

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система контроля состава дымовых газов при сжигании низкосортного топлива

УДК: 681.518.2:662.96:662.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Райфегерст Екатерина Ильинична		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ТПУ	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы
магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации
ПК(У)-2	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
ПК(У)-3	Способен интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
ПК(У)-4	Способен применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
ПК(У)-5	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
ПК(У)-6	Способен проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
ПК(У)-7	Способен руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать

	организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений
ПК(У)-8	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Экспериментальные исследования. 2. Проектирование АСУ компонентным составом дымовых газов. 3. Взаимосвязь оборудования верхнего, среднего и полевого уровней в виде схемы. 4. Разработка щита управления АСУ компонентным составом дымовых газов. 5. Расчет параметров настройки регулятора. 6. Мнемосхема АСУ. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Схема электрическая соединений. 4. Схема монтажная. 5. Сборочный чертеж щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицина Любовь Юрьевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Сечин Александр Иванович, профессор ООД, д.т.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Экспериментальные исследования (Regulation of emissions from combustion of conventional and suspension fuels)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.22
---	----------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Райфегерст Екатерина Ильинична		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 130 страницы, 7 рисунков, 44 таблицы, 52 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, суспензионное топливо, низкосортное топливо, дымовые газы.

Цель работы – разработка и проектирование на основе результатов экспериментального исследования процесса горения низкосортного топлива АСУ ТП в топке водогрейного котла.

В процессе выполнения работы были проведены экспериментальные исследования по определению газового состава антропогенных выбросов, образующихся при сжигании низкосортных топлив. Разработаны функциональная схема, схема электрическая соединений, схема внешних проводок и сборочный чертеж щита управления. Осуществлен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация. Разработан программно-технический комплекс на основании SCADA-системы, который предоставляет возможность оперативно отреагировать на любую сложную ситуацию в процессе эксплуатации системы, а также удаленно поддерживать функционирование системы в целом.

В результате выполнения магистерской диссертации разработана автоматизированная система управления компонентным составом дымовых газов на основе современных микропроцессорных средств автоматизации. Автоматизированная система управления разработана с учетом технических требований, нормативных документов и исходя из результатов научно-исследовательской работы.

В число конкурентных преимуществ автоматизированной системы входит экологическая выгода (использование отходов в составе суспензионного топлива и сниженные антропогенные выбросы по сравнению с традиционным топливом), малый срок окупаемости. Это является основанием о том, что разработанная система имеет большой потенциал использования для котельных и электростанций малой мощности.

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ВУТ – водоугольное топливо;

ОВУТ – органоводоугольное топливо;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РО – регулирующий орган;

ТСА – технические средства автоматизации;

Фильтр-кек – отход флотационного обогащения угля;

SCADA – комплекс программ, который нужен для разработки и обеспечения работы системы сбора, обработки, архивирования информации в реальном времени.

Содержание

Введение.....	11
1 Системный анализ объекта автоматизации.....	13
2 Перечень функций, реализуемых АСУ.....	18
3 Научно-исследовательская работа.....	20
3.1 Описание экспериментального стенда.....	20
3.2 Описание технических средств, входящих в состав экспериментального комплекса.....	21
3.3 Описