

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматизированная система подачи и сжигания композиционного топлива на основе отходов

УДК 681.51:662.7:628.474

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Кузнеченкова Дарья Антоновна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Вершинина К.Ю	к.ф-м.н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ШИБ	Кашук И.В.	к.т.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника	Антонова А.М.	к.т.н		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники
Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.М. Антонова
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Кузнеченкова Дарья Антоновна

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>1 Публикации в научных журналах, специализированная литература (обзоры, статистические и технические отчеты) по тематике сжигания низкосортных топлив в котельных установках.</p> <p>2 Экспериментальные стенды и разработанные в ТПУ методики проведения исследований в области подготовки и сжигания многокомпонентных топливных пеллет на основе древесных и угольных отходов.</p> <p>3 Требования к системе управления:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обеспечение возможности регулируемой подачи топливных пеллет в котел с кипящим слоем; - контроль и управление температурой слоя; - обеспечение возможности автоматической подачи в котел дополнительного топлива (каменный уголь); - обеспечение возможности управления показателями процесса горения топлива в котле (контроль содержания O₂ в дымовых газах, давления и температуры в парогазовых трактах котла); - использование современных средств измерения и программируемого логического контроллера.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1 Исследовательские изыскания.</p> <p>2 Разработка структуры автоматизированной системы подачи и сжигания композиционного топлива на основе отходов.</p> <p>3 Выбор технических средств и разработка с схемы соединений.</p> <p>4 Расчет параметров настройки регулятора.</p> <p>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>6 Социальная ответственность.</p>

Перечень графического материала	1 Схема структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема электрическая соединений. 4 Схема монтажных соединений.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук И.В.
Социальная ответственность	Сотникова А.А.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 123 с., 29 рис., 30 табл., 43 источника, 6 прил.

Ключевые слова: кипящий слой, отходы, пеллеты, система топливоподачи, автоматизированная система управления, ПЛК.

Объектом автоматизации является система топливоподачи парового котла с кипящим слоем серии ДНХ.

Цель работы – разработка АСУ ТП системы подачи и сжигания композиционного топлива на основе отходов для парового котла с кипящим слоем.

В результате выполнения работы были проведены экспериментальные исследования, изучен объект автоматизации, разработаны структурные схемы АСУ ТП топливоподачи, функциональная схема, принципиальная электрическая схема и схема общего вида щита управления, произведен выбор приборов и технических средств автоматизации, соответствующих техническим требованиям с последующим составлением заказной спецификации.

В результате проделанной работы была разработана автоматизированная система управления топливоподачи и регулирования процесса горения топлива парового котла с кипящим слоем при использовании композиционного топлива на основе отходов (пеллеты). При разработке АСУ ТП топливоподачи и сжигания для данного котла предусмотрено использование современных технических средств, включая микропроцессорные устройства, обеспечивающих функции автоматического контроля параметров и управления системой.

Результаты работы могут использоваться в топливно-энергетическом секторе при разработке и внедрении технологий энергетической утилизации отходов и низкосортных топлив. Использование композиционных топлив на основе отходов перспективно для утилизации низкосортных компонентов и отходов и снижения издержек предприятия на закупку топлива.

Содержание

Введение	10
1 Исследовательские изыскания	12
2 Анализ объекта автоматизации.....	17
2.1 Объект автоматизации	21
2.2 Системы подачи топлива и горения	23
2.3 Выбор структуры АСУ процесса горения топлива.....	25
3 Проектирование структурной схемы.....	26
4 Проектирование функциональной схемы	27
5 Выбор технических средств АСУ ТП	29
5.1 Выбор датчиков температуры	30
5.2 Выбор датчиков давления.....	31
5.3 Выбор расходомеров	33
5.4 Выбор частотных преобразователей	34
5.5 Выбор газоанализатора	36
5.6 Выбор контроллера	37
6 Разработка принципиальной электрической схемы шкафа автоматизации.....	38
7 Разработка монтажной схемы АСР	40
8 Разработка общего вида щита управления	41
9 Расчет оптимальных параметров ПИ-регулятора	42
9.1 Общие сведения	42
9.2 Расчет АСР расхода топлива	43
9.2.1 Расчет статических характеристик элементов системы	44
9.2.1.1 Расчет коэффициента передачи измерительных преобразователей давления.....	44
9.2.1.2 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода пара	46
9.2.2 Статическая настройка АСР.....	47
9.2.3 Расчет динамических характеристик объекта регулирования.....	51
9.2.3.1 Участок «Давление в барабане – расход топлива»	51
9.2.3.1.1 Передаточная функция котла по каналу «Тепловосприятие	

испарительных поверхностей – расход топлива»	51
9.2.3.1.2 Передаточная функция котла по каналу «Давление в барабане – тепловосприятие испарительных поверхностей»	52
9.2.3.2 Участок «Расход пара – расход топлива»	54
9.2.3.2.1 Передаточная функция «Тепловосприятие испарительных поверхностей – расход топлива»	54
9.2.3.2.2 Передаточная функция «Расход пара – тепловосприятие испарительных поверхностей»	54
9.2.3.2.3 Участок давление в барабане – расход пара- внешнее возмущение	55
9.2.3.2.4 Участок «Давление в магистрали - расход топлива»	56
9.2.4 Расчет оптимальных параметров настроек регуляторов	57
9.2.4.1 Параметрический синтез	58
9.2.4.1.1 Расчет параметров настройки дифференциатора	58
9.2.4.1.2 Расчет ОПН стабилизирующего регулятора	59
9.2.4.2 Расчет параметров настройки корректирующего регулятора	64
9.2.5 Расчет переходного процесса в замкнутой АСР. Оценка качества переходного процесса	67
10 Социальная ответственность	73
10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
10.2 Производственная безопасность	76
10.3 Экологическая безопасность	83
10.4 Безопасность в ЧС	86
11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	93
11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	94
11.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	94
11.1.2 Анализ конкурентных технических решений	94
11.1.3 SWOT-анализ	97
11.2 Планирование научно-исследовательских работ	101
11.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	101
11.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	102
11.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	104

11.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	105
11.3.1 Расчет материальных затрат на специальное оборудование для научных работ.....	105
11.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	106
11.3.3 Основная заработная плата исполнителей проекта	107
11.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	109
11.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	110
11.3.6 Услуги сторонних организаций	110
11.3.7 Накладные расходы.....	110
11.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	111
11.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	112
Заключение.....	117
Список использованных источников.....	118

Графический материал:

На отдельных листах

ФЮРА.421000.004 С2 Схема функциональная

ФЮРА.421000.004 ЗС Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

ФЮРА.421000.004 Э4 Схема принципиальная электрическая шкафа автоматизации

ФЮРА.421000.004 ПЭ Перечень элементов

ФЮРА.421000.004 Э5 Монтажная схема соединений внешних проводок

ФЮРА.421000.004 ВО Общий вид шкафа автоматизации

Список сокращений и обозначений

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

КС – кипящий слой;

НТИ – научно-техническое исследование;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ЦКС – циркулирующий кипящий слой;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

Введение

В настоящее время жизнь людей зависит от энергии, а ее выработка зависит от возобновляемых и невозобновляемых источников энергии. Согласно Статистическому ежегоднику мировой энергетики [1], в настоящее время традиционная энергетика обеспечивает около 80% всей мировой потребности в тепловой и электрической энергии. Одновременно с проблемами энергетического обеспечения актуальным вопросом является загрязнение окружающей среды. Крупными источниками загрязнения являются предприятия добывающей, перерабатывающей отраслей производства и коммунального сектора, энергетические предприятия, сжигающие ископаемое топливо.

Экологические проблемы в упомянутых отраслях производства могут быть частично решены путем внедрения альтернативных топлив. Одним из направлений в этой области является вовлечение в энергетику промышленных и бытовых отходов. Многие отходы и низкостребованные побочные продукты переработки являются потенциальным топливом с относительно высокой (для отходов) теплотой сгорания, которая, как правило, варьируется в диапазоне 10–20 МДж/кг (например, опилки, кора, солома, отработанное турбинное масло, навоз).

Наиболее распространённым биотопливом являются пеллеты на основе опилок, это можно объяснить легкодоступностью и низкой стоимостью, поскольку при переработке древесины образуется большое количество отходов (как правило, 25-35% исходного материала) [2]. Изделия из древесины могут быть повторно использованы и преобразованы в энергию. Сжигание пеллет на основе смеси угля и опилок позволяет снизить затраты на сырье и расширить собственную топливно-энергетическую базу. Для данного вида топлива необходимо обеспечивать полное сгорание топлива. Для эффективного сжигания низкосортного топлива могут применяться топки высокотемпературного кипящего или интенсивно продуваемого слоя. В настоящее время сконструировано более 30 котлов с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС), соответствующих мировой тенденции к получению чистой

энергии из разнообразных видов топлива. Конструкция таких топок обеспечивает интенсивную циркуляцию частиц топлива в слое, позволяет снизить температуру дымовых газов и тем самым повысить КПД котла. Процессы диспергирования, характерные при нагревании углей высокой степени метаморфизма, являются необходимыми для повышения эффективности технологического процесса. Исходные частицы топлива диспергируют на несколько частиц соизмеримого размера. Все это улучшает экологические характеристики процесса.

Целями данной работы являются:

- 1) проведение экспериментальных исследований, направленных на апробацию технологии изготовления топливных пеллет из низкосортного угольного и древесного сырья; определение характеристик их зажигания и горения;
- 2) разработка системы, предназначенной для автоматизированного регулирования подачи топливных пеллет в паровой котел с кипящим слоем. Технологический процесс предусматривает возможность введения дополнительного топлива (каменного угля) и изменения расхода основного топлива для поддержания требуемых показателей работы котла.

1 Исследовательские изыскания

Ежедневное использование тепловой и электрической энергии влечет за собой необходимость использования разнообразных природных ресурсов. Основным энергетическим топливом на сегодняшний день является каменный уголь (30%) и природный газ (24%). Добыча и переработка угля сопровождается образованием большого количества отходов. Ежегодно по всему миру отвалы, терриконы, пруды-накопители пополняются сотнями миллионов тонн [1–3] отходов флотационного и гравитационного углеобогащения, а также шахтных и вскрышных пород. Такой быстрый темп накопления угольных отходов неизбежно ведет к осложнению экологической обстановки угледобывающих регионов, обусловленного увеличением площадей, отводимых под складирование отходов, их пылением, выделением токсичных соединений в почву и воду. Для России, как крупного экспортера угля [3], данные проблемы характеризуются высокой значимостью. При переработке угля суммарно в России, Китае и Индии по минимальным оценкам образуется от 220 до 300 млн. тонн в год отходов углеобогащения.

В рамках разработки ВКР были выполнены экспериментальные исследования, направленные на апробацию технологии изготовления топливных пеллет из низкосортного угольного и древесного сырья, а также установление характеристик их зажигания и горения.

Основой для приготовления всех исследуемых смесей служил угольный шлам. Он является отходом, образующимся в результате обогащения угольного сырья. Угольные шламы составляют как минимум 10% от исходного сырья, поступающего на обогащение. Вследствие больших объемов производства угольные шламы накапливаются в гидроотвалах, ухудшая состояние экосистемы. В отличие от угольных хвостов [4], угольные шламы содержат значительно меньше золы и больше углерода, но, в то же время, характеризуются достаточно высокой влажностью (30–60%) в своем исходном состоянии. Характеристики угольных шламов могут существенно отличаться в зависимости от типа обогащаемого сырья, особенностей предприятия и условий хранения.

Используемый в настоящей работе угольный шлам является отходом флотационного обогащения коксующегося угля и был получен на обогатительной фабрике «Северная» Кузнецкого угольного бассейна (Россия). Свойства используемых компонентов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты технического и элементного анализа твердых компонентов

Компонент	W^a , %	A^d , %	V^{daf} , %	Q , МДж/кг	C^{daf} , %	H^{daf} , %	N^{daf} , %	S_t^d , %	O^{daf} , %
Угольный шлам	–	24,46	23,08	24,83	87,20	5,09	2,05	1,02	4,46
Опилки сосновые	6,05	1,5	72,35	18,25	49,56	5,91	0,19	0,64	42,54

Используемый угольный шлам обезвоживался путем просушивания в муфельной печи при температуре 105 °С в течение 2,5 часов. Угольный шлам в исходном состоянии содержит мелкодисперсные частицы размерами 20–150 мкм, которые могут формировать достаточно крупные агломераты. В экспериментах для поддержания однородности гранулометрического состава имеющиеся агломераты подвергались дроблению и затем с помощью сит выделялась фракция с размером частиц не более 100–140 мкм. Древесные опилки измельчались в роторной мельнице Pulverisette-14. Полученный древесный порошок также просеивался, чтобы получить фракцию с размером частиц не более 100–140 мкм.

Подготовка пеллет проводилась с помощью пресс-формы и гидравлического пресса. Готовая смесь массой 0,5 г помещалась в пресс-форму и подвергалась уплотнению (5 МПа) на гидравлическом прессе в течение 30 с. После этого пеллет извлекался из пресс-формы. Диаметр образцов составлял около 12,3 мм, а высота 2–3 мм.

Сжигание топлив проводилось в модельной камере сгорания (трубчатая

муфельная печь R 50/250/13 by Nabertherm GmbH) с возможностью варьирования температуры в диапазоне 30–900 °С. Характеристики процессов зажигания и горения исследованы с помощью высокоточных термопар, скоростной видеозаписи (камера Phantom V411), тепловизора (Testo 885-2). Для определения характеристик процессов зажигания и горения пеллет использовались их фрагменты массой 0,25 г (сжигание более крупных образцов было небезопасно для муфельной печи вследствие большего тепловыделения при горении). Образцы топлив подавались в предварительно разогретую камеру сгорания с помощью автоматического фидера (см. рисунок 1). Стенд позволял наблюдать за процессами в камере сгорания с помощью видеокамеры (скорость съемки 1000 fps). Регистрация времени задержки гетерогенного зажигания топлива (τ_{d2}) и длительности горения (τ_b) основывалась на интенсивности свечения образца топлива (подход широко применим при изучении горения разных материалов, включая жидкие, твердые [5] и смешанные виды топлив [6,7]). Основные характеристики и систематические погрешности оборудования приведены в [8,9]. При определении характеристик процессов зажигания и горения проводились серии измерений (8–10 при одинаковых условиях).



Рисунок 1 – Этапы выполнения экспериментальных исследований

Основными элементами стенда являются: муфельная трубчатая печь; координатный механизм с держателем типа сетка для перемещения пеллет;

высокоскоростная видеокамера для визуализации процесса и регистрации параметров; газоанализатор; персональный компьютер.

Результаты исследования

Как и большинство органических топлив, исследуемые смеси имеют сложный химический состав, включающий углерод, влагу, минералы и ряд соединений (летучие), которые при нагреве превращаются в горючие газы. Каждое вещество имеет различную реакцию на нагрев, а также характер взаимодействия с другими веществами в смеси и окислителем. Поэтому горение изученных видов топлива характеризуется определенной стадийностью. Можно выделить основные стадии процесса: сушка, пиролиз или газификация, газофазное (факельное) горение, горение коксового остатка. Испарение, пиролиз и газификация являются эндотермическими процессами, в ходе которых вокруг топливного образца формируется смесь газов – водяного пара, продуктов разложения органической массы, паров масла. Также могут образовываться жидкие продукты разложения (смолистые соединения). Если внешняя температура превышает температуру воспламенения парогазовой смеси, то происходит выгорание газов. В период существования факела в основной массе топлива также могут происходить и завершаться процессы разложения веществ и испарения. После стадии выгорания факела реализуется горение углеродного остатка. Описанные этапы являются основными для изученных топлив. При этом важно, что процессы зажигания и горения многокомпонентных топлив отличаются многообразием определяющих их факторов, поэтому возможны особенности для отдельных случаев.

Времена задержки гетерогенного зажигания и времена горения топливных композиций на основе угольного шлама при разных температурах в печи представлены на рисунке 2.

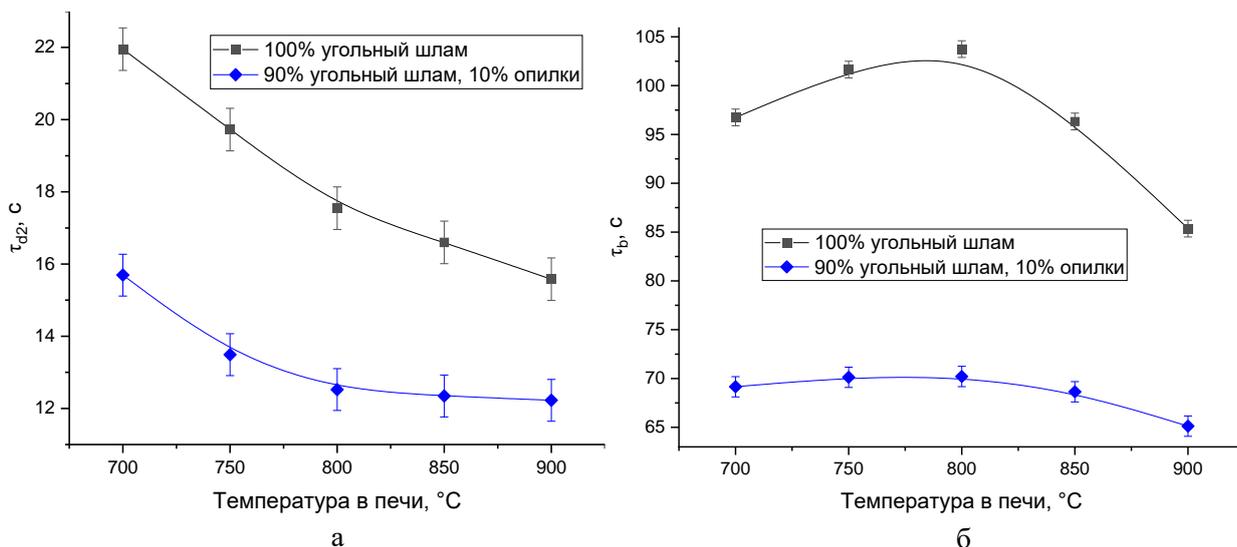


Рисунок 2 - Времена задержки гетерогенного зажигания (*a*) и длительности горения (*б*) пеллет при разных температурах в камере сгорания

Наиболее быстрое зажигание было типично для пеллет с добавкой опилок. Сравнительно небольшое замещение угольного шлама на древесный отход позволило уменьшить время задержки гетерогенного зажигания на 25–40%. Также при одинаковых условиях пеллеты на основе угольного шлама с добавлением опилок выгорали интенсивнее в 1,2–1,4 раза, чем пеллет без добавок. Улучшение характеристик зажигания и выгорания возможно за счет того, что древесные опилки характеризуются высокой реакционной способностью, имеют низкую зольность и высокое содержание кислорода и летучих компонентов, способствующих реагированию.

В таблице 2 представлены данные, полученные при определении пороговой температурной границы воспламенения смесей, сжигаемых в виде капель суспензии или в сухом состоянии. Параметр T_g^{\min} означает ту минимальную температуру в печи, при которой реализуется устойчивое гетерогенное горение топлива. Несмотря на отличия, параметр T_g^{\min} достаточно слабо изменялся для рассматриваемых топлив. Это обусловлено тем, что основной компонент топлив был одинаковый (угольный шлам) и его свойства в большей степени определяют пороговую температуру воспламенения, чем свойства дополнительных компонентов (при их наличии). Максимальные

температуры горения (T_d^{\max}) топлив, зафиксированные тепловизором, также представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Температуры зажигания и максимальные температуры горения топливных смесей

Топливо	T_g^{\min}	T_d^{\max} (при температуре в печи 700 °С)	T_d^{\max} (при температуре в печи 800 °С)	T_d^{\max} (при температуре в печи 900 °С)
100% угольный шлак	482 °С	959,7 °С	1008,5 °С	1013,8 °С
90% угольный шлак, 10% опилки	447 °С	993,1 °С	1033,1 °С	1114,3 °С

2 Анализ объекта автоматизации

Котел с кипящим слоем – технологическое устройство, в котором сжигание топлива происходит в псевдооживленном слое инертного материала.

Кипящий или псевдооживленный слой – это состояние слоя гранулированного сыпучего материала, при котором под влиянием проходящего через него потока газа или жидкости частицы твёрдого материала интенсивно перемещаются одна относительно другой. Небольшое процентное отношение массы подаваемого топлива к инертной массе кипящего слоя (2 – 3 %) и интенсификация процесса горения обеспечивают эффективное сжигание низкосортных топлив с влажностью до 65 %, сжигание которых традиционными способами затруднительно.

Основными особенностями сжигания топлива в кипящем слое являются:

- интенсивное перемешивание частиц топлива газовыми пузырями;
- повышение теплоотдачи от кипящего слоя к теплопередающим поверхностям;

– интенсификация горения твердого топлива (происходит из-за увеличения удельной поверхности окисления и постоянным «обновлением» его поверхности с помощью соударений, дробления и истирания).

Конструкция топок с кипящим слоем занимает промежуточное положение между топками слоевого сжигания и факельными. Со слоевыми топками их объединяет, прежде всего, возможность сжигания раздробленного топлива с размером частиц до 10–20 мм и наличие решетки, через которую в слой подводится воздух. При увеличении скорости воздуха, проходящего через слой, наступает момент, когда аэродинамическая сила, действующая на каждую частицу топлива, преодолевает силы взаимного трения частиц. При увеличении расхода воздуха происходит псевдооживление частиц топлива. При этом высота и пористость слоя увеличиваются (рисунок 3).

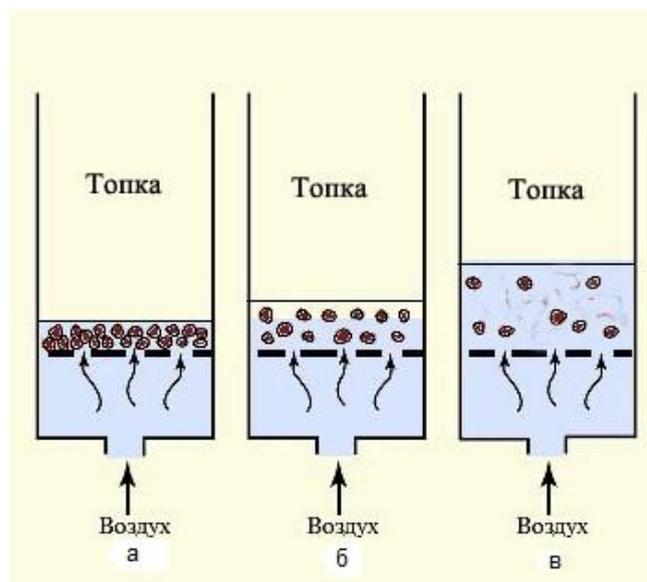


Рисунок 3 – Слой топлива при различных скоростях подачи воздуха в котел (а – плотный слой; б, в – кипящий слой)

Обычно топки с псевдооживленным слоем конструктивно выполняются с вертикальными стенками и подом в виде горизонтальной решетки (рисунок 4). Технология заключается в сжигании топлива в объеме раскаленных частиц инертного материала, «кипящих» в восходящем потоке воздуха, подаваемого

через сопла первичного дутья. В качестве инертного материала чаще всего используется фракционированный песок с размером частиц 0,5–2 мм.

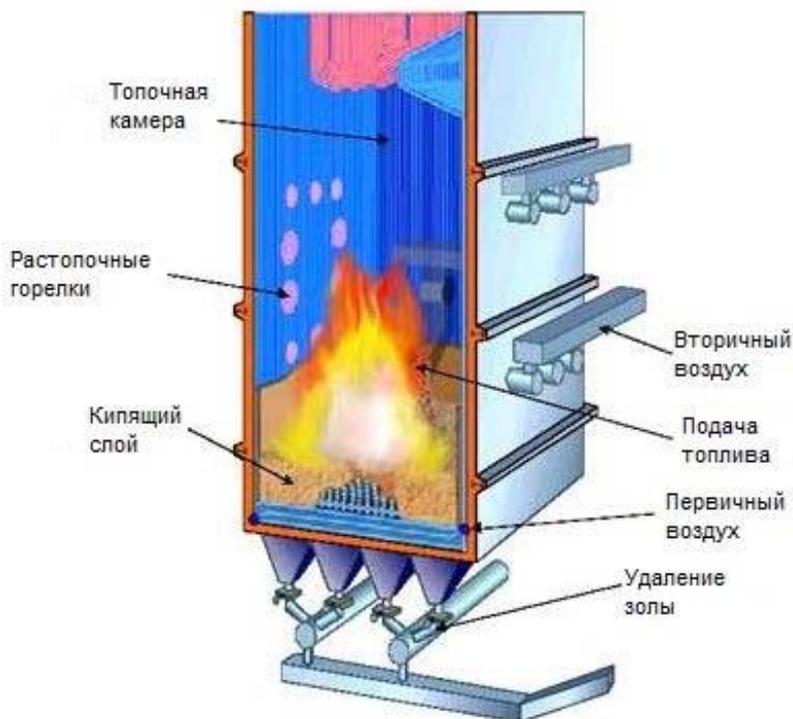


Рисунок 4 – Топка котла с кипящим слоем

Псевдооживленный слой описывается скоростью подаваемого воздуха, превышающей предел устойчивости плотного слоя, однако не достигающей скорости витания средних частиц. Небольшое процентное отношение массы подаваемого топлива к инертной массе кипящего слоя (2–3 %) и интенсификация процесса горения обеспечивают эффективное сжигание отходов с влажностью до 65 % и других низкосортных топлив, сжигание которых традиционными способами затруднительно. Размеры частиц топлива, используемых для сжигания в кипящем слое, средние между размерами частиц топлива для пылевидного сжигания и для механических топок. Максимальный размер зависит от реакционной способности топлива и составляет от 6 до 25 мм. В котлах с кипящим слоем характерная плотность слоя равняется 750 кг/м^3 . Из-за длительного времени пребывания топлива в слое и высокой интенсивности процессов теплообмена эффективность сжигания в топке с кипящим слоем

достаточно большая, несмотря на низкую температуру процесса горения (800–900 °С). В псевдоожигенном слое наблюдается небольшой вынос частиц из топки. Время пребывания крупных частиц топлива велико, а мелких частиц – приблизительно равно расчетному по скорости газа. Это приводит к увеличенному содержанию углерода в слое и уносе и к повышению механического недожога. Для его сокращения вынесенные из топки частицы улавливаются и возвращаются в слой.

Технология кипящего слоя позволяет:

- полностью отказаться от механически движущихся узлов топочного устройства, что значительно увеличивает его надежность;
- эффективно сжигать низкосортные виды топлива;
- достичь необходимой производительности котла;
- эффективно внутритопочно нейтрализовать оксиды серы и азота за счет организации двухступенчатого горения топлива;
- высокую степень автоматизации технологического процесса.

Обязательным условием организации КС является установка высоконапорного вентилятора с мощным электродвигателем для преодоления сопротивления колпачковой воздухораспределительной решетки и самого кипящего слоя.

Снижение уровня выбросов NO_x в топках с кипящим слоем происходит благодаря низкой температуре горения, эффективной ступенчатой подаче воздуха, высокой степени смешения и низкому коэффициенту избытка воздуха. Использование добавок (например, известняка, необходимого для связывания серы) дает хорошие результаты благодаря эффективному смешению, обеспечиваемому в псевдоожигенном слое. Для очистки дымовых газов от летучей золы используется электрофильтр.

Увеличение скорости потока воздуха до 5 – 10 м/с и использование более мелких фракций топлива позволяет создать циркулирующий кипящий слой (ЦКС). Частицы топлива, увлекаемые топочным газом, улавливаются в горячем циклоне и подаются обратно в камеру сгорания.

Недостатками топок с ЦКС являются их большие размеры и, соответственно, более высокая стоимость по сравнению с установками со стационарным КС. Для этих топок также характерны унос большего количества пыли с топочными газами и большие потери материала слоя. Кроме того, необходимость использования мелких частиц топлива часто увеличивает затраты на предварительную подготовку топлива.

2.1 Объект автоматизации

В данной работе объектом автоматизации является паровой котел с ЦКС серии ДНХ мощностью 75 т/ч. Предназначен для производства перегретого пара номинальной температурой на выходе из котла 485 °С рабочим давлением до 5,3 МПа. Области применения: теплоэнергетика, химическая технология, металлургическая, целлюлозно-бумажная отрасли промышленности.

В качестве топлива могут использоваться каменный и бурый уголь, рудная порода, биомасса, промышленные и бытовые отходы. Топлива могут сжигаться как индивидуально, так и совместно.

Общий вид парового котла с ЦКС серии ДНХ представлен на рисунке 5. В таблице 3 приведены основные параметры парового котла.



Рисунок 5 – Паровой котел с ЦКС серии ДНХ

Основными элементами парового котла с ЦКС являются печь, циклонный сепаратор, обратный клапан и задний конвекционный дымоход. Печь оснащена мембранной стенкой водяного охлаждения, средняя часть котла представляет собой циклонный сепаратор, а дымоход хвостового вала снабжен энергосберегающим устройством, а нижняя часть энергосберегающего устройства оснащена воздухоподогревателем.

Оборудование для сжигания включает устройство подачи топлива, устройство распределения воздуха, устройство для выгрузки шлака, устройство подачи вторичного воздуха и систему зажигания.

Котел подходит для внутренней и полуоткрытой планировки. Технология сжигания ЦКС с отделением дымовых газов позволяет экономить энергию как при высоких температурах, так и при низких температурах.

Характеристики парового котла серии ДНХ ЦКС:

- высокотемпературная циклонная сепарация, обеспечивающая эффективность разделения пара от капель воды ($\geq 98\%$) и полноту сгорания топлива;
- вместительный объем печи – значительный объем топки, конструкция с низким расходом потока применение технологии износостойких труб, снижающей эрозионное истирание; увеличенное время пребывания частиц угля в печи, способствующее полному сгоранию топлива;
- колпак типа колокольчика. Применение колпака колокольного типа, позволяющая равномерно распределять воздух и избегать обратного потока топлива в ветровую камеру;
- работа при низком давлении в слое. За счет оптимизации частиц рабочее давление в слое может быть снижено до 3500 Па, что эффективно снижает эксплуатационные расходы.

Таблица 3 – Основные технические характеристики парового котла с ЦКС серии ДНХ

Наименование параметра	Угольный паровой котел с ЦКС серии ДНХ производства ООО «Зозен Котёл»
Модель	ZZ-75/5.3-aI
Паропроизводительность	75 т/ч
КПД	91 %
Вид топлива	антрацит, уголь, бурый уголь, рудная порода, биомасса, отбросы, жидкая грязь шлам, совместное сжигание
Номинальная температура пара на выходе	485 °С
Рабочее давление	5,3 МПа

Для автоматизированной системы подачи и сжигания топлива рассматриваются следующие параметры: расход топлива (уголь), расход топлива (пеллеты), расход воздуха, температура кипящего слоя, концентрация O_2 в дымовых газах, давление свежего пара. Эти контуры управления в сочетании с блокировками безопасности котла составляют базовый уровень автоматизации.

Котел как объект управления может быть представлен в виде последовательного соединения простых контуров, разграниченных конструктивно. Совместно эти участки являются динамической системой с множеством взаимосвязанных входов и выходов.

2.2 Системы подачи топлива и горения

Система подачи топлива включает топливные бункеры для двух видов топлив. Основным топливом для сжигания в котле с кипящим слоем являются пеллеты из смеси опилок и угольного шлама. Дополнительным топливом является каменный уголь. Введение дополнительного топлива осуществляется в случае необходимости увеличения температуры слоя за счет горения более калорийного топлива (угля), на этапах запуска котла, при отсутствии необходимого количества пеллет в хранилище. Отработанное топливо и уголь

смешиваются на конвейерах перед подачей топлива в камеру сгорания через роторные питатели. Для данного котлоагрегата необходимо знать такие параметры как температура процесса и количество теплоносителя. Так как при изменении хотя бы одного из вышеперечисленных параметров произойдет дисбаланс прихода и расхода тепла и одновременное изменение температуры слоя и уходящих газов. Если увеличить количество загружаемого продукта либо повысить его влажность (или же изменить оба параметра), то вследствие этого увеличится расходная составляющая баланса при постоянном приходе тепла и понизится температура слоя. При повышении температуры теплоносителя или увеличении его количества при прежней загрузке температура слоя будет повышаться. Таким образом, температура слоя является своего рода индикатором изменения переменных.

Основная задача системы регулирования заключается в поддержании на постоянном уровне температуры слоя, т.к. именно она является одним из главных параметров, который отражает соответствие расхода и прихода тепла в тепловом балансе. Технологические требования также диктуют необходимость постоянства температуры кипящего слоя. Количество точек подачи топлива на единицу площади определяется исходя из характеристик топлива и степени бокового перемешивания в конкретной конструкции камеры сгорания. Скорость подачи топлива автоматически регулируется в зависимости от давления в главном паровом коллекторе и температуры в слое.

Оптимизация процессов горения на различных котельных агрегатах выполняется за счет внедрения автоматизации. Работа котла осуществляется с помощью программируемого логического контроллера. При использовании автоматической системы управления процессами минимизируется участие человека в производственной деятельности, уменьшается время работы операторов с оборудованием, а также уменьшается влияние человеческого фактора.

При использовании автоматической системы регулирования процесса горения снижаются концентрации антропогенных выбросов, уменьшается

расход топлива и повышается безопасность процесса производства энергии.

2.3 Выбор структуры АСУ процесса горения топлива

Структура управления объектом автоматизации оказывает значительное влияние на эффективность работы системы, стоимость оборудования, ремонтпригодность и надежность. АСУ может состоять из одного или нескольких уровней управления (одноуровневые и многоуровневые системы). В рамках данной работы применяется многоуровневая автоматизированная система управления процесса горения композиционного топлива, включающая в себя три уровня.

Полевой уровень включает в себя показывающие приборы, первичные и нормирующие преобразователи, различные датчики, исполнительные механизмы и органы местного управления. На нижнем уровне выполняется контроль технологических параметров с заданной точностью и периодичностью; преобразование измеренных параметров в унифицированные электрические сигналы; контроль состояния исполнительных механизмов и сигнализаторов технологических параметров; интерфейс с аппаратурой управления исполнительными механизмами.

К среднему уровню относятся щит управления на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые обеспечивают сбор информации, поступающей с датчиков технологических параметров и формирование команд на исполнительные механизмы, и содержащий вторичные средства измерения, выполняющие функции преобразования сигналов от датчиков полевого уровня до контроллерного оборудования, а также искробезопасные барьеры и преобразователи. На уровне контроллеров выполняется сбор, обобщение, сравнение и первичная обработка информации от датчиков и измерительных преобразователей, поступающей с полевого уровня, а также информации по учету и контролю количества и сопутствующих параметров, автоматическое тестирование элементов местной автоматики и контроллеров блоков

управления; трансляция информации на компьютер оператору.

На верхнем уровне выполняется систематизация информации, собранной от ПЛК и устройств нижних уровней; составляются отчеты, сводки и справочные документы о состоянии технологического процесса; формируется база данных, обрабатывается и хранится информация; формируются и передаются управляющие воздействия на полевой уровень для поддержания стабильности заданного технологического режима; выполняется диагностика работы технологического оборудования, технических и программных средств системы управления.

Верхний уровень включает автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора – программно-техническое средство вычислительной техники, предназначенное для накопления, хранения, обработки (обобщения) и представления оператору любой информации и приема команд управления объектами. На мониторе АРМ информация представляется оперативному персоналу в следующих видах:

- технологические схемы с указанием текущих значений измеряемых параметров;
- состояния технологического оборудования и исполнительных механизмов;
- предупредительная сигнализация;
- архив аварийных сообщений.

Основным способом предоставления оператору актуальной информации являются мнемосхемы – графические модели, отображающие динамически изменяющуюся функционально-техническую схему управляемого оператором объекта.

3 Проектирование структурной схемы

Автоматизированная система управления топливоподачи и сжигания парового котла с кипящим слоем серии ДНХ спроектирована на основе микропроцессорных технических средств. Она представляет собой систему,

состоящую из трех уровней: полевой, средний, верхний. Структурная схема представлена на рисунке 6.

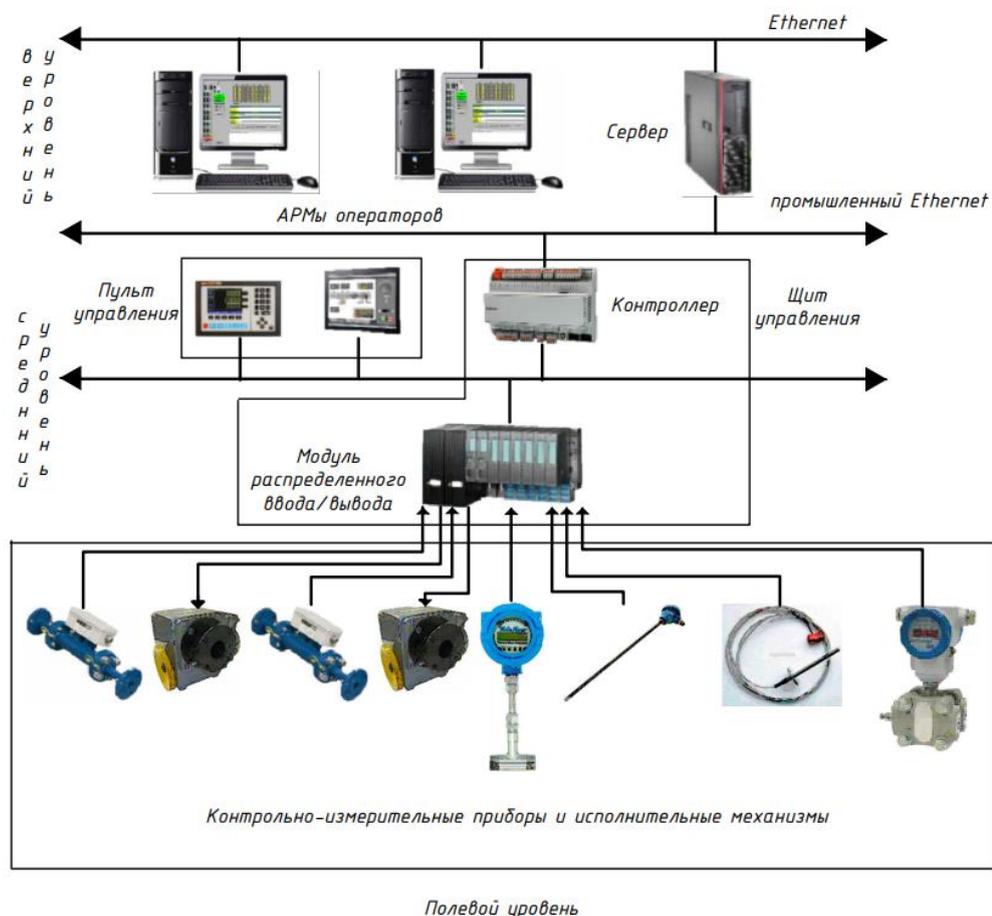


Рисунок 6 – Структурная схема автоматизированной системы управления технологическим процессом топливоподачи и сжигания в паровом котле с кипящим слоем

4 Проектирование функциональной схемы

Функциональная схема автоматизированной системы управления процессом топливоподачи композиционного топлива на основе отходов является основным техническим документом, определяющим структуру и характер системы, а также оснащение приборами и средствами автоматизации. Функциональная схема системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С2.

При разработке функциональной схемы решались следующие задачи:

- изучение технологического объекта автоматизации;
- определение перечня регулируемых и контролируемых параметров (таблица 4).
- указание месторасположения точек отбора измерительной информации;
- определение предельно допустимых рабочих значений контролируемых и регулируемых параметров (таблица 5);
- выбор структуры измерительных каналов информационно-управляющей и исполнительной частей системы автоматизации. В состав структуры каналов измерительной части входят первичные преобразователи температуры без нормирующих преобразователей; в состав структуры каналов информационно-управляющей части входит ПЛК, в состав структуры исполнительной части входят пусковые устройства и исполнительные механизмы;
- выбор методов и технических средств получения, преобразования, представления и передачи измерительной информации, а также технических средств выработки управляющих воздействий. Для реализации функций контроля и управления предусмотрен ПЛК;
- размещение технических средств автоматизации на технологическом оборудовании: первичные преобразователи температуры расположены непосредственно на технологическом оборудовании, пусковое устройство находится в шкафу пусковой арматуры, микропроцессорный компьютер расположен в шкафу управления и автоматики.

Таблица 4 – Контролируемые параметры

Наименование параметра	Значение параметра
1. Температура в кипящем слое	800-900 °С
2. Температура уходящих дымовых газов	130-200 °С

Продолжение таблицы 4

3. Температура свежего пара	485 °С
4. Давление свежего пара на выходе из котла	3,92 МПа
5. Давление-разрежение	-0,0314 кПа
6. Давление в барабане котла	3,9 МПа
7. Расход свежего пара	75 т/ч
8. Содержание O ₂ , CO, NO _x , SO ₂ , CO ₂	5%, 2000 ppm, 2000 ppm, 1000 ppm, 30%
9. Расход воздуха	357 м ³ /ч

Таблица 5 – Перечень входных/выходных сигналов

№	Наименование параметра (единица измерения)	AI	AO	DI	DO
1	2	3	4	5	6
1	Температура в кипящем слое	+			
2	Температура уходящих дымовых газов	+			
3	Температура свежего пара	+			
4	Давление свежего пара на выходе из котла	+			
5	Давление-разрежение	+			
6	Давление в барабане котла	+			
7	Расход свежего пара	+			
8	Содержание O ₂ , CO, NO _x , SO ₂ , CO ₂	+			
9	Расход воздуха	+			
10	Шнек уголь вкл/выкл		+		
11	Шнек пеллеты вкл/выкл		+		
12	Дутьевой вентилятор вкл/выкл		+		
13	Дымосос вкл/выкл		+		

5 Выбор технических средств АСУ ТП

Современное оборудование позволяет использовать унифицированные системы и типовые технические средства, с помощью которых обеспечивается совместимость устройств и удобство компоновки на щитах.

В процессе составления заказной спецификации при выборе технических средств АСУ стоит обратить внимание на предельные значения измеряемых параметров, ведь применение различных преобразователей должно происходить в диапазоне, соответствующем значениям измеряемого параметра. Также необходимо учитывать характеристики выходных сигналов различных преобразователей. Необходимо минимизировать количество технических средств с условием обеспечения выполнения необходимых функций.

5.1 Выбор датчиков температуры

Так как температура кипящего слоя равна 800-900 °С, выберем наиболее подходящий аналоговый преобразователь температуры (таблица 6). Выбор измерительных устройств осуществлялся по каталогу завода-изготовителя «Датчики температуры» компании EMERSON [10].

Таблица 6 – Технические характеристики измерительных устройств

	Метран 281	Метран 271	Rosemount 3144P 1075 ПП (S)
Диапазон измерений	-50...+1000 °С	-40...+1000 °С	-40...+1200 °С
Выходные сигналы	4-20мА/HART	4-20мА	4-20мА
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	±0,4%	±0,5%	±0,5%

Из таблицы 6, видно, что более предпочтительным вариантом является «Метран 281», поэтому в качестве измерительного преобразователя выбираем «Метран 281», так как он соответствует необходимым требованиям и техническим характеристикам.

Так как температура уходящих дымовых газов варьируется в пределах

130–200 °С, выберем наиболее подходящий измерительное устройство (см. таблица 7). Выбор измерительных устройств осуществлялся по каталогу завода-изготовителя «Датчики температуры» компании EMERSON [10].

Таблица 7 – Технические характеристики измерительных устройств

	Метран 281	Метран-2700-100П
Диапазон измерений	-50...+1000 °С	-50...+200 °С
Выходные сигналы	4-20мА/HART	4-20мА
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	±0,4%	±0,15%

Из таблицы 7, видно, что более предпочтительным вариантом является «Метран 281», поэтому в качестве измерительного преобразователя выбираем «Метран 281», так как он соответствует необходимым требованиям и техническим характеристикам.

5.2 Выбор датчиков давления

Датчики давления Rosemount предназначены для работы в различных отраслях промышленности, системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование измеряемых величин избыточного, абсолютного давления, давления-разрежения нейтральных и агрессивных сред в унифицированный токовый выходной сигнал. Данные датчики приобрели широкое распространение благодаря простоте конструкции, надежности, малым размерам и эргономичности. Особенности датчиков давления:

- погрешность измерений $\pm 0,15$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$ %;
- диапазон перенастройки 10:1;
- самодиагностика при запуске;

- встроенный фильтр радиопомех;
- микропроцессорная электроника;
- возможность простой и удобной настройки значений выходного сигнала, соответствующих нижнему и верхнему значениям измеряемого давления, кнопочными переключателями.

Датчики предназначены для непрерывного преобразования значений абсолютного, избыточного давления, разрежения, избыточного давления-разрежения, разности давлений, гидростатического давления (уровня) жидких и газообразных, в том числе агрессивных, сред, газообразного кислорода и кислородосодержащих газовых смесей в унифицированный выходной токовый сигнал и (или) цифровой сигнал на базе HART-протокола, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485 по протоколу Modbus RTU.

Для работы системы необходимо измерение давления пара в барабане котла, давления-разрежения в топке, а также давления свежего пара. В соответствии с этим рассмотрим датчики давления и сравним их технические характеристики (таблица 8). Выбор измерительных устройств осуществлялся по каталогу завода-изготовителя «Датчики давления» компании EMERSON [11].

Таблица 8 – Технические характеристики датчиков давления

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 T

Продолжение таблицы 8

Верхняя граница диапазона 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

Из таблицы 8 видно, что более предпочтительным вариантом является «Rosemount 3051», поэтому в качестве измерительного преобразователя выбираем «Rosemount 3051», так как он соответствует необходимым требованиям и имеет различные модификации и соответствует техническим характеристикам необходимых измерений, а именно, для измерения избыточного давления в барабане котла – «Rosemount 3051CA», давления разряжения в топке котла – «Rosemount 3051CD», давления свежего пара – «Rosemount 3051SMV».

5.3 Выбор расходомеров

Так как в объектом автоматизации в данной работе является паровой котел с кипящим слоем, необходимо регулирование подачи воздуха. Проведем выбор расходомера воздуха (таблица 9). Выбор измерительных устройств осуществлялся по каталогам заводов-изготовителей [12-14].

Таблица 9 – Технические характеристики расходомеров

	SCHMIDT SS 20.600	VPFlowScope Probe	Rosemount 8800D
Диапазон измерений	0,2...220 м/с	0,5...150 м/с	до 76 м/с
Выходные сигналы	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА/HART
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0,4\%$

Из таблицы 9, видно, что более предпочтительным вариантом является «SCHMIDT SS 20.600» [12], поэтому в качестве расходомера выбираем «SCHMIDT SS 20.600», так как он соответствует необходимым требованиям и техническим характеристикам.

5.4 Выбор частотных преобразователей

Для продуктивного сжигания топлива в котельных установках требуется создание оптимальных технологических условий. Преобразователи частоты — это электронные устройства для изменения рабочих частот электрического тока или напряжения электроприводов. Конструктивно сложные устройства преобразуют переменные токи исходной частоты в значения переменного тока с требуемой частотой. Качественные частотные преобразователи эффективно преобразуют электрическую мощность путем изменения частоты электроприводов.

Функциональное объединение нескольких устройств решает задачи автоматического управления процессами и совершенствования алгоритмов управления путем реализации специальных программ.

Сравним преобразователи частоты различных производителей.

Преобразователи частоты ОВЕН предназначены для управления частотой

вращения асинхронных двигателей в составе приводов для работы в промышленных и бытовых установках, системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Линейка частотных преобразователей ПЧВЗ включает 9 модификаций с трехфазным входом 220 В (0,25...11 кВт) и 18 модификаций с трехфазным входом 380 В (0,37...90 кВт). В 2015 году в линейку преобразователей частоты ОВЕН ПЧВЗ [15] добавлены 17 модификаций со степенью защиты корпуса IP54 (0,75...90 кВт, 380 В).

Основные характеристики линейки ПЧВЗ:

- мощность до 90 кВт;
- встроенный входной дроссель;
- возможность управления синхронными двигателями;
- «спящий» режим;
- пожарный режим;
- контроль расхода;
- контроль натяжения ремня;
- встроенный ПИ-регулятор;
- вольт-частотный или векторный алгоритмы управления.

Преобразователи частоты ОВЕН ПЧВ имеют встроенный гальванически изолированный интерфейс RS-485, предназначенный для программирования и диагностики ПЧВ с помощью программы-конфигуратора, обмена данными по сети между ПЧВ и другими устройствами АСУ ТП (ПЛК, SCADA). Набор встроенных протоколов зависит от конкретной модели ПЧВ. Протокол Modbus RTU поддерживают все ПЧ.

Преобразователи MICROMASTER 440 [16], которые являются серийными преобразователями для регулирования трехфазных электродвигателей. Отдельные поставляемые модели имеют диапазон мощностей 120 Вт при однофазном входе и до 75 кВт при трехфазном входе.

Преобразователи оснащены микропроцессорной системой управления и используют самые современные технологии с IGBT модулями – транзисторами.

Обширные функции защиты обеспечивают эффективную защиту

преобразователя и электродвигателя.

MICROMASTER 440 с заводскими установками является идеальным для широкой области простых применений регулирования скорости.

Основные характеристики:

- легко устанавливать, параметризовать и пускать в эксплуатацию;
- малое время отклика на сигналы управления;
- соответствует международным нормам электромагнитной совместимости;
- может работать с источниками энергии сравнимой мощности;
- обширный набор параметров, которые дают возможность конфигурирования для широких областей применения;
- простое присоединение проводов;
- аналоговые выходы 0-20 мА;
- 2 аналоговых входа: AIN 1 - 0-10В, 0-20мА или -10 до +10В, AIN 2 - 0-10В, 0-20мА;
- два аналоговых входа могут использоваться как 7-й и 8-й дискретные входы;
- высокая частота коммутации для бесшумной работы электродвигателя;
- внешние опции для обмена данными с компьютером, базовая панель обслуживания (ВОР), расширенная панель оператора (АОР) и модули передачи данных по шине Profibus.

Проанализировав технических характеристики преобразователей частоты, выберем ОВЕН ПЧВЗ, как относительно недорогой и соответствующий требованиям разрабатываемой АСУ.

5.5 Выбор газоанализатора

Измерение состава дымовых газов можно осуществить с помощью нескольких принципов измерения, а именно: инфракрасный, ионизационный, люминесцентный, магнитный, пневматический, термокондуктометрический и

ультрафиолетовый.

Газоанализаторы делятся на несколько видов исполнения:

- стационарные;
- переносные;
- портативные.

Особенностью выбора газоанализатора служит количество каналов измерения и измеряемых компонентов. Также стоит отметить, что при выборе газоанализатора необходимо учитывать диапазон измерений отдельных компонентов смеси газа. В таблице 10 рассмотрены характеристики некоторых газоанализаторов разных производителей [17-19].

Таблица 10 – Технические характеристики газоанализаторов

Наименование	SWG 300	АКВТ-01	АГ-0011
Токовый выход	4...20 мА	4–20 мА	4–20 мА
Температура дымовых газов	До 1700 °С	До 70 °С	До 50 °С
Каналы измерения	O ₂	O ₂	O ₂

Из таблицы 10, видно, что наиболее подходящим и лучшим вариантом является «SWG 300» [17], поэтому в качестве газоанализатора выбираем «SWG 300», так как он соответствует необходимым техническим требованиям.

5.6 Выбор ПЛК

В данной работе ПЛК выполняет функции регулирующего устройства. Ниже представлен сравнительный обзор ПЛК различных производителей.

Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК [20] предназначен для решения задач автоматических систем средней и высокой степени сложности. Конструкция данного контроллера – модульная, что

является значительным преимуществом, так как проектируемая система возможно будет расширяться, а это устройство позволяет докупить необходимые модули, не меняя основного устройства.

Рассмотрим также ПЛК Modicon M340 [21], отличительными чертами которого является гибкость и надежность. При интегрировании в систему ПЛК предоставляет встроенные решения Plug&Work с другими устройствами Telemecanique. Новые возможности решения Unity позволяют упростить процесс программирования и сократить временные издержки. Типичные области применения контроллера Modicon M340: нефтехимическая и цементная отрасли, металлургия, энергетика, туннели и аэропорт. К недостатку данного устройства можно отнести значительно большую стоимость в сравнении с контроллером ЭЛСИ-ТМК. Поэтому поддержим отечественного производителя и выберем ЭЛСИ-ТМК, который обеспечивает надежность, гибкость и функциональность системы управления за более низкую цену.

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.004. СО.

6 Разработка принципиальной электрической схемы шкафаавтоматизации

Состав необходимых приборов и средств автоматизации, используемых для реализации АСР подачи и сжигания композиционного топлива на основе отходов в паровом котле с циркулирующим кипящем слоем, а также и связей между ними отражает принципиальная электрическая схема, которая приведена на первом листе с шифром ФЮРА.421000.004 Э4.

Для разработки принципиальной электрической схемы необходимо произвести необходимые действия:

- нанести на схему технические средства автоматизации с соответствующими стандартами;
- произвести соединение проводок с клеммами устройств по требованиям завода изготовителя оборудования;

– произвести нумерацию проводников.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81 [22]. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

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

Измеряемые величины преобразуются в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА, данный сигнал поступает на преобразователи измерительные разделительные ЕТ 422, которые выступают в роли устройства гальванической развязки, а также как барьеры искрозащиты, для защиты микропроцессорного контроллера. После ЕТ 422 унифицированный токовый сигнал поступает на вход контроллера ЭЛСИ-ТМК, и на модуль ввода аналоговых сигналов ТА 715 24IDC А-01. Информация с данного модуля передается на контроллер при помощи Ethernet.

Контроллер обрабатывает информацию, полученную с полевого уровня. На основе программно заданных алгоритмов формирует управляющий сигнал, который передается на блок управления электродвигателем. В соответствии с сигналами управления силовые ключи блока управления коммутируют цепи нагрузки обмотки электродвигателя исполнительного механизма.

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

Схема электрическая принципиальная АСР процесса топливоподачи и горения композиционного топлива на основе отходов, приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 Э4.

Совместно с разработкой чертежей электрической схемы соединений системы автоматизации в необходимо составить перечень элементов. Перечень элементов для разработанной электрической схемы соединений АСР процесса топливоподачи и горения композиционного топлива на основе отходов представлен на листе ФЮРА.421000.004 ПЭ.

7 Разработка монтажной схемы АСР

Монтажная схема предназначена для выполнения монтажных работ. Эту схему также используют при эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ. В данной работе монтажная схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на листе ФЮРА.421000.004 Э5.

Для разработки монтажной схемы используются:

- функциональная схема;
- принципиальная электрическая схема;
- техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации и других средств:

 - техническое описание;
 - инструкция по эксплуатации;
 - общие виды щитовых и других конструкций.

На первом листе верхней части схемы как правило располагается 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 исполнительные механизмы. Для организации разводки сети питания внешних устройств предполагается использовать кабель КВВГБ 3х2,5.

На втором листе чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для регулирования технологических параметров путем подачи на них аналоговых. 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

Щиты автоматизации используются в качестве оболочки для монтируемых на них контролирующих и управляющих приборах технологического процесса, сигнализирующей аппаратуры, контрольно-

измерительной аппаратуры, аппаратов, коммутирующих управляющее воздействие, различных защитных и блокирующих устройств, а также элементов связи между данными устройствами. Щиты устанавливаются в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

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.

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.004 ВО.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

При составлении схемы общего вида следует учитывать конструктивные особенности щита управления, а также его степень защиты от прикосновения к токоведущим частям.

Для размещения средств автоматизации используем щит фирмы Rittal, высотой 1600 мм, шириной 800 мм и глубиной 500 мм – Rittal VX 8865.000 1600x800x500 мм.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, а также перечень составных частей.

9 Расчет оптимальных параметров ПИ-регулятора

9.1 Общие сведения

Автоматическая система регулирования (АСР) топлива предназначена для обеспечения потребителя требуемым количеством пара заданного качества.

Схемы АСР приведены в [22]. Их структура зависит от компоновки электростанции (блочная или с поперечными связями), вида сжигаемого топлива

и режима работы парогенератора. В данной работе рассмотрен расчет АСР топлива барабанного парогенератора, сжигающего пылеугольное топливо в регулирующем режиме на электростанции с поперечными связями.

АСР топлива должна обеспечить [22]:

- устойчивую работу устройства управления и ограниченную частоту его включения (не более шести включений в минуту);
- поддержание давления пара в главной паровой магистрали с отклонением не более 2% номинального значения давления;
- поддержание расхода пара в главной паровой магистрали с отклонением не более 3% номинального значения расхода;
- протекание переходных процессов, вызываемых скачкообразным изменением заданного значения нагрузки на 10% (при исходной номинальной нагрузке) с интегральной квадратичной оценкой $1000 (\%)^2 \text{ с}$.

Для пылеугольных парогенераторов преимущественно применяют АСР расхода топлива с использованием сигнала по «теплоте» (схема задание – теплота). Импульс по «теплоте» Q формируется из двух сигналов: расхода пара D и скорости изменения давления в барабане котла dP_{σ}/dt :

$$Q = D \pm K_a \cdot dP_{\sigma}/dt, \quad (1)$$

где K_a - постоянный коэффициент.

Динамика сигнала по «теплоте» при внутренних и внешних возмущениях (расходом топлива V и давлением в магистрали P_M) приведена в [22]. Правильным выбором коэффициента K_a можно добиться инвариантности (независимости) сигнала по «теплоте» к внешним возмущениям.

9.2 Расчет АСР расхода топлива

Можно выделить следующие этапы расчета АСР расхода топлива:

- расчет статических характеристик элементов системы;
- статическая настройка АСР;
- расчет динамических характеристик объекта регулирования;
- расчет оптимальных настроек регуляторов;

– расчет и построение переходного процесса в замкнутой АСР; оценка качества переходного процесса;

9.2.1 Расчет статических характеристик элементов системы

Статические характеристики требуются для расчета коэффициентов передачи элементов АСР. В АСР расхода топлива определяют статические характеристики измерительных преобразователей давления пара в магистрали и в барабане, расхода пара и регулирующего органа подачи топлива в парогенератор.

9.2.1.1 Расчет коэффициента передачи измерительных преобразователей давления

В качестве измерительных преобразователей давления наибольшее распространение получили манометры типа Rosemount 3051СА. Статические характеристики измерительных преобразователей определяли при лабораторной поверке прибора.

В таблице 11 приведены результаты экспериментального определения статической характеристики измерительного преобразователя Rosemount 3051СА, используемого для измерения давления в магистрали и в барабане парогенератора.

Таблица 11 – Результаты экспериментального определения статической характеристики измерительного преобразователя давления Rosemount 3051СА

Давление, МПа	4	8	12	16
Ток, мА	1,2	2,4	3,6	4,8

По таблице 11 строится статическая характеристика измерительного преобразователя (рисунок 7).

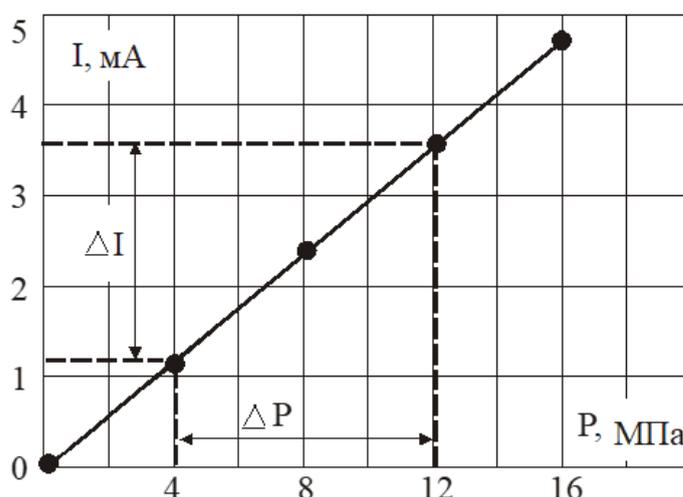


Рисунок 7 – Статическая характеристика измерительного преобразователя

Коэффициенты передачи измерительных преобразователей давления в барабане парогенератора и магистрали рассчитываются по формуле:

$$K_{PБ} = K_{PМ} = \frac{\Delta I}{\Delta P} = 0,3, \quad (2)$$

где $K_{PБ}$, $K_{PМ}$ – коэффициенты передачи измерительных преобразователей давления в барабане и магистрали;

ΔI – изменение значение выходного сигнала датчика давления;

ΔP – соответствующий ему перепад давления.

9.2.1.2 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода пара

Первичными измерительными преобразователями расходомеров пара служат сужающие устройства (расходомерные диафрагмы) с дифманометрами - расходомерами чаще всего с предельными перепадами давлений 0,4; 0,63; 1,0; 1,6 кгс/см² [10]. Статическая характеристика комплекта измерительного преобразователя расхода пара определяется при его расчете.

В таблице 2 приведены результаты расчетов статической характеристики комплекта: расходомерной диафрагмы и измерительного преобразователя расхода пара Rosemount 3051SMV.

Таблица 12 – Результаты расчетов статической характеристики комплекта измерительного преобразователя расхода пара

Расход, т/ч	260	265	270	275	280
Ток, мА	0	1,2	2,40	3,60	4,80

По таблице 12 строится статическая характеристика комплекта измерительного преобразователя расхода пара (рисунок 8).

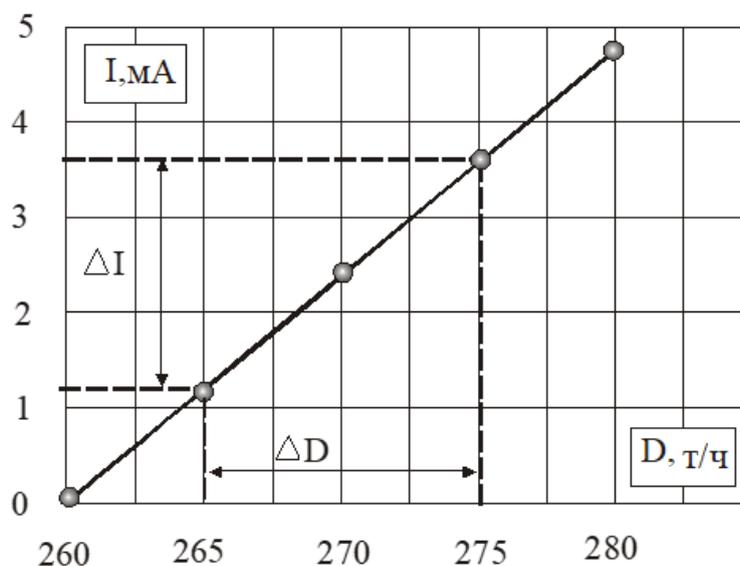


Рисунок 8 – Статическая характеристика комплекта измерительного преобразователя расхода пара

Значение коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода пара K_D (мА/ (т/ч)) находится по формуле:

$$K_D = \frac{\Delta I}{\Delta D} = 0,0045, \quad (3)$$

где ΔI – изменение значение выходного сигнала датчика расхода;
 ΔD – изменение расхода пара.

9.2.2 Статическая настройка АСР

В АСР расхода топлива используются стабилизирующий и

корректирующий регуляторы, дифференциатор. Перед включением их в работу следует провести их статическую настройку.

9.2.3 Расчет динамических характеристик объекта регулирования

При аналитических расчетах динамических характеристик каждый из регулируемых участков представляют последовательным соединением звеньев с сосредоточенными параметрами: топливоподающих устройств, топки, испарительных и пароперегревательных участков, первичных измерительных преобразователей (датчиков). Хотя такая замена участков регулирования с распределенными параметрами и не является строго корректной, она вполне достаточна для инженерных расчетов на стадии предварительной оптимизации параметров, подлежащих при наладке АСР.

На рисунке 9 приведен вариант структурной схемы АСР расхода топлива, из которого могут быть получены другие варианты схем [22].

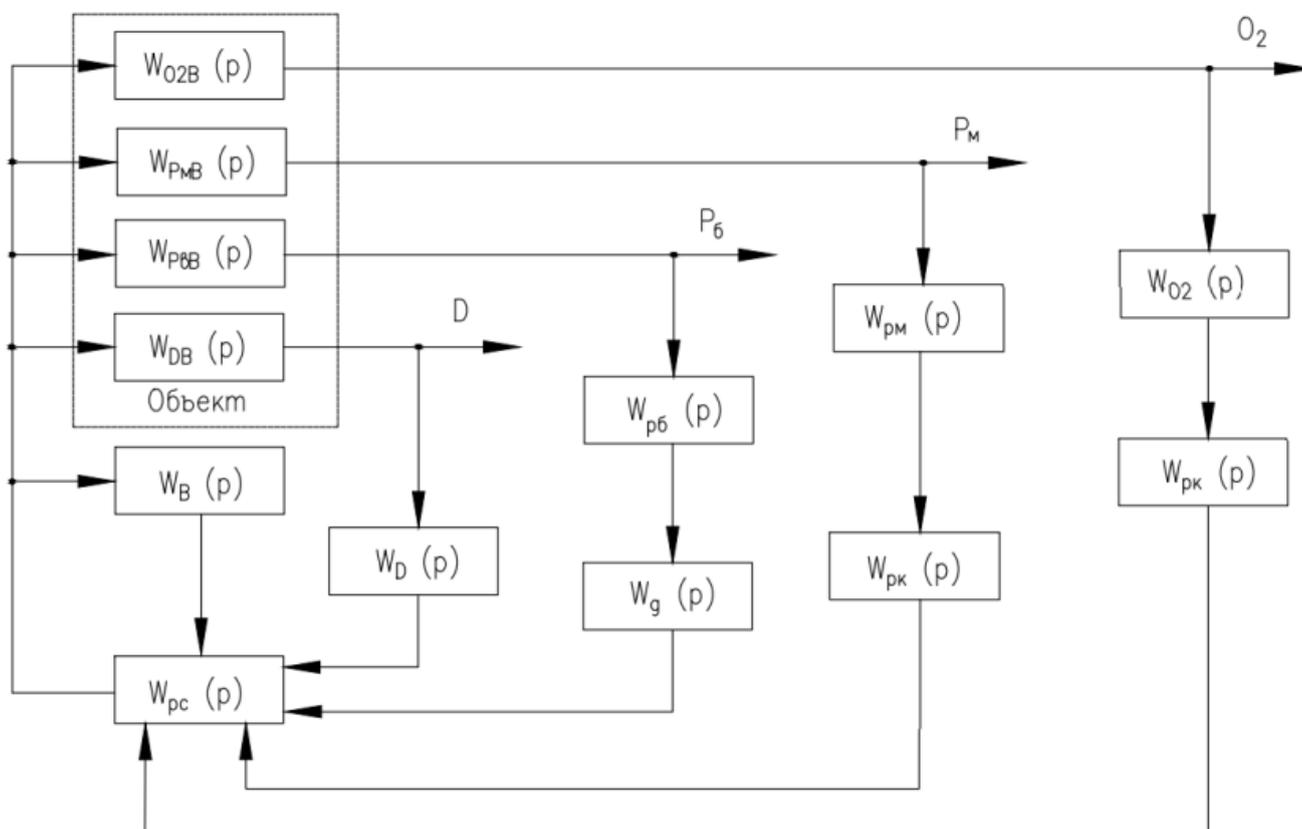


Рисунок 9 – Вариант структурной схемы АСР расхода топлива [22]

На схеме приняты обозначения:

$W_{O_2,B}(p)$ - передаточная функция объекта по каналу «Расход топлива - содержание O_2 »;

$W_{PM,B}(p)$ - передаточная функция объекта по каналу «Расход топлива - давление в магистрали»;

$W_{PB,B}(p)$ - передаточная функция объекта по каналу «Расход топлива - давление в барабане»;

$W_{D,B}(p)$ - передаточная функция объекта по каналу «Расход топлива - расход пара»;

$W_{O_2}(p)$ - передаточная функция кислородомера;

$W_{PM}(p)$ - передаточная функция измерительного преобразователя давления в магистрали;

$W_{PB}(p)$ - передаточная функция измерительного преобразователя давления в барабане котла;

$W_D(p)$ - передаточная функция измерительного комплекса расхода пара;

$W_B(p)$ - передаточная функция измерительного комплекса подачи топлива;

$W_{\text{диф}}(p)$ - передаточная функция дифференциатора;

$W_{PK}(p)$ - передаточная функция корректирующего регулятора;

$W_{PC}(p)$ - передаточная функция стабилизирующего регулятора.

Особенность структурной схемы (рисунок 9) состоит в том, что в передаточных функциях в регулировании котла учтены внутренние связи между выходными параметрами. Опуская часть связей на рисунке 9 и комбинируя остальные, можно получить любую из схем АСР топлива. При аналитических расчетах динамических характеристик [22] каждый из регулируемых участков представляют последовательным соединением звеньев с сосредоточенными параметрами: топливоподающих устройств, топки, испарительных и пароперегревательных участков, первичных измерительных преобразователей (датчиков).

Хотя такая замена участков регулирования с распределенными параметрами и не является строго корректной, она вполне достаточна для инженерных расчетов на стадии предварительной оптимизации параметров, подлежащих при наладке АСР.

Исходные данные для расчета (см. таблица 13).

Таблица 13 – Исходные данные

№ п.п.	Наименование величин	Обозначение	Значение	Размерность
1	Лучевоспринимающая поверхность трубных экранов	$H_{л}$	1200	m^2
2	Приведенный коэффициент термического сопротивления слоя загрязнений	ε	8	$m^2 \cdot c \cdot ^\circ C / кДж$
3	Лучистая теплота, воспринимаемая поверхностями нагрева топки (номинальный режим)	$Q_{лн}$	4400	$кДж/^\circ C$
4	Расчетный расход топлива (номинальный режим)	$V_{рн}$	3,46	кг/с
5	Потери с механическим недожогом	q_4	0.030	-
6	Объем продуктов сгорания на единицу топлива, приведенный к нормальным условиям	$V_{г}$	2.2	$m^3/кг$
7	Удельная теплоемкость продуктов сгорания	$C_{г}$	1.50	$кДж/(кг \cdot ^\circ C)$
8	Плотность продуктов сгорания	$\rho_{г}$	0.82	$кг/m^3$
9	Приведенный коэффициент излучения топки	$a_{г}$	0.4	-
10	Коэффициент излучения абсолютно черного тела	σ_0	$5.67 \cdot 10^{-8}$	$кДж/(m^2 \cdot ^\circ C^4)$
11	Коэффициент К	K	0.10	-
12	Температура газов на выходе из топки	$T_{н}$	1205	К
13	Средняя температура загрязнений (зола, шлака, футеровки, обмазки) на наружной поверхности (номинальный режим)	$T_{зн}$	1170	К
14	Масса слоя загрязнений	$G_з$	3000	кг
15	Удельная теплоемкость слоя загрязнений	$C_з$	0.3	$кДж/(кг \cdot ^\circ C)$
16	Объем воды в парогенерирующей части котла	$V_{в}$	200	m^3
17	Объем пара в парогенерирующей части котла	$V_{п}$	40	m^3
18	Плотность воды в парогенерирующей части котла	$\rho_{в}$	625	$кг/m^3$
19	Плотность пара в парогенерирующей части котла	$\rho_{п}$	45	$кг/m^3$
20	Теплота парообразования	r	1040	$кДж/кг$
21	Масса металла парогенерирующей части котла	$G_{м}$	300000	кг

Продолжение таблицы 13

22	Теплоемкость металла	C_M	0.553	кДж/(кг·°С)
23	Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхно-сти экранных труб топки	α_2	5200	кДж/(м ² ·ч·°С)
24	Коэффициент теплопроводности металла экранных труб топки при его средней температуре	λ_M	126	кДж/(м·ч·°С)
25	Внутренний диаметр экранных труб топки	d_{BH}	0.025	м
26	Наружный диаметр экранных труб топки	d_H	0.033	м
27	Внутренняя поверхность трубных экранов	H_B	800	м ²
28	Энтальпия котловой воды	i'	1550	кДж/кг
29	Энтальпия пара в барабане	i''	2645	кДж/кг
30	Температура насыщения	t''	300	°С
31	Энтальпия питательной воды	$i_{ПВ}$	890	кДж/кг
32	Объем паропроводов от барабана котла до регулирующих клапанов турбины	Φ	92	м ³
33	Потеря давления на паропроводах в номинальном режиме	ΔP_1	10 ⁶	Па
34	Потеря давления на регулирующих клапанах турбины в номинальном режиме	ΔP_2	7·10 ⁵	Па
35	Паропроизводительность котлоагрегата	D	75	т/ч

Расчет системы производится для степени затухания переходного процесса $\psi = 0,8$.

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,8) = 0,256.$$

При последующих расчетах приняты следующие допущения:

передаточные функции измерительных преобразователей давления и расхода пара представляют собой усилительные звенья:

$$W_{PM}(P) = K_{PM} = 0,3;$$

$$W_{P6}(P) = K_{K6} = 0,3;$$

$$W_D(P) = K_D = 0,0045,$$

где K_{PM} , K_{P6} , K_D – коэффициенты передачи измерительных преобразователей давления магистрали, в барабане, расхода пара.

9.2.3.1 Участок «Давление в барабане – расход топлива»

Передаточная функция этого участка $W_{P_6,B}(p)$ может быть представлена последовательным соединением звеньев: топливоподающее устройство $W_{TY}(p)$; тепловосприятие испарительных поверхностей – расход топлива $W_{QB}(p)$; давление в барабане – тепловосприятие испарительных поверхностей $W_{P_6,Q}(p)$. Таким образом:

$$W_{P_6,B}(p) = W_{QB}(p) \cdot W_{P_6,Q}(p) \cdot W_{TY}(p). \quad (4)$$

Передаточная функция топливоподающего устройства:

$$W_{TY}(p) = e^{-p \cdot \tau_{TY}} = e^{-P \cdot 10 \frac{\text{кг/с}}{\text{об/мин}}},$$

Значение τ_{TY} для котлов с прямым вдуванием пыли $\tau_{TY} \approx 5 - 10$ с.

9.2.3.1 Передаточная функция котла по каналу «Тепловосприятие испарительных поверхностей – расход топлива»

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{QB}(p) = \frac{H_L}{\varepsilon} \cdot \frac{\kappa_Q \cdot \kappa_\Gamma}{1 - \kappa_3 \cdot \kappa_\Gamma} \cdot \frac{1}{T_{\Gamma,p} + 1} = \frac{1200}{8} \cdot \frac{135,547 \cdot 58,72 \cdot 10^{-6}}{1 - 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot 58,72 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{1}{2,77p + 1} = \frac{0,703}{0,005p + 1}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{°C}}{\text{с}};$$

где H_L – лучевоспринимающая поверхность трубных экранов, м²;

ε – приведенный коэффициент термического сопротивления слоя загрязнения, м² · °С/кДж;

$$\kappa_Q = \frac{\frac{Q_{л.н}}{B_n}}{B_n V_{\Gamma,c} \rho_{\Gamma} + 4a \cdot K^4 T_n^3} = \frac{\frac{4400}{3,46}}{3,46 \cdot 2,2 \cdot 1,5 \cdot 0,82 + 4 \cdot 2,7216 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1^4 \cdot 1205^3} = 42,98 \frac{\text{с}^2}{\text{кг}},$$

где $Q_{л.н}$ – лучистая теплота, воспринимаемая поверхностями нагрева топki, кДж/°С; (индекс «н» здесь и далее обозначает номинальный режим);

$$B_n = \frac{B_{p,n}}{1 - q_4} = \frac{3,36}{1 - 0,03} = 3,567, \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

где $B_{p,n}$ – расчетный расход топлива, кг/с;

q_4 – потери с механическим недожогом;

V_2 – объем продуктов сгорания на единицу топлива, приведенный к нормальным условиям, м³/кг;

c_2 – удельная теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(кг °С);

ρ_2 – плотность продуктов сгорания, кг/м³;

$$a^* = a_T \cdot N_L \cdot \sigma_0 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 1200 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-3} = 2,7216 \cdot 10^{-8}, \frac{\text{кДж}}{\text{с} \cdot \text{К}^4};$$

где a_m – приведенный коэффициент излучения топки (из теплового расчета котла);

σ_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела. $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴);

K – коэффициент, определяемый в зависимости от вида топлива, способа его сжигания, вида горелочного устройства и угла его наклона к горизонту (из теплового расчета котла);

T_n – температура газов на выходе из топки, К;

$$K_T = \frac{4a^* K^4 T_n^3}{\frac{N_L}{\varepsilon} + 4a^* T_{3,n}^3} = \frac{4 \cdot 2,7216 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1^4 \cdot 1205^3}{\frac{1200}{8} + 4 \cdot 2,7216 \cdot 10^{-8} \cdot 1170^3} = 1,092 \cdot 10^{-4};$$

где $T_{3,n}$ – средняя температура загрязнения (золы, шлака, футеровки, обмазки) на наружной поверхности, К;

$$K_3 = \frac{4a^* K^4 T_{3,n}^3}{V_n V_T c_T \rho_T + 4a^* K^4 T_n^3} = \frac{4 \cdot 2,7216 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1^4 \cdot 1170^3}{3,46 \cdot 2,2 \cdot 1,5 \cdot 0,82 + 4 \cdot 2,7216 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1^4 \cdot 1205^3} = 0,664;$$

$$T_T = \frac{G_3 c_3}{\frac{N_L}{\varepsilon} + 4a^* T_{3,n}^3} = \frac{3000 \cdot 0,3}{\frac{1200}{8} + 4 \cdot 2,7216 \cdot 10^{-8} \cdot 1170^3} = 5,157 \cdot 10^{-3}, \text{ с};$$

где G_3 – масса слоя загрязнения, кг;

c_3 – удельная теплоемкость слоя загрязнения, кДж/(кг °С).

