z_{\text{ТС}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от  $Z_{\text{ТС}}$ );  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2 (т.е. 15-20 % от  $Z_{\text{ТС}}$ );  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад руководителя и и:

$$Z_{\text{М}}^{\text{рук}} = Z_{\text{ТС}}^{\text{рук}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{М}}^{\text{инж}} = Z_{\text{ТС}}^{\text{инж}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 30160 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{\text{дн}}^{\text{рук}} = \frac{Z_{\text{М}}^{\text{рук}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{58500 \cdot 10,1}{243} = 2431,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{дн}}^{\text{инж}} = \frac{Z_{\text{М}}^{\text{инж}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{30160 \cdot 11,07}{219} = 1524,5 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} = Z_{\text{дн}}^{\text{рук}} \cdot T_{\text{р}} = 2431,5 \cdot 8 = 19452 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = Z_{\text{дн}}^{\text{инж}} \cdot T_{\text{р}} = 1524,5 \cdot 47 = 71651,5 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 28.

Таблица 28 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{М}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2431,5	8	19452
Исполнитель	16000	0,3	0,15	1,3	30160	1524,5	47	71651,5
Итого $Z_{\text{осн}}$								91103,5

### 11.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [46].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [46]:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (32)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

$$З_{\text{доп}}^{\text{рук}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}^{\text{рук}} = 0,12 \cdot 19452 = 2334,2 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{доп}}^{\text{инж}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 0,12 \cdot 71651,5 = 8598,2 \text{ руб.}$$

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

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [46].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [46]:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (33)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и исполнителя:

$$З_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}}^{\text{рук}} + З_{\text{доп}}^{\text{рук}}) = 0,302 \cdot (19452 + 2334,2) = 6535,9 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}}^{\text{инж}} + З_{\text{доп}}^{\text{инж}}) = 0,302 \cdot (71651,5 + 8598,2) = 24074,9 \text{ руб.}$$

#### 11.3.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуги, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [46].

В данном случае к ним относятся печатные услуги, включающие в себя печать листов различного формата, в том числе чертежей, и брошюровка.

$$З_{\text{конр}} = 800 \text{ руб.}$$

### 11.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [46]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (34)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 % [46].

Величина накладных расходов:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + A) \cdot k_{\text{нр}} = \\ &= 91103,5 + 10932,4 + 30610,8 + 800 + 2411) \cdot 0,16 = 21737,2 \text{ руб.} \end{aligned}$$

### 11.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 29.

Таблица 29 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Амортизационные отчисления	2411	Пункт 3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91103,5	Пункт 3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10932,4	Пункт 3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30610,8	Пункт 3.4
5. Услуги сторонних организаций	800	Пункт 3.5
6. Накладные расходы	21737,2	Пункт 3.6
7. Бюджет затрат НИИ		157594,9 руб.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в

качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [46].

11.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

11.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом [46]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (35)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент;  $b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для проведения сравнительной оценки рассмотрим три варианта реализации автоматической системы регулирования, в каждой из которых используется разная схема регулирования паровой нагрузки котла:

- Регулирование расхода топлива по соотношению топливо-воздух – исп. 1;
- Регулирование расхода топлива по соотношению топливо-воздух с коррекцией по  $O_2$  и  $CO$  - исп. 2;
- Регулирование расхода топлива по импульсу тепла – исп. 3.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 30.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 2,9,$$

$$I_{p2} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,55,$$

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

Показатель ресурсоэффективности для 2 варианта исполнения проекта равен 4,55 из 5, что говорит об эффективности использования ресурсов. Для 1 и 3 вариантов исполнения используется меньшее количество оборудования,

но точность и качество регулирования таких систем выше, кроме того обслуживать их также проще.

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,05	3	5	4
2. Динамическая точность системы	0,2	2	4	4
3. Удобство в эксплуатации	0,05	3	4	4
4. Надежность	0,2	3	5	4
5. Качество регулирования	0,2	2	5	5
6. Простота наладки	0,1	4	5	4
7. Срок эксплуатации	0,2	4	4	4
ИТОГО	1	2,9	4,55	4,2

#### Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка коммерческой ценности проекта.

В первой части проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Определены потенциальные потребители данного проекта, проведен анализ конкурентных технических решений. С помощью SWOT-анализа выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Во второй части определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

В третьей части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной

заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В четвертой части определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели.

Анализируя полученные результаты можно оценить, сколько финансовых средств и времени потребуется на реализацию данного проекта и о том насколько проект будет востребован на рынке.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была рассмотрена конструкция котла марки Еп-670-13,8-545 КДТ и определены требуемые параметры объекта автоматизации для разработки системы автоматического регулирования процесса горения композиционного жидкого топлива в топке парового котла.

Разработанная схема регулирования процесса горения предназначена для поддержания процесса горения, путем регулирования расхода воздуха в топку котла, подачи топлива, работы дымососа.