9.2.3.1.2 Передаточная функция котла по каналу «Давление в барабане – тепловосприятие испарительных поверхностей»

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{P_6 Q}(p) = \frac{1}{Ap(Tp + 1)} = \frac{1}{1,982P \cdot (0,02P + 1)}, \frac{\text{МПа}}{\text{кДж}};$$

$$A = A' + A'' + A_M = 0,935 + 9,385 \cdot 10^{-3} + 1,038 = 1,982, \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}},$$

где

$$T = \frac{A' + A''}{A} \cdot T_M = \frac{0,935 + 9,385}{1,982} \cdot 0,042 = 0,02, \text{ с};$$

$$\frac{\partial t''}{\partial P_6} = \frac{(203,745 - 198,866)}{(16,38 - 15,6) \cdot 10^{-6}} = 6,255 \cdot 10^{-6};$$

$$\frac{\partial \rho_B}{\partial P_6} = \frac{(864,54 - 861,72)}{(16,38 - 15,6) \cdot 10^{-6}} = 3,618 \cdot 10^{-6};$$

$$\frac{\partial \rho_{II}}{\partial P_6} = \frac{(44,02 - 42,53)}{(16,38 - 15,6) \cdot 10^{-6}} = 1,904 \cdot 10^{-6};$$

$$\frac{\partial i'}{\partial P_6} = \frac{(863,844 - 853,08)}{(16,38 - 15,6) \cdot 10^{-6}} = 1,38 \cdot 10^{-5};$$

$$\frac{\partial i''}{\partial P_6} = \frac{(2792,884 - 2791,48)}{(16,38 - 15,6) \cdot 10^{-6}} = 1,8 \cdot 10^{-6};$$

$$A' = V_B \cdot \left(\frac{\rho_B r}{\rho_B - \rho_{II}} \cdot \frac{\partial \rho_B}{\partial P_6} + \rho_B \cdot \frac{\partial i'}{\partial P_6} \right) \cdot 10^{-6} = 200 \cdot \left(\frac{625 \cdot 1040}{625 - 45} \cdot 3,618 \cdot 10^{-6} + 625 \cdot 1,38 \cdot 10^{-5} \right) \cdot 10^{-6} = 0,935, \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}};$$

$$A'' = V_{II} \cdot \left(\frac{\rho_{II} r}{\rho_B - \rho_{II}} \cdot \frac{\partial \rho_{II}}{\partial P_6} + \rho_{II} \cdot \frac{\partial i''}{\partial P_6} \right) \cdot 10^{-6} = 40 \cdot \left(\frac{45 \cdot 1040}{625 - 45} \cdot 1,904 \cdot 10^{-6} + 45 \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \right) \cdot 10^{-6} = 9,385 \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}};$$

$$A_M = G_M c_M \cdot \frac{\partial t''}{\partial P_6} \cdot 10^{-6} = 300000 \cdot 0,553 \cdot 6,255 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6} = 1,038, \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}};$$

$$T_M = \frac{G_M c_M}{\alpha_B^* H_B} = \frac{300000 \cdot 0,553}{4918,24 \cdot 800} = 0,042, \text{ с};$$

где V_B, V_{II} – объемы воды и пара в парогенерирующей части котла, м^3 ;

ρ_B, ρ_{II} – плотности воды и пара, $\text{кг}/\text{м}^3$;

r – теплота парообразования, $\text{кДж}/\text{кг}$;

G_M – масса металла экранов, кг ;

c_M – теплоемкость металла экранов, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

α_B^* – условный коэффициент теплоотдачи от металла к воде, определяется

по формуле

$$\alpha_B^* = \frac{\alpha_B}{1 + \frac{0,2 \cdot d_{BH} \cdot \alpha_B}{\lambda_M} \cdot \ln \frac{d_H}{d_{BH}}} = \frac{5200}{1 + \frac{0,2 \cdot 0,025 \cdot 5200}{126} \cdot \ln \frac{0,033}{0,025}} = 4918,24, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}};$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи от металла к воде, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$;

λ_M – коэффициент теплопроводности металла труб экрана, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$;

$d_{вн}, d_{н}$ – внутренний и наружный диаметры труб экрана, м;

H_{ϵ} – внутренняя поверхность трубных экранов, м²;

i', i'' – энтальпия воды и пара, кДж/кг;

t'' – температура насыщения, °С;

$\partial i''/\partial P_{\epsilon}, \partial i'/\partial P_{\epsilon}, \partial \rho_{в}/\partial P_{\epsilon}, \partial \rho_{п}/\partial P_{\epsilon}, \partial t''/\partial P_{\epsilon}$ – частные производные по давлению от соответствующих величин. Величины определяются по таблице насыщенного пара [3].

Передаточная функция участка:

$$W_{P_{\epsilon}B}(p) = W_{Q_{B}}(p) \cdot W_{P_{\epsilon}Q}(p) \cdot W_{T_{Y}}(p) = \frac{0,703}{0,005p+1} \cdot \frac{1}{1,982P \cdot (0,02P+1)} \cdot e^{-P \cdot 10} = \frac{0,703 \cdot e^{-P \cdot 10}}{(0,04p+1,98) \cdot (0,005p+1)}$$

9.2.3.2 Участок «Расход пара – расход топлива»

Передаточная функция этого участка $W_{DB}(p)$ может быть представлена последовательным соединением звеньев: запаздывание в топливоподающих устройствах $W_{T_{Y}}(p)$; тепловосприятие испарительных поверхностей – расход топлива $W_{Q_{B}}(p)$; расход пара – тепловосприятие испарительных поверхностей $W_{DQ}(p)$.

Таким образом

$$W_{DB}(p) = W_{T_{Y}}(p) \cdot W_{Q_{B}}(p) \cdot W_{DQ}(p), \frac{\text{кг/с}}{\text{кг/с}} \quad (5)$$

9.2.3.2.1 Передаточная функция «Тепловосприятие испарительных поверхностей – расход топлива»

$W_{Q_{B}}(P)$ см. пункт 9.2.3.2.

9.2.3.2.2 Передаточная функция «Расход пара – тепловосприятие испарительных поверхностей»

Передаточная функция участка имеет вид:

$$W_{DQ}(p) = \frac{\frac{D_{\Pi}}{Q_{Л.Н}}}{T_D p + 1} = \frac{\frac{20,83}{4400}}{6,777 \cdot 10^{-4} p + 1} = \frac{3}{0,119p + 176}, \quad \frac{\text{кг/с}}{\text{кДж/}^{\circ}\text{С}};$$

$$T_D = \frac{A \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_{\Pi}}{D_{\Pi} \cdot (i'' - i_{\Pi.В})} = \frac{1,982 \cdot 45 \cdot 40}{20,83 \cdot (2645 - 890)} = 6,777 \cdot 10^{-4}, \text{ с.}$$

где $i_{н.в}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг;

Формулы расчета коэффициента А см. п. 9.2.3.1.2.

Передаточная функция участка:

$$\begin{aligned} W_{DB}(p) &= W_{ТУ}(p) \cdot W_{QB}(p) \cdot W_{DQ}(p) = e^{-P \cdot 10} \cdot \frac{0,703}{0,005p + 1} \cdot \frac{3}{0,119p + 176} \\ &= \frac{2,111 \cdot e^{-P \cdot 10}}{(0,005p + 1) \cdot (0,119p + 176)}, \quad \frac{\text{кг/с}}{\text{кг/с}}. \end{aligned}$$

9.2.3.2.2 Участок давление в барабане – расход пара- внешнее возмущение

Для парообразующих поверхностей нагрева передаточная функция котла по каналу давление в барабане – расход пара с достаточной для практических расчетов точностью может быть представлена в виде:

$$W_{P6D}(p) = -\frac{\beta}{Ap} = -\frac{1,121 \cdot 10^3}{1,982p} = -\frac{565,368}{p};$$

$$\beta = \frac{\rho_{В} \cdot r}{\rho_{В} - \rho_{\Pi}} = \frac{625 \cdot 1040}{625 - 45} = 1,121 \cdot 10^3,$$

где формулы расчета коэффициента А см. п. 9.2.3.1.2;

Остальные обозначения приведены выше.

Из условия материального баланса расхода пара в паропроводе линеаризованное уравнение его динамики для малых отклонений параметров может быть представлено в виде:

$$\Delta D \cdot \kappa_D (T_D p + 1) - \Delta P_6 \cdot \kappa_6 \cdot (T_6 p + 1) = f, \quad (6)$$

где f – возмущение расходом пара на турбину;

$$\kappa_D = 1 + \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} + \frac{\Delta P_1}{\rho_{\Pi}} \cdot \frac{\partial \rho_{\Pi}}{\partial P} = 1 + \frac{10^6}{7 \cdot 10^5} + \frac{10^6}{45} \cdot 1,904 \cdot 10^{-6} = 2,471;$$

$$T_{D1} = \frac{\Phi}{\kappa_D} \cdot \frac{\partial \rho_{\Pi}}{\partial P} \cdot \frac{2 \cdot \Delta P_1}{D_{\Pi}} = \frac{92}{0,0045} \cdot 1,904 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2 \cdot 10^6}{75} = 1,89;$$

$$\kappa_M = \frac{D_{\Pi}}{2 \cdot \Delta P_1} + \frac{D_H}{2 \cdot \rho_{\Pi}} \cdot \frac{\partial \rho_{\Pi}}{\partial P} = \frac{75}{2 \cdot 10^6} + \frac{75}{2 \cdot 45} \cdot 1,904 \cdot 10^{-6} = 5,516 \cdot 10^{-5};$$

$$T_M = \frac{\Phi}{\kappa_B} \cdot \frac{\partial \rho_{\Pi}}{\partial P} = \frac{92}{5,516 \cdot 10^{-5}} \cdot 1,904 \cdot 10^{-6} = 3,176;$$

где Φ - объем паропроводов от барабана котла до регулирующих клапанов турбины, м³;

ΔP_1 - Потеря давления на паропроводах в номинальном режиме, Па;

ΔP_2 - Потеря давления на регулирующих клапанах турбины в номинальном режиме, Па;

Остальные обозначения даны выше.

Из совместного решения (*) и (**) находятся передаточные функции:

По каналу давления в барабане – внешнее возмущение расходом пара

$$W_{P_{bf}}(p) = -\frac{\kappa_{pf}}{T_0^2 p^2 + T_1 p + 1} = -\frac{1,813 \cdot 10^4}{149,79 p^2 + 82,41 p + 1} = -\frac{18129,705}{149,79 p^2 + 82,41 p + 1},$$

По каналу расхода пара из котла – внешнее возмущение

$$W_{Df}(p) = \frac{\kappa_{Df} \cdot p}{T_0^2 p^2 + T_1 p + 1} = \frac{32,067 \cdot p}{149,79 p^2 + 82,41 p + 1},$$

$$T_0^2 = \frac{A \cdot \kappa_D \cdot T_{D1}}{\beta \cdot \kappa_M} = \frac{1,982 \cdot 0,0045 \cdot 1,89}{1,121 \cdot 10^3 \cdot 5,516 \cdot 10^{-5}} = 149,79,$$

$$T_1 = T_M + \frac{A \cdot \kappa_D}{\beta \cdot \kappa_M} = 3,176 + \frac{1,982 \cdot 0,0045}{1,121 \cdot 10^3 \cdot 5,516 \cdot 10^{-5}} = 82,41,$$

$$\kappa_{pf} = \frac{1}{\kappa_M} = \frac{1}{5,516 \cdot 10^{-5}} = 1,813 \cdot 10^4,$$

$$\kappa_{Df} = \frac{A}{\beta \cdot \kappa_M} = \frac{1,982}{1,121 \cdot 10^3 \cdot 5,516 \cdot 10^{-5}} = 32,067.$$

9.2.3.2.3 Участок «Давление в магистрали - расход топлива»

Передаточную функцию участка давление в магистрали – расход топлива можно представить в виде:

$$W_{P_{MB}}(p) = \frac{k}{Tp + 1} \cdot W_{P_{6B}}(p) = \frac{0,405}{1,89p + 1} \cdot \frac{0,703 \cdot e^{-P \cdot 10}}{(0,04p + 1,98) \cdot (0,005p + 1)}$$

$$= \frac{0,285 \cdot e^{-P \cdot 10}}{(0,04p + 1,98) \cdot (0,005p + 1) \cdot (1,89p + 1)}, \quad \frac{\text{МПа}}{\text{кг/с}}$$

где $W_{P_{6B}}$ - определяется в разделе 9.2.3.1.2.

Коэффициенты k и T рассчитываются по формулам:

$$k = \frac{1}{\frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{\Delta P_2} + \frac{\Delta P_1}{\rho_{\text{п}}} \cdot \frac{\partial \rho_{\text{п}}}{\partial P}} = \frac{1}{\frac{10^6 + 7 \cdot 10^5}{7 \cdot 10^5} + \frac{10^6}{45} \cdot 1,904 \cdot 10^{-6}} = 0,405;$$

$$T = \frac{2 \cdot \Phi \cdot k \cdot \Delta P_1}{D} \cdot \frac{\partial \rho_{\text{п}}}{\partial P} = \frac{2 \cdot 92 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{75} \cdot 1,904 \cdot 10^{-6} = 1,89 \text{с},$$

где Φ – объем паропроводов от барабана котла до регулирующего клапана, м³;

ΔP_1 – потеря давления на паропроводах в номинальном режиме, Па;

ΔP_2 – потеря давления на регулирующих клапанах, Па;

Остальные обозначения даны выше.

9.2.4 Расчет оптимальных параметров настроек регуляторов

Для расчета оптимальных параметров настройки АСР предварительно задают критерии качества будущего переходного процесса в АСР, исходя из требований, изложенных в п.1.

АСР подачи топлива является каскадной с корректирующим и стабилизирующим регулятором. Ее задачей является компенсация внутренних и внешних возмущений при помощи одного управляющего воздействия: расхода топлива.

Структурная схема АСР расхода топлива (рисунок 9) состоит из двух замкнутых контуров регулирования: внутреннего и внешнего. Корректирующий регулятор предназначен для подавления внешних возмущений путем воздействия на задание стабилизирующему регулятору. Такое построение АСР характерно для регулирующего режима работы котла.

9.2.4.1 Параметрический синтез

9.2.4.1.1 Расчет параметров настройки дифференциатора

Процедура подбора состоит в следующем. Задаем значения T_d . Вычисляем k_d и F , строим графики $h_1(\tau)$ и $h_2(\tau)$. Визуально по графику оцениваем выбранные значения параметров дифференциатора.

Подбор значений k_d и T_d :

При $T_d = 0,15$,

$$k_d \cdot T_d \cdot k_{pf} = k_{Df}, \quad (7)$$

$$k_d = \frac{k_{Df}}{k_{pf} \cdot T_d} = \frac{32,067}{1,813 \cdot 10^4 \cdot 0,15} = 0,012.$$

Находим ВЧХ, переходные характеристики и передаточную функцию дифференциатора с помощью системы MATHCAD (рисунки 10-12).

	ВЧХ
	$R11(\omega) := \text{Re}(W_{Df}(P(\omega)))$
	$R12(\omega) := \text{Re}(-W_{P6f}(P(\omega)) \cdot W_{диф}(\omega))$
$T_d := 0.15$	$\tau := 0,1..100$
$k_d := \frac{k_{Df}}{k_{pf} \cdot T_d} = 0.012$	Переходные характеристики
Степень колебательности $\underline{m} := 0.477$	$h_1(\tau) := \frac{2}{\pi} \int_0^1 R11(\omega) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot \tau)}{\omega} d\omega$
$P(\omega) := i \cdot \omega$	$h_2(\tau) := \frac{2}{\pi} \int_0^1 R12(\omega) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot \tau)}{\omega} d\omega$
Передаточная функция дифференциатора	
$W_{диф}(\omega) := \frac{k_d \cdot T_d \cdot (i \cdot \omega)}{T_d \cdot (i \cdot \omega) + 1}$	

Рисунок 10 – Расчет параметров в системе MATHCAD

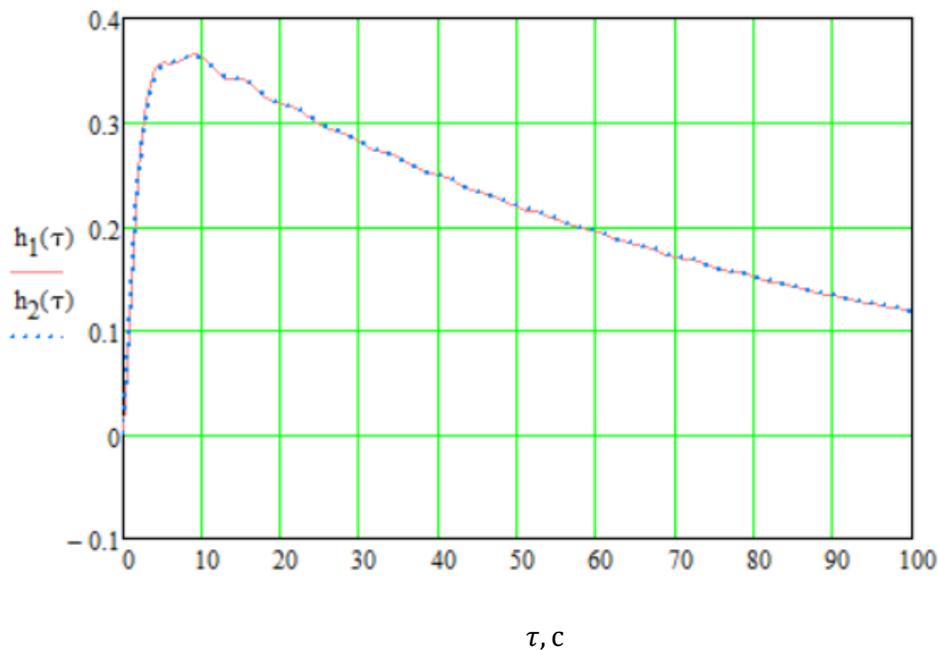


Рисунок 11 – График зависимости $h_1(\tau)$ и $h_2(\tau)$ от времени

$$h(\tau) := h_1(\tau) - h_2(\tau)$$

$$F := \int_0^{100} h(\tau)^2 d\tau = 4.294 \times 10^{-4}$$

$$W_{\text{диф}}(P) := \frac{k_d \cdot T_d \cdot P}{T_d \cdot P + 1}$$

Передаточная функция дифференциатора

$$W_{\text{диф}}(P) \rightarrow \frac{0.0017687596422879687 \cdot \text{function}}{0.15 \cdot \text{function} + 1}$$

Рисунок 12 – Расчет параметров в системе MATHCAD F

9.2.4.1.2 Расчет оптимальных параметров настройки стабилизирующего регулятора

Передаточная функция измерительного комплекса расхода пара:

$$W_D(P) = 0,0045,$$

Передаточная функция давления пара в магистрали:

$$W_{P_M}(P) = 0,3,$$

Передаточная функция датчика давления пара в барабане:

$$W_{P_6}(P) = 0,3,$$

Передаточная функция объекта регулирования:

$$W_{об1}(P) = W_{DB}(P) \cdot W_D(P) + W_{P_6B}(P) \cdot W_{P_6}(P) \cdot W_{диф}(P), \quad (8)$$

Диапазон изменения частоты:

$$\omega = 0,001 \dots 0,5.$$

В качестве метода расчета стабилизирующего регулятора принять метод РАФЧХ. Заменяем оператор $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$, в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования. Расчеты производились с помощью системы MATHCAD (см. рисунок 13,14).

$$R2(\omega) := \operatorname{Re}(W_{об1}(P(\omega))) \quad \operatorname{Im}2(\omega) := \operatorname{Im}(W_{об1}(P(\omega)))$$

R2(ω) =	Im2(ω) =
5.41478·10 ⁻⁵	-3.525·10 ⁻⁷
5.43138·10 ⁻⁵	-7.065·10 ⁻⁷
5.44785·10 ⁻⁵	-1.062·10 ⁻⁶
5.46421·10 ⁻⁵	-1.419·10 ⁻⁶
5.48045·10 ⁻⁵	-1.777·10 ⁻⁶
5.49657·10 ⁻⁵	-2.137·10 ⁻⁶
5.51257·10 ⁻⁵	-2.499·10 ⁻⁶
5.52845·10 ⁻⁵	-2.862·10 ⁻⁶
5.54422·10 ⁻⁵	-3.227·10 ⁻⁶
5.55987·10 ⁻⁵	-3.593·10 ⁻⁶
5.57541·10 ⁻⁵	-3.96·10 ⁻⁶
5.59084·10 ⁻⁵	-4.329·10 ⁻⁶
5.60614·10 ⁻⁵	-4.7·10 ⁻⁶
5.62134·10 ⁻⁵	-5.072·10 ⁻⁶
5.63642·10 ⁻⁵	-5.446·10 ⁻⁶
...	...

Рисунок 13 – Расчет расширенных частотных характеристик объекта регулирования в системе MATHCAD

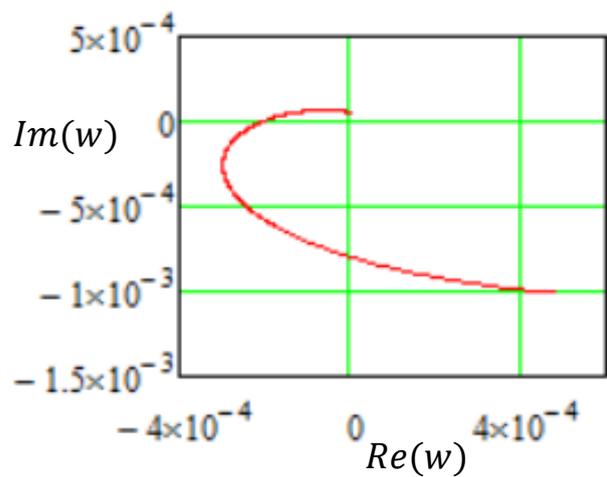


Рисунок 14 – РАФЧХ объекта регулирования

Расширенные АЧХ и ФЧХ объекта (см. рисунок 15):

$$A_{об1}(\omega) := \sqrt{(R2(\omega))^2 + (Im2(\omega))^2}$$

$$\phi_{об1}(\omega) := \text{atan}\left(\frac{Im2(\omega)}{R2(\omega)}\right)$$

$A_{об1}(\omega) =$

$5.415 \cdot 10^{-5}$
$5.432 \cdot 10^{-5}$
$5.449 \cdot 10^{-5}$
$5.466 \cdot 10^{-5}$
$5.483 \cdot 10^{-5}$
$5.501 \cdot 10^{-5}$
$5.518 \cdot 10^{-5}$
$5.536 \cdot 10^{-5}$
$5.554 \cdot 10^{-5}$
$5.571 \cdot 10^{-5}$
$5.589 \cdot 10^{-5}$
$5.608 \cdot 10^{-5}$
$5.626 \cdot 10^{-5}$
$5.644 \cdot 10^{-5}$
$5.663 \cdot 10^{-5}$
...

$\phi_{об1}(\omega) =$

$-6.51 \cdot 10^{-3}$
-0.013
-0.019
-0.026
-0.032
-0.039
-0.045
-0.052
-0.058
-0.065
-0.071
-0.077
-0.084
-0.09
-0.096
...

$\omega := 0, 0.001 .. 0.45$

Рисунок 15 – Расчет расширенных АЧХ и ФЧХ объекта в системе MATHCAD

Найдем коэффициенты системы и построим график зависимости (см. рисунок 16,17) .

$$\frac{K_p}{T_{и}} := \frac{(-1)}{(A_{об1}(\omega))^2} \cdot \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}2(\omega) \quad K_D := \frac{(-1)}{(A_{об1}(\omega))^2} \cdot (R2(\omega) + m \cdot \text{Im}2(\omega))$$

$\frac{K_p}{T_{и}} =$

0
0.14757
0.58784
1.31717
2.33189
3.62833
5.20281
7.05164
9.17111
11.55751
14.20714
17.11627
20.28117
23.69811
27.36335
...

$K_D =$

-1.853·10 ⁴
-1.841·10 ⁴
-1.829·10 ⁴
-1.818·10 ⁴
-1.806·10 ⁴
-1.795·10 ⁴
-1.783·10 ⁴
-1.771·10 ⁴
-1.759·10 ⁴
-1.748·10 ⁴
-1.736·10 ⁴
-1.724·10 ⁴
-1.712·10 ⁴
-1.7·10 ⁴
-1.689·10 ⁴
...

Рисунок 16 – Расчет коэффициенты системы $\frac{K_p}{T_{и}}$ и K_D в системе MATHCAD

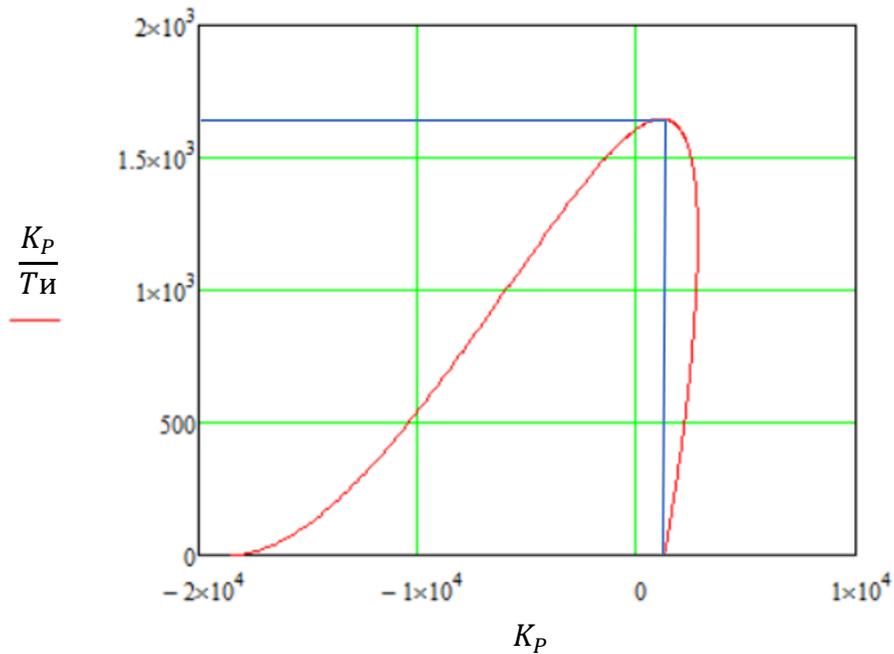


Рисунок 17 – График области заданного запаса устойчивости

По графику найдем с помощью первого интегрального критерия оптимальные настройки стабилизирующего ПИ регулятора (см. рисунок 18).

$$\frac{K_p}{T_i} = 1660 \quad K_p = 496 \quad \omega_{рез} = 0.1959$$

Given

$$\text{результ} := \text{Find}(k_p, T_i) \rightarrow \begin{pmatrix} 496 \\ 124 \\ 415 \end{pmatrix}$$

$$k_{pc} = 496$$

$$T_{ис} = 0.3$$

Рисунок 18 – Оптимальные настройки ПИ регулятора

Передаточная функция стабилизирующего регулятора:

$$W_{pc}(P) = k_{pc} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ис} \cdot p}\right) = 496 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.3 \cdot p}\right)$$

9.2.4.1 Расчет параметров настройки корректирующего регулятора

Путем структурных преобразований (которые надо привести в пояснительной записке) находим передаточную функцию эквивалентного объекта. Для корректирующего регулятора. Для нашего случая она имеет следующий вид:

$$W_{об2}(P) = \frac{W_{РМВ}(P) \cdot W_{РМ}(P) \cdot W_{РС}(P)}{1 + W_{об1}(P) \cdot W_{РС}(P)}, \quad (9)$$

В качестве метода расчета оптимальных параметров настройки корректирующего регулятора примем корневой метод.

Диапазон изменения частоты:

$$\omega = 0,001 \dots 0,2.$$

В качестве метода расчета корректирующего регулятора принять метод РАФЧХ. Заменяем оператор $p = -t \cdot \omega + i \cdot \omega$, в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования. Расчеты производились с помощью системы MATHCAD (см. рисунок 19,20).

$$R3(\omega) := \operatorname{Re}(W_{об2}(P(\omega))) \quad \operatorname{Im}3(\omega) := \operatorname{Im}(W_{об2}(P(\omega)))$$

$R3(\omega) =$	$\operatorname{Im}3(\omega) =$
804.77268	-13.365
810.83347	-26.942
816.71219	-40.728
822.40381	-54.723
827.90325	-68.925
833.20546	-83.331
838.30535	-97.942
843.19785	-112.753
847.87785	-127.765
852.34027	-142.973
856.58002	-158.377
860.59201	-173.973
864.37116	-189.76
867.91241	-205.735
871.2107	-221.895
...	...

Рисунок 19 – Расчет расширенных частотных характеристик объекта регулирования в системе MATHCAD

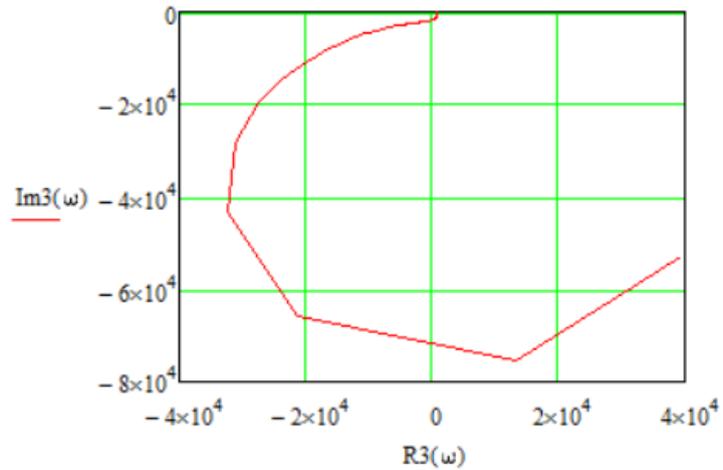


Рисунок 20 – РАФЧХ объекта регулирования

Расширенные АЧХ и ФЧХ объекта (см. рисунок 21):

$$A_{o62}(\omega) := \sqrt{(R3(\omega))^2 + (Im3(\omega))^2}$$

$$\phi_{o62}(\omega) := \text{atan}\left(\frac{Im3(\omega)}{R3(\omega)}\right)$$

$A_{o62}(\omega) =$	$\phi_{o62}(\omega) =$
804.884	-0.017
811.281	-0.033
817.727	-0.05
824.222	-0.066
830.767	-0.083
837.362	-0.1
844.007	-0.116
850.703	-0.133
857.45	-0.15
864.248	-0.166
871.098	-0.183
878.001	-0.199
884.956	-0.216
891.964	-0.233
899.025	-0.249
...	...

$\omega := 0.0001, 0.0002.. 0.2$

$\omega := 0.1351588$

Рисунок 21 – Расчет расширенных АЧХ и ФЧХ объекта в системе MATHCAD

Найдем коэффициенты системы и построим график зависимости (рисунки 22,23).

$$\frac{K_P}{T_I} := \frac{(-1)}{(A_{062}(\omega))^2} \cdot \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}3(\omega)$$

$$K_P := \frac{(-1)}{(A_{062}(\omega))^2} \cdot (R3(\omega) + m \cdot \text{Im}3(\omega))$$

$\frac{K_P}{T_I} =$	$K_P =$
2.5505·10 ⁻¹⁰	-1.25·10 ⁻³
1.0194·10 ⁻⁹	-1.248·10 ⁻³
2.29185·10 ⁻⁹	-1.246·10 ⁻³
4.07119·10 ⁻⁹	-1.244·10 ⁻³
6.35623·10 ⁻⁹	-1.242·10 ⁻³
9.14577·10 ⁻⁹	-1.24·10 ⁻³
1.24386·10 ⁻⁸	-1.238·10 ⁻³
1.62335·10 ⁻⁸	-1.236·10 ⁻³
2.05293·10 ⁻⁸	-1.234·10 ⁻³
2.53248·10 ⁻⁸	-1.232·10 ⁻³
3.06187·10 ⁻⁸	-1.23·10 ⁻³
3.64099·10 ⁻⁸	-1.228·10 ⁻³
4.26971·10 ⁻⁸	-1.226·10 ⁻³
4.94792·10 ⁻⁸	-1.224·10 ⁻³
5.67549·10 ⁻⁸	-1.222·10 ⁻³
...	...

Рисунок 22 – Расчет коэффициенты системы $\frac{K_P}{T_I}$ и K_P в системе MATHCAD

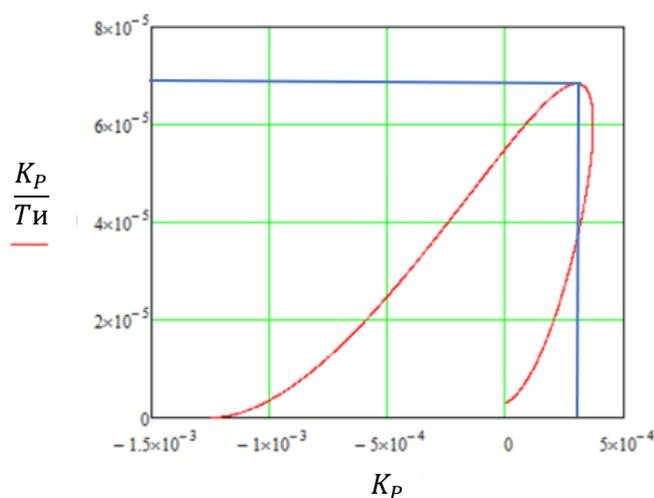


Рисунок 23 – График области заданного запаса устойчивости

По графику найдем с помощью первого интегрального критерия оптимальные настройки корректирующего ПИ регулятора (см. рисунок 24).

$$\frac{K_P}{T_I} := 0.000062 \quad K_P := 0.00027 \quad \omega_{рез} := 0.11832$$

Given

$$\text{результ} := \text{Find}(k_p, T_I) \rightarrow \begin{pmatrix} 0.00027 \\ 4.3548387096774193548 \end{pmatrix}$$

$$k_{pk} := 0.00027$$

$$T_{ик} := 4$$

Рисунок 24 – Оптимальные настройки ПИ регулятора

Передаточная функция корректирующего регулятора:

$$W_{pc}(P) = k_{pk} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ик} \cdot p}\right) = 0,00027 \cdot \left(1 + \frac{1}{4 \cdot p}\right)$$

9.2 Расчет переходного процесса в замкнутой АСР. Оценка качества переходного процесса

Передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию:

$$W_{зс}^y(p) = \frac{W_{кр}(p) \cdot W_{обз}(p)}{1 + W_{кр}(p) \cdot W_{обз}(p)}. \quad (10)$$

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 26 представлен график вещественной частотной характеристики.

Диапазон изменения частоты:

$$\omega = 0,001 \dots 0,5.$$

$$R4(\omega) := \operatorname{Re}(W_{3C}(P(\omega)))$$

R4(ω) =

0.9998896
0.9995583
0.9990055
0.9982302
0.9972309
0.996006
0.9945532
0.9928699
0.9909531
0.9887993
0.9864049
0.9837653
0.9808761
0.977732
0.9743275
...

Рисунок 25 – Расчет ВЧХ по каналу задающего воздействия в системе
MATHCAD

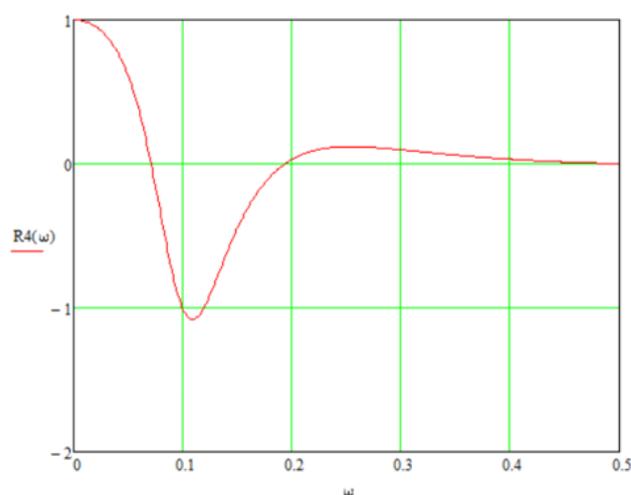


Рисунок 26 – Графическое изображение ВЧХ системы

Построение переходного процесса по задающему воздействию произведем также с помощью численного вычисления интеграла

$$y(\tau) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \operatorname{Re}(W_{з.с}^y(i\omega)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot \tau)}{\omega} \cdot d\omega, \quad (11)$$

в программной оболочке MATHCAD, (см. рисунок 27,28).

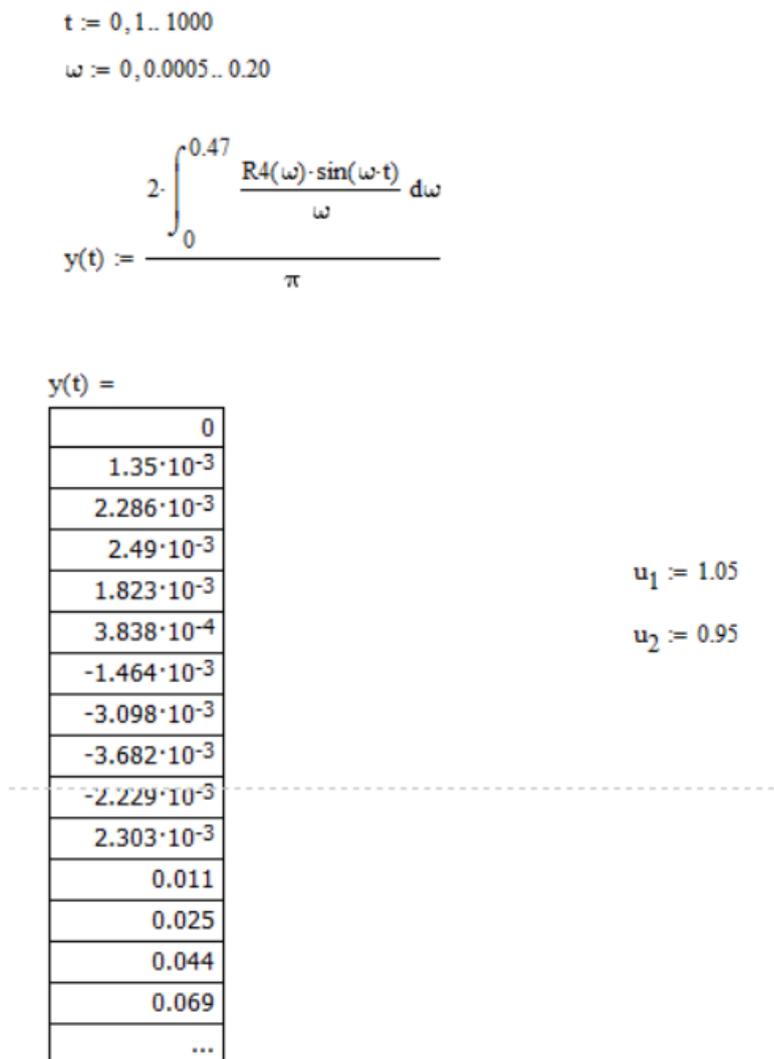


Рисунок 27 – Расчет переходного процесса по задающему воздействию в системе MATHCAD

На рисунке 28 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при

предъявленных к системе ограничения.