Пояснительная записка содержит описание выбора основного оборудования, этапы разработки конструкторской документации и расчет ПИ-регулятора для устройства управления системой. Также приведены такие разделы, как «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент».

В комплекте к пояснительной записке приведены графические материалы: структурная, функциональная, принципиальная электрическая и монтажная схемы; перечни элементов щитового оборудования и принципиальной электрической схемы; общий вид щита управления.



## Список используемой литературы

1. Минприроды России. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». Москва, 2019. 844 p.
2. Kaza S. et al. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 // What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank, 2018. 274 p.
3. Nyashina G.S., Legros J.C., Strizhak P.A. Environmental potential of using coal-processing waste as the primary and secondary fuel for energy providers // Energies. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2017. Vol. 10, № 3. P. 405.
4. Nyashina G.S., Kuznetsov G. V., Strizhak P.A. Energy efficiency and environmental aspects of the combustion of coal-water slurries with and without petrochemicals // J. Clean. Prod. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 172. P. 1730–1738.
5. Nyashina G.S., Legros J.C., Strizhak P.A. Environmental, economic and energetic benefits of using coal and oil processing waste instead of coal to produce the same amount of energy // Energy Convers. Manag. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 174. P. 175–187.
6. Glushkov D.O. et al. Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition // Fuel Process. Technol. 2016. Vol. 143. P. 60–68.
7. Glushkov D.O., Strizhak P.A. Ignition of composite liquid fuel droplets based on coal and oil processing waste by heated air flow // J. Clean. Prod. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 165. P. 1445–1461.
8. Glushkov D.O. et al. Environmental aspects of converting municipal solid waste into energy as part of composite fuels // J. Clean. Prod. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 201. P. 1029–1042.
9. Glushkov D.O. et al. Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation // J. Environ. Manage. Academic

Press, 2019. Vol. 231. P. 896–904.

10. Staroń A. et al. Impact of waste soot on properties of coal-water suspensions // *J. Clean. Prod.* Elsevier Ltd, 2016. Vol. 135. P. 457–467.

11. Staroń A. et al. Studies on CWL with glycerol for combustion process // *Environ. Sci. Pollut. Res.* Springer Verlag, 2019. Vol. 26, № 3. P. 2835–2844.

12. Park J.H. et al. Enhancement of slurryability and heating value of coal water slurry (CWS) by torrefaction treatment of low rank coal (LRC) // *Fuel.* Elsevier Ltd, 2017. Vol. 203. P. 607–617.

13. Zhao Z. et al. Energy utilization of coal-coking wastes via coal slurry preparation: The characteristics of slurring, combustion, and pollutant emission // *Energy.* Elsevier Ltd, 2019. Vol. 168. P. 609–618.

14. Mao H. et al. Process research of co-firing of herb residue with coal-water slurry // *Taiyangneng Xuebao/Acta Energiae Solaris Sin.* Science Press, 2016. Vol. 37, № 4. P. 979–984.

15. Glushkov D.O. et al. Conditions and characteristics of droplets breakup for industrial waste-derived fuel suspensions ignited in high-temperature air // *Fuel.* 2020. Vol. 265. P. 116915.

16. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.

17. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов): Справочное пособие для курсового и дипломного проектирования студентов – «Промышленная теплоэнергетика» / Сост. Е.А.Бойко, Т.И.Охорзина; КГТУ. Красноярск, 2003. 223 с.

18. Основы теории автоматического управления: метод. указания по выполнению контрольных работ по курсу «Теория автоматического управления» / сост.: М.В. Лукьяненко, В.С. Белозерцев; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2013. – 52 с.

19. Андык В.С. Теория автоматического управления. Учебное пособие к практическим занятиям: - Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 108с.

20. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

21. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studbooks.net/>, свободный. – Загл. с экрана.

22. КонсультантПлюс. 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». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

23. Пожарная безопасность. Инструкция по охране труда для инженера АСУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fire-declaration.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

24. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.

25. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.

26. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.

27. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200272>, свободный. – Загл. с экрана.

28. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный. – Загл. с экрана.

29. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.

30. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

31. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001338>, свободный. – Загл. с экрана.

32. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118630>, свободный. – Загл. с экрана.

33. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901865498>, свободный. – Загл. с экрана.

34. Воздействие производственного шума на организм рабочих. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rospotrebnadzor.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

35. ТЕХЭСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278>, свободный. – Загл. с экрана.

36. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, которое может воздействовать на человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuzlit.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

37. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

38. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

39. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001338>, свободный. – Загл. с экрана.

40. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118630>, свободный. – Загл. с экрана.

41. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901865498>, свободный. – Загл. с экрана.

42. Воздействие производственного шума на организм рабочих. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rospotrebnadzor.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

43. ТЕХЭСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278>, свободный. – Загл. с экрана.

44. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, которое может воздействовать на человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuzlit.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

45. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

46. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.