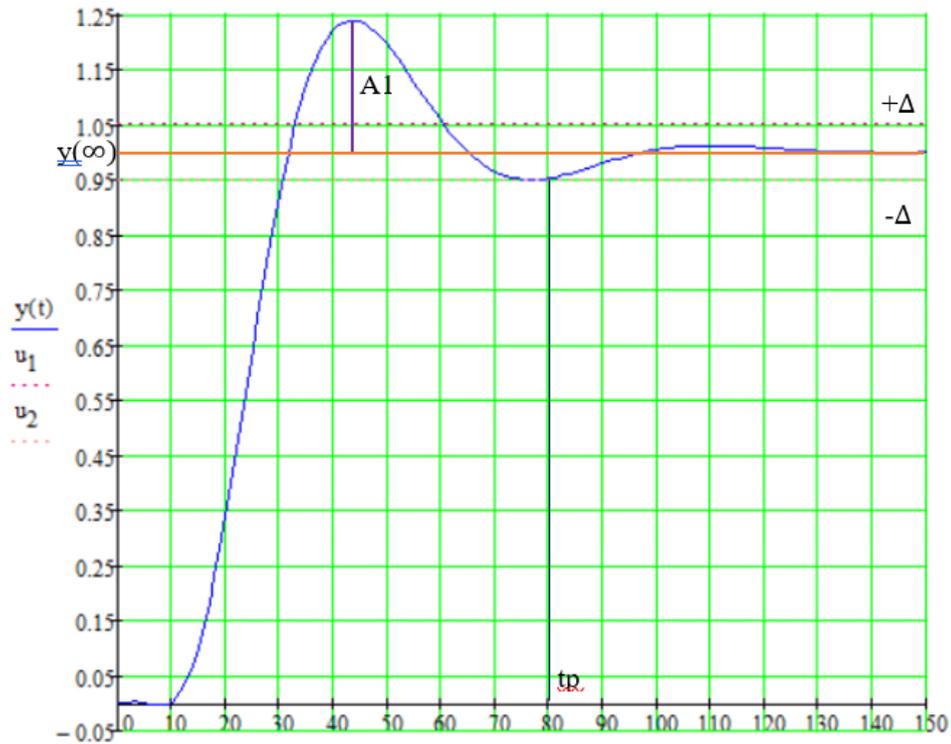


Рисунок 28 – Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Далее рассчитываем прямые оценки качества переходного процесса:

1. Динамическая ошибка $A_1 = 0,24$;
2. Перерегулирование $\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{0,24 \cdot 100\%}{1} = 24\%$;
3. Статическая ошибка $\varepsilon_{ст} = s - y(\infty) = 1 - 1 = 0$;
4. Степень затухания $\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,24 - 0,02}{0,24} = 0,92$;
5. Время регулирования $t_p = 80$ с.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5Б8В		Кузнеченкова Дарья Антоновна	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бугакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Автоматизированная система подачи и сжигания композиционного топлива на основе отходов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: Паровой котел с кипящим слоем серии ДНХ</p> <p>Область применения: Теплоэнергетика и теплотехника</p> <p>Рабочая зона: Производственное помещение</p> <p>Размеры помещения: 60*90м</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: блочный щит управления</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</p> <p>контроль параметров и исправности процесса топливоподачи дистанционно, во время плановых обходов оборудования, переключение оборудования и проверка их исправности</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Отражены правовые нормы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя – ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора – ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места – ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность при разработке при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенная запыленность и загазованность; – Повышенная концентрация СО в помещении; – Повышенный уровень шума; – Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; – Монотонность труда, вызывающая монотонию; – Длительное сосредоточенное наблюдение. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; – Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;

	<ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды; <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: беруши, наушники, защитные очки, специализированная одежда, изоляция проводов.</p>
3. Экологическая безопасность при разработке при эксплуатации	<p>Воздействие на селитебную зону: Изменение ландшафта в связи с появлением золоотвалов; Воздействие на литосферу: Загрязнение твердыми частицами отходов; Воздействие на гидросферу: Химическое загрязнение грунтовых вод; Воздействие на атмосферу: Воздействие на атмосферный воздух (выбросы CO₂, NO_x, SO₂ при работе оборудования).</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Взрывы; – Возгорания; <p>Наиболее типичные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Возгорание угольной пыли.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Кузнеченкова Дарья Антоновна		

10 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа по теме автоматизированная система подачи и сжигания композиционного топлива на основе отходов для парового котла с циркулирующим кипящим слоем марки ДНХ посвящена изучению процесса горения композиционных топливных пеллетов, состоящих из горючих компонентов низкого качества. В качестве горючего компонента используется угольный шлам, отработанное турбинное масло, и опилки.

Процесс сжигания композиционного топлива характеризуется повышенными экологическими и экономическими показателями по сравнению с процессом сжигания твердого натурального топлива ГОСТ 22269-76, ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. В данной работе рассматривается полезная утилизация древесных опилок, входящих в состав композиционного топлива. Технология обработки древесины в производстве древесных материалов и изделий характеризуется большим количеством отходов сопоставимым, а иногда и превышающим полезный выход продукции. Важно отметить, что при изготовлении пиломатериалов около 50% от объема круглых лесоматериалов уходит в отходы. Поэтому данная технология является актуальной в области теплоэнергетики.

Основная задача работы – определение оптимальных параметров процесса горения (зажигание, стабильность воспламенения, длительность горения, максимальная температура горения, газофазное и гетерофазное зажигание) и создание топливной композиции, которая бы соответствовала данным требованиям.

Объектом исследования является паровой котел с циркулирующим кипящим слоем марки ДНХ. Рабочим местом оператора АСУ значитесь производственное помещение с габаритными размерами 9 на 6 метров. Основным оборудованием, используемым при эксплуатации, является блочный щит управления. Основными процессами, осуществляющимися в рабочей зоне, будут дистанционный контроль параметров и исправности парового котла. Во

время плановых обходов оборудования, переключение оборудования и проверка их исправности.

В данном разделе будут рассмотрены основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе эксплуатации данной установки.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно Конституции РФ, нормами в области охраны труда являются:

- главный приоритет - сохранность жизни и здоровья работников;
- единство норм и правил;
- гарантия защиты интересов работника при получении травм на

производстве.

Действующим нормативом по охране труда является ГОСТ 12.0.004-2015.

Основным документом, регламентирующим права и обязанности работника и работодателя, является Трудовой кодекс РФ [23]. Он включает в себя: вопросы охраны труда, профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации, трудоустройства, социального партнерства. Также закреплены правила оплаты и нормирования труда, порядок разрешения трудовых споров.

Работа в производственном помещении относится ко второй категории тяжести труда. Данная работа выполняется при оптимальных условиях внешней производственной среды и при оптимальной величине физической, умственной и нервно-эмоциональной нагрузки. Согласно ст. 91 ТК РФ продолжительность рабочего дня оператора АСУ не должна превышать 40 часов в неделю [23].

Данная работа предполагает выполнение рабочих обязанностей сидя. Исходя из этого необходимо учитывать показатели при выполнении работ сидя. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 “Рабочее место при выполнении работ сидя” необходимо, чтобы выполнение трудовых операций не представляло трудностей [24]. Высота рабочего места должна быть настроена так, чтобы человеку было комфортно выполнять трудовые обязанности. При этом высота зависит от рода

деятельности и от половой принадлежности работника.

При этом стоит отметить, что кресло оператора АСУ должно соответствовать требуемым нормам ГОСТ 21889-76 “Система “Человек-машина” [25].

Основные требования к креслу являются:

- кресло должно обеспечивать человеку-оператору соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу;
- кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности;
- при невозможности покинуть рабочее место длительное время конструкция кресла должна обеспечивать условия для отдыха человека-оператора в кресле;
- кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении с сохранением естественных изгибов позвоночника;
- конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений;
- кресло оператора должно включать следующие основные элементы: сиденье, спинку и подлокотники. В конструкцию кресла могут быть включены также дополнительные элементы, не обязательные для установки, - подголовник и подставка для ног.

Необходимо обеспечить правильность расположения используемого технологического оборудования согласно ГОСТ 22269-76 “Рабочее место оператора” [26]. Важно, чтобы взаимное расположение используемого оборудования не препятствовало трудовому процессу оператора.

В данной работе предполагается, что оператор будет использовать в качестве основного оборудования сенсорные панели управления. Их установка также регламентируется ГОСТ 23000-78 “Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования” [27]. Необходимо, чтобы для используемых в процессе управления средств отображения информации допустимый угол отклонения их лицевой поверхности от нормальной линии

взора не превышал 15°.

10.2 Производственная безопасность

При выполнении работ инженером-оператором АСУ могут возникнуть опасные и вредные факторы, которые закреплены в ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». В таблице 14 представлены основные факторы, влияющие на работу инженера.

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АСУ [28]

№	Факторы	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [29]
2	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [30]
3	Повышенный уровень общей вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования» [31]
4	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [32]

Продолжение таблицы 14

5	Пониженная световая и цветовая контрастность	ГОСТ Р ИСО 24502-2012 Эргономическое проектирование. Требования к яркости и контрастности цветных источников света для людей различных возрастных категорий (Переиздание) [33]
6	Физические перегрузки, связанные с рабочей позой	Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению (с изменениями на 27 апреля 2020 года) [34]
7	Умственное перенапряжение, вызванное информационной нагрузкой	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [35]
8	Монотонность труда, вызывающая монотонию	ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 1. Основные понятия, термины и определения [36]
9	Активное наблюдение за ходом производственного процесса	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [37]

1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

При проведении производственных обязанностей инженер-оператор работает с электрическими объектами, такими как компьютер, электрический щит управления, электрические кабели от средств автоматизации. Используемое в работе техническое оборудование имеет ток 4-20 мА и напряжение 220В или 24В. При выполнении работ с различными значениями токов необходимо соблюдать правила безопасности, которые закреплены в ГОСТ 12.1.038-82

«ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [29].

Поражение электрическим током человека может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

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

2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

При долговременном использовании щита автоматизации он имеет способность нагреваться до высоких температур в случае аварий, вызванных коротким замыканием в электрической цепи. Таким образом необходимо с особым вниманием и осторожностью обращаться с такими предметами. Также при выборе оборудования важно понимать, какому классу пожаробезопасности принадлежит выполняемый тип работ. Правила обращения с высоко-нагретыми материалами представлены в ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [30].

Конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение элементов должны обеспечивать безопасность при использовании

производственного оборудования по назначению, техническом обслуживании, ремонте и уборке, а также соответствовать эргономическим требованиям.

3. Повышенный уровень общей вибрации

Производственное помещение оператора находится вблизи объекта автоматизации. Процесс подготовки и сжигания топлива сопровождается звуковыми сигналами разной частоты. Именно поэтому важно, чтобы уровень вибрации был в норме, и это не мешало выполнению профессиональных обязанностей оператору. Данные правила закреплены в ГОСТ 12.1.012-2004 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования» [31].

Для помещения оператора АСУ вибрация соответствует 3 категории типа «в» - технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах или передающиеся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Повышенная вибрация может оказывать влияние на увеличение кровяного давления, нарушения сна, обострения нервных заболеваний. В операторной вибрация не превышает предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 8 ч, которые в пересчете на эквивалентные значения составляют:

- по виброускорению – $0,145 \text{ м/с}^2$ (100 дБ);
- по виброскорости – $0,12 \text{ м/с}$ (75 дБ).

При повышенном уровне вибрации в качестве индивидуальных средств защиты применяют специальные наушники.

– отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.

При выполнении работ недостаточный уровень освещенности вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или напряженности, также психологическое и физиологическое воздействие. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему

утомлению. Неудовлетворительная освещенность в рабочей зоне может являться причиной снижения производительности и качества труда, получения травм

Нормы искусственного освещения представлены в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [32]. Нормы искусственного освещения приведены в таблице 16.

Производственное помещение должно иметь естественное освещение. В тех случаях, когда одного естественного освещения не хватает, устанавливается совмещенное освещение. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Таблица 16 - Нормативные показатели освещения производственного помещения

Помещение	Освещенность рабочих поверхностей, лк		Коэффициент пульсации освещенности, %, не более
	При комбинированном освещении	При общем освещении	
Компрессорные (блоки, станции)	400	200	15

– пониженная световая и цветовая контрастность.

Работа оператора АСУ связана с продолжительным взаимодействием с устройствами включающие в себя мониторы и экраны с помощью которых осуществляется контроль параметров процесса. Вследствие чего могут возникнуть проблемы со зрительной функцией. Нормы световой и цветовой контрастности представлены в ГОСТ Р ИСО 24502-2012 «Эргономическое проектирование. Требования к яркости и контрастности цветных источников света для людей различных возрастных категорий (Переиздание)» [33].

Согласно ГОСТу для каждой возрастной группы выделены определенные нормы фотопической спектральной световой эффективности. Для человека средних лет при длине волны 530 нм данный показатель равен 0,862. Чтобы световая контрастность была в норме необходимо настраивать параметры

яркость и контрастности электронных устройств при помощи кнопок или других элементов управления на самом мониторе.

- физические перегрузки, связанные с рабочей позой.

Работа оператора АСУ производится, преимущественно сидя на рабочем месте, за исключением некоторых процессов, которые требуют непосредственного участия оператора на объекте исследования. При постоянно сидячем образе рабочего дня могут возникнуть проблемы со стороны здоровья, а именно сердечнососудистые заболевания. Согласно документа «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению (с изменениями на 27 апреля 2020 года)» оптимальным является свободное удобное положение с возможностью смены рабочего положения тела (сидя, стоя). Нахождение в положении "стоя" до 40% времени рабочего дня (смены) [34].

Для поддержки такой рабочей смены необходимо грамотно распределять время работы и иметь рабочий план, чтобы оператор АСУ равномерно выполнял профессиональные задания как стоя, так и сидя.

- умственное перенапряжение, вызванное информационной нагрузкой.

Работа оператора связана с большим количеством информации, которую нужно обрабатывать и в соответствии с этим делать какие-либо выводы по оптимизации производства. Вследствие чего может возникнуть умственное перенапряжение. Нормы, которые могут обезопасить человека от этого, представлены в СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [35]. Допустимые величины психофизиологических производственных факторов по показателям тяжести и напряженности труда представлены в таблице 17.

Таблица 17 - Допустимые величины психофизиологических производственных факторов

Факторы трудового процесса	Допустимые	
	Женщины	Мужчины
Длительность сосредоточенного наблюдения (% от времени смены)	От 26 до 50	От 26 до 50
Плотность сигналов (световых, звуковых) в среднем за час работы	От 76 до 175	От 76 до 175
Число объектов наблюдения	От 6 до 10	От 6 до 10
Число элементов или повторяющихся операций	От 9 до 6	От 9 до 6

8. Монотонность труда, вызывающая монотонию

Работа инженера-оператора связана с однотипным выполнением задач. Поэтому важно комбинировать различные виды заданий, чтобы не возникала монотония. Нормы умственной нагрузки приведены в ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 «Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 1. Основные понятия, термины и определения» [36].

Степень монотонности труда определяется по продолжительности выполнения однообразных, повторяющихся операций и числу элементов в операции. Чем короче выполняемая операция и чем меньше число элементов в ней, тем более монотонна работа. Кроме того, учитываются условия временной регламентации, т.е. заданный или свободный ритм. Время выполнения операции замеряется наблюдателем несколько раз (чем короче операция, тем больше требуется измерений).

При несовпадении времени на отдых, определяемого по длительности операции и числу элементов в ней, следует ориентироваться на длительность операции.

Для безопасной работы оператора необходимо рационально распределять рабочие задачи, чтобы не возникало перенапряжение и монотония.

9. Активное наблюдение за ходом производственного процесса

Технологический процесс является непрерывным, поэтому оператору

АСУ необходимо быстро отслеживать различные изменения в системе, для обеспечения безопасности производственного процесса. Вследствие чего может возникнуть перенапряжение зрительных органов. Нормы, которые описывают работу при активном наблюдении, закреплены в СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [37]. В таблице 4 представлены допустимое число объектов для наблюдения, а также число повторяющихся операций за одну смену.

10.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды, селитебной зоны, литосферы, гидросферы, атмосферы — это привнесение в окружающую среду или появление в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических загрязнителей, или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания органического топлива, являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы источника теплоснабжения. В продуктах горения топлива в котельных установках содержатся твердые частицы золы и несгоревшего топлива, оксиды серы (SO_2 , SO_3), азота (NO_x) и ванадия (V_2O_5). Стоит учесть, что при эксплуатации котлоагрегатов работающих на твердом топливе, производится значительное количество отходов в виде золы и шлака. Из всех видов отходов золошлаковые составляют более 90% образующихся на тепловых электростанциях. Золоотвалы в свою очередь способствуют возникновению техногенно-трансформированных

ландшафтов и условий развития антропогенно-преобразованных почв - хемозёмов. В зонах воздействия золоотвалов формируются неблагоприятные экологические ситуации из-за пылеобразования, а также вымывания компонентов золы, попадания их в почву и подземные воды, что, в свою очередь, оказывает негативное воздействие на растительность и здоровье человека. Золоотвалы также оказывают вредное воздействие на гидросферу, вследствие миграции токсичных элементов в грунтовые воды.

Воздействие теплоэлектростанций на водные объекты определяется их тепловым загрязнением и сбросом сточных вод. На каждой электростанции, которая использует воду в качестве средства производства электрической и тепловой энергии, образуется определенное количество сточных вод. Со сточными водами предочистки сбрасываются все уловленные органические вещества, повышающие биологическое потребление кислорода водой, а также карбонат кальция, гидроксид магния, недопал, грубодисперсные вещества, соединения железа и алюминия, поэтому непосредственный сброс этих вод в водоемы недопустим. Качественный и количественный состав примесей таких вод зависит от качества воды и принятых методов ее обработки на предочистке.

Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

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

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

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

Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

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

Регулирование температуры в камере сгорания является одним из важных аспектов в системе сжигания топлива, так как наибольшее влияние на образование оксида азота оказывает температура. Улавливание сернистых соединений в выбросах производств является одним из наиболее сложных и трудоемких процессов по следующим причинам: количество выбрасываемых газов очень велико; поглощение сернистых соединений сопровождается отложением солей кальция и магния на стенках труб, т.е, забиванием аппаратуры. Сероочистка топлив разработана недостаточно и применяется в ограниченном объёме. Поэтому в мировой практике, как правило, очищают от серы дымовые газы, для чего применяют различные процессы. Их можно разделить на три главные группы: процессы с применением жидких поглотителей – абсорбционные (мокрые) и процессы, основанные на взаимодействии газа с твердым веществом – адсорбционные и каталитические (сухие). Преимущественно в этих процессах поглотителем служат известняк или известь.

Снижение количества золоотвалов возможно за счет использования композиционного топлива на основе отходов угольной промышленности, такие как угольный шлам и фильтр-кек, тем самым способствуя утилизации накопившихся объемов загрязняющих веществ. Еще одним преимуществом композиционного топлива, является пониженная температура дымовых газов, что уменьшает тепловое загрязнение окружающей среды.

Для снижения объема сточных вод используется экологически более

совершенное оборудование и технологии направленных на снижение количества дымовых газов, такие как десульфуризация и денитрификация. Существует альтернативный метод предотвращения загрязнения водных ресурсов, такой как использование замкнутых циклов водоснабжения. Благодаря им сточные воды не сбрасываются в природные водоемы, а очищаются и не единожды используются в производственных процессах.

10.4 Безопасность в ЧС

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

К природным катастрофам можно отнести наводнения, цунами, ураган. Для подготовки к такого рода воздействиям необходимо проводить инструктажи для сотрудников, чтобы они знали, что им необходимо сделать при возникновении такой ситуации.

К геологическим воздействиям, такие как землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории. Данные происшествия зависят от региона использования установки. Важно правильно выбирать место для установки котельной, чтобы данные катастрофы были наименее возможными. Для подготовки персонала к таким воздействиям также следует проводить инструктажи, если месторасположение установки в опасной зоне.

К техногенным авариям относят, аварии, возникшие в следствии не осторожного обращения с огнем или неправильным использованием электрических приборов. Данные ситуации исключаются только проведением внеплановых инструктажей, чтобы сотрудники были аккуратны при пользовании электроприборами.

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является возгорание угольной пыли. Это связано с тем, что работа оператора непосредственно связана с работой производства, так как возгорание угольной пыли в элементах системы пылеприготовления может привести к взрывам и пожарам. Для избежания данной ЧС, была разработана инструкция по обеспечению взрывобезопасности топливоподачи и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива. СО 153-34.03.352-2003" (утв. Приказом Минэнерго РФ от 24.06.2003 N 251), в которой приведены необходимые требования относящихся к производственным зданиям и помещениям, в которых размещается указанное технологическое оборудование.

Также стоит учесть такую чрезвычайную ситуацию, как выход из строя электрической системы. Это связано с тем, что работа оператора непосредственно связана с электрическими устройствами. Источниками электрических сбоев могут являться измерительные устройства, щиты управления, электрические кабели, связывающие все элементы.

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

- укрытие в защитных сооружениях;
- проведение эвакуационных мероприятий;
- использование средств индивидуальной защиты;
- наличие необходимого оборудования.

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

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

На производстве основную опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо хранить, для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние емкостей с

горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них.

Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха.

Самой распространенной причиной возникновения пожара является нарушение противопожарных правил. Поэтому персонал должен эти правила знать и выполнять, также проходить соответствующую проверку знаний.

Кроме этого, пожары классифицируются по виду горючего материала и подразделяются на классы, данный объект относится к классу «А», на основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Проводятся следующие противопожарные мероприятия:

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

- каждый сотрудник знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения.

Помещение должно быть обеспечено следующими средствами пожаротушения:

- аэрозольный огнетушитель - генератор огнетушащего аэрозоля «Допинг 2» – 1 шт;

- углекислотный огнетушитель ОУ-5 - 1 шт;

- ящик с песком на 0,5 м - 1 шт;

- железные лопаты - 2 шт.

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

Ни в коем случае нельзя допускать применения при растопках котлоагрегатов керосина, бензина или других пожароопасных жидкостей, так

как применение вышеуказанных жидкостей при растопках приводит к возникновению пожара. К возникновению пожара приводят неисправная электропроводка в котельной, а также оседающая на пол, стены, на котлы и в другие места топливная горячая пыль, которая может в любое время загореться, и пламя быстро распространится по всему помещению. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, наличие пятен на увлажненной поверхности штабеля. Если появились признаки самовозгорания топлива, то необходимо в первую очередь начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе. Не следует заливать очаги горения в штабеле водой, так как это интенсифицирует процесс самовозгорания.

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

Во избежание вышеперечисленных ситуаций необходимо осуществлять:

- качественный монтаж технических средств автоматизации;
- подбор проводов нужного сечения, имеющих плотную изоляцию;
- произвести заземление оборудования;
- при изнашивании какого-либо электрического элемента системы произвести его замену или демонтаж;
- знание сотрудниками правил и требований пожарной безопасности.

Основные правила и требования пожарной безопасности согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [38]:

- применение средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- применением основных строительных конструкций и материалов, в том числе используемых для облицовок конструкций, с нормированными показателями пожарной опасности;

- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;
- организацией с помощью технических средств, включая автоматические, своевременного оповещения и эвакуации людей;
- применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара.

Выводы 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.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям. Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (Издание седьмое) данное производственное помещение относится к 1 категории по электробезопасности [39].

Оператор АСУ должен иметь III группу по электробезопасности. Допуск персонала с III группой подразделяется на работу с сетями до и выше 1000 В, а также дает право единоличного обслуживания, осмотра, подключения и отключения электроустановок от сети до 1000 В.

Тяжесть труда согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека

факторов среды обитания" относится ко 2 б категории [40].

По степени пожароопасности помещения производства парокотельного цеха относятся к категории «Г», согласно СП 12.13130.2009 [41]. Следовательно, появляется необходимость в дополнительном техническом обустройстве производства. Предохранительные и взрывные клапаны котла имеют отводы для удаления пароводяной смеси и взрывных газов при срабатывании клапанов за пределы рабочего помещения в места, безопасные для обслуживающего персонала, или должны быть ограждены отбойными щитами со стороны возможного нахождения людей.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Кузнеченковой Дарье Антоновне

Школа	Инженерная школаэнергетики	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

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

Перечень графического материала
1. Оценка конкурентоспособности ИР 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет НИ 5. Основные показатели эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Кузнеченковой Дарье Антоновне		28.02.22

Введение

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

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной ВКР – апробация технологии изготовления топливных пеллет из низкосортного угольного и древесного сырья, а также установление характеристик их зажигания и горения.

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 с ЦКС серии ДНХ мощностью 75 т/ч производства ООО "Зозен Котёл" в данном случае потенциальным потребителем такой разработки является энергетическая промышленность. А именно, тепловые электростанции, имеющие в составе энергоблоки, параметры которых, соответствуют параметрам разрабатываемой системы. Котел подходит для внутренней и полукрытой планировки. Используя технологию сжигания ЦКС, отделенный дымовой газ проходит через рулеву камеру, экономия энергии при высокой температуре, экономия энергии при низкой температуре и первый и второй воздухоподогреватели выводятся через хвостовой дымоход.

В рамках федеральной программы «Экологически чистая энергетика» разработан и реализуется проект сооружения опытно-промышленного котла с ЦКС типа Е-220-9,8-540 АФН ОАО «Белэнергомаш» для сжигания АШ на Несветай ГРЭС. Аналогичные котлы разработаны и для других ТЭС: ЕП-250-16,8-545 БКФН для подмосковного угля и кузнецкого угля марки «Т»; Е-170-9,8-540-ДФН для торфа.

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 [42].

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

регулирование сжигания 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 [43].

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 [43].

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» [44].

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 18. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 18, 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 18 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
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
Экономические критерии оценки эффективности							
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
Итого	1	26	34	32	3,0	4,3	4,1

На рисунке 29 наглядно представлены преимущества и недостатки предложенного и существующих методов автоматического регулирования нагрузки парового котла.

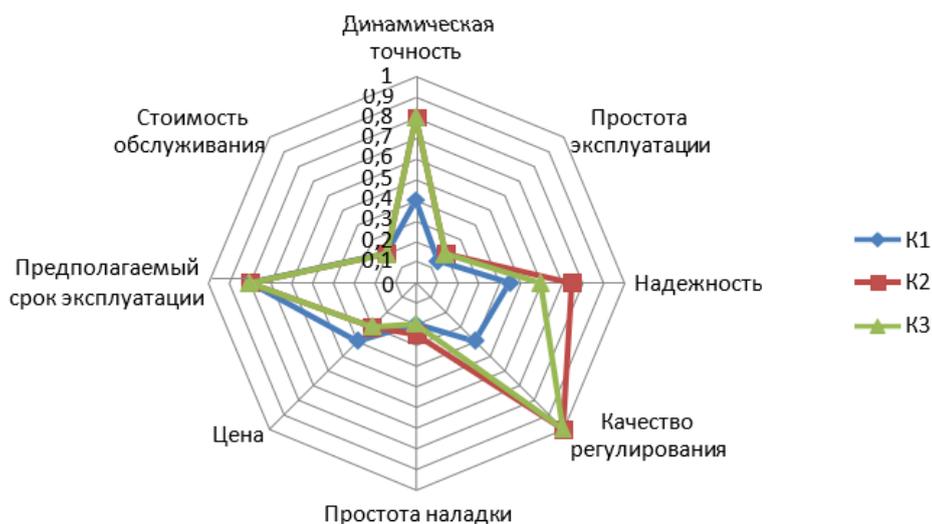


Рисунок 29 – Многоугольник конкурентоспособности

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (12)$$

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 [43].

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 3.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 19.1–19.4.

Таблица 19.1 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	+	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	+	+	-	-	-

Таблица 19.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	+	+	+
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-

Таблица 19.3 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	-	-	-
	У2	-	+	-	-	-

Таблица 19.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	-	-	-	-	-

Таблиц 20 – Матрица SWOT-анализа

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

Продолжение таблицы 20

<p>Угрозы: 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> <ol style="list-style-type: none"> 1. В связи с ориентированностью системы на два вида топлива и необходимостью подготовки топлива, повышение стоимости используемого топлива приведет к снижению спроса. 2. При использовании современных компонентов системы, повышение стоимости на компоненты системы приведет к удорожанию системы в целом. 3. Появление новых универсальных систем, ориентированных автономное сжигание твердых бытовых отходов. 	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы».</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Появление новых проектных решений, упрощающий монтаж установки. 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.
---	---	--

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 21.

Таблица 21 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	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 способов усовершенствования	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель темы
	8	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель темы
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки НИР	Исполнитель

11.2.2 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 [43]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (13)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.; t_{maxi} – 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_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [43].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (14)$$

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 [43]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (15)$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [43]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (16)$$

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 [43]:

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

В таблице 22 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{\min} , чел.-дни		t_{\max} , чел.-дни		$t_{\text{ож}}$, чел.-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	-	-	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

Продолжение таблицы 22

Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Определение целесообразности и проведения НИР	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	-	22	-	24	-	22,8	-	23	-	46
Составление пояснительной записки НИР	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10

Пример расчета для первой строки:

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

$$T_{р\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 2 \text{ дня.}$$

$$T_{к\ i} = T_{р\ i} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ дня.}$$

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 [43].

Календарный план-график построен на основе таблицы 22 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 23 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кп} , 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	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель	6									■			
10	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель	10										■		

■ - Руководитель ■ - Исполнитель

11.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

11.3.1 Расчет материальных затрат на специальное оборудование для научных работ

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

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 [43]. Затраты на оборудование приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			8 290

Цены приняты на основании прайс-листа поставщика материалов: <https://papirus-tomsk.ru>, <https://mvideo.ru>.

11.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (17)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (18)$$

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

Таблица 25 – Затраты на оборудование

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, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года по формулам:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 45000}{12} \cdot 3 = 3712,5 \text{ руб.}$$

11.3.3 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 [43].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [43]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (19)$$

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 [43]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (20)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [43]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} M}{F_{\text{д}}}, \quad (21)$$

где $Z_{\text{м}}$ – 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; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн. (таблица 26).

Таблица 26 – Баланс рабочего времени исполнителей

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 [43]:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (22)$$

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 инженера:

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

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

Среднедневная заработная плата руководителя и исполнителя:

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

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

Основная заработная плата руководителя и исполнителя:

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

$$Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = Z_{\text{дн}}^{\text{инж}} \cdot T_{\text{р}} = 1524,5 \cdot 41 = 62504,5 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 27.

Таблица 27 – 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	0,1 5	1,3	30160	1524,5	41	62504,5
Итого $Z_{\text{осн}}$								81956,5

11.3.4 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.) [43].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [43]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (23)$$

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

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

$$Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 0,12 \cdot 62504,5 = 7500,54 \text{ руб.}$$

11.3.5 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 [43].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [43]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (24)$$

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:

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} + Z_{\text{доп}}^{\text{рук}}) = 0,302 \cdot (19452 + 2334,2) = 6535,9 \text{ руб.}$$
$$Z_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} + Z_{\text{доп}}^{\text{инж}}) = 0,302 \cdot (62504,5 + 7500,54) = 21141,52 \text{ руб.}$$

11.3.6 Услуги сторонних организаций

Оплата услуги, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [43].

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

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

11.3.7 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 [43]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (25)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 % [43].

Величина накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + A) \cdot k_{\text{нр}} =$$

$$= 81956,5 + 9834,74 + 27677,42 + 800 + 2411 + 8290) \cdot 0,16 =$$

$$19628,75 \text{ руб.}$$

11.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 28.

Таблица 28 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	8290	6117,5	15945	Пункт 11.3.1
2	Амортизационные отчисления	3712,5	4125	4537,5	Пункт 11.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	81956,5	81956,5	81956,5	Пункт 11.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9834,74	9834,74	9834,74	Пункт 11.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	27677,42	27677,42	27677,42	Пункт 11.3.5
6	Услуги сторонних организаций	800	800	800	Пункт 11.3.6
7	Накладные расходы	19628,75	19628,75	19628,75	Пункт 11.3.7
Бюджет затрат НИР		155899,91	150139,91	160379,91	Сумма ст. 1- 6

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 [43].

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

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

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

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

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1) Композиционное топливо на основе угольного шлама и опилок, структура и свойства.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (26)$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{тек.проект} = 155899,91$ руб, $\Phi_{исп.1} = 150139,91$ руб, $\Phi_{исп.2} = 160379,91$ руб.

$$I_{финр.}^{тек.пр.} = \frac{\Phi_{тек.пр.}}{\Phi_{max}} = \frac{155899,91}{160379,91} = 0,97;$$

$$I_{финр.}^{исп.2.} = \frac{\Phi_{исп.2.}}{\Phi_{max}} = \frac{150139,91}{160379,91} = 0,94;$$

$$I_{финр.}^{исп.3.} = \frac{\Phi_{исп.3.}}{\Phi_{max}} = \frac{160379,91}{160379,91} = 1.$$

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 29).

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,15	3	5	4
2. Динамическая точность	0,2	2	4	4
3. Простота эксплуатации	0,05	3	4	4
4. Простота наладки	0,05	4	5	4
5. Качество регулирования	0,2	2	5	5
6. Цена	0,1	4	3	3
7. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4	4	4
8. Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4
ИТОГО	1	3	4,3	4,1

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом [43]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (27)$$

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:

Исп. 1: Регулирование расхода топлива по соотношению топливо-воздух;

Исп. 2: Регулирование расхода топлива по соотношению топливо-воздух с коррекцией по O_2 и CO ;

Исп. 3: Регулирование расхода топлива по импульсу тепла.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 29.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 3,$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,3,$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,1.$$

Показатель ресурсоэффективности для 2 варианта исполнения проекта равен 4,3 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.

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}} \quad (28)$$

$$I_{исп.1} = \frac{3}{0,97} = 3,09, I_{исп.2} = \frac{4,3}{0,94} = 4,57, I_{исп.3} = \frac{4,1}{1} = 4,1.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 30).

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,97	0,94	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3	4,3	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	3,09	4,57	4,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,68	0,75

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 2 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Вывод по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан

график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 82 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 16 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 155899,91 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

– значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,97, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

– значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,3, по сравнению с 3 и 4,1;

– значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,57, по сравнению с 3,09 и 4,1, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была рассмотрена конструкция парового котла с циркулирующим кипящим слоем серии ДНХ и определены требуемые параметры объекта автоматизации для разработки системы автоматического регулирования процесса подачи и горения композиционного топлива на основе отходов 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 управления системой. Также приведены такие разделы, как «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент».

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мировая статистика по потреблению энергии и климате - ежегодник 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/total-energy/world-consumption-statistics.html> – Загл. с экрана.
2. Vershinina K. Yu., Shlegel N.E., Strizhak P.A. Relative combustion efficiency of composite fuels based on of wood processing and oil production wastes // Energy. 2019. Vol. 169. P. 18–28.
3. Экспорт угля в странах мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://svspb.net/norge/eksport-uglja-stran.php> – Загл. с экрана.
4. Deng S., Tan H., Wei B., Wang X., Yang F., Xiong X., Investigation on combustion performance and ash fusion characteristics of Zhundong coal co-combustion with coal gangue // Fuel. 2021. Vol. 294. P. 120555.
5. Wang X., Lin Q., Wang C., Zhou K., Zhang P., Li F., Lei Y. The ignition characteristics and combustion processes of coal gangue under different hot coflow conditions in O₂/CO₂ atmosphere: in pellet form // Combust. Sci. Technol. 2019. Vol. 191. P. 419–434.
6. Gao W., Zhang M., Wu H. Ignition temperatures of various bio-oil based fuel blends and slurry fuels // Fuel. 2017. Vol. 207. P. 240–243.
7. Lei K., Zhang R., Ye B.Q., Cao J., Liu D. Study of Sewage Sludge/Coal Co-Combustion by Thermogravimetric Analysis and Single Particle Co-Combustion Method // Energy and Fuels. 2018. Vol. 32. P. 6300–6308.
8. Glushkov D.O., Lyrshchikov S.Y., Shevyrev S.A., Strizhak P.A. Burning Properties of Slurry Based on Coal and Oil Processing Waste // Energy and Fuels. 2016. Vol. 30. P. 3441–3450.
9. Vershinina K.Yu., Nyashina G.S., Dorokhov V., Shlegel N. The prospects of burning coal and oil processing waste in slurry, gel, and solid state // Appl. Therm. Eng. 2019. Vol. 156. P. 51–62.
10. Каталог датчики температуры выпуск 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/каталог-датчики->

[температуры-ru-ru-61696.pdf](#) свободный. – Загл. с экрана.

11. Каталог датчики давления выпуск 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.emerson.com/documents/automation/каталог-датчики-](https://www.emerson.com/documents/automation/каталог-датчики-давления-ru-ru-61692.pdf)

[давления-ru-ru-61692.pdf](#) свободный. – Загл. с экрана.

12. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://izmerkoni.ru/SS_20.600_RUS.pdf свободный. – Загл. с экрана.

13. Руководство по эксплуатации выпуск 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yigittaslar.com/katalog/Manual%20VPFlowScope%20Probe.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

14. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.k-avtomatika.ru/images/Rosemount_8800D_vihrevye_rashodomery.pdf свободный. – Загл. с экрана.

15. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/uploads/re_pcv3_1392.pdf свободный. – Загл. с экрана.

16. Руководство по эксплуатации издание А1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.proavtomatika.ru/docs/siemens/micromaster/MM440_Operating_Instructions_A1_ru.pdf свободный. – Загл. с экрана.

17. Инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://propribory.ru/static/upl/01-11-2019/NQz_mEpELkFZhfaE/manual_swg_300_ru.pdf свободный. – Загл. с экрана.

18. Руководство по эксплуатации часть 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazanalizator.ru/files/akvt-01-rpe.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

19. Руководство по эксплуатации выпуск. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gasdetecto.ru/tehnologiya-i-promvybrosy/stacionarnye1/ag-0011-gazoanalizatory-stacionarnye-ag-0011/> свободный. – Загл. с экрана.

20. Руководство по эксплуатации выпуск 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://cloud.elesy.ru/index.php/s/nLr6Wa9DfZTRQ4o?dir=undefined&path=%2FПуководство%20по%20эксплуатации&openfile=119940> свободный. – Загл. с экрана.

21. Каталог платформа автоматизации Modicon M340 выпуск 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tesli.com/upload/iblock/141/schneider_electric_modicon_m340.pdf

свободный. – Загл. с экрана.

22. Кац М.Д. Расчет системы автоматического регулирования подачи топлива парогенератора. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине “Авто-матизация технологических процессов на ТЭС” для студентов специальности 210200 “Автоматизация технологических процессов и производств”: -Томск: Изд. ТПУ, 200. - 26 с.

23. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 25.02.2022). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

24. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (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 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012832>, свободный. – Загл. с экрана.

26. 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.

27. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 23000-78 Система "человек-машина". Пульты управления. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012839>, свободный. – Загл. с экрана.

28. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправками). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.
29. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.
30. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901702428>, свободный. – Загл. с экрана.
31. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200059881>, свободный. – Загл. с экрана.
32. ТЕХЭКСПЕРТ. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197>, свободный. – Загл. с экрана.
33. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ Р ИСО 24502-2012 Эргономическое проектирование. Требования к яркости и контрастности цветных источников света для людей различных возрастных категорий (Переиздание). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200098798>, свободный. – Загл. с экрана.
34. ТЕХЭКСПЕРТ. Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению (с изменениями на 27 апреля 2020 года). [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://docs.cntd.ru/document/499072756>, свободный. – Загл. с экрана.

35. ТЕХЭКСПЕРТ. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

36. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 1. Основные понятия, термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200167488>, свободный. – Загл. с экрана.

37. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9051953>, свободный. – Загл. с экрана.

38. ТЕХЭКСПЕРТ. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (Издание седьмое). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030216>, свободный. – Загл. с экрана.

39. ТЕХЭКСПЕРТ. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

40. ТЕХЭКСПЕРТ. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156>, свободный. – Загл. с экрана.

41. СП (своды правил) 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. – Режим доступа: <http://28.mchs.gov.ru/document/596152/> Загл. с экрана.

42. 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.

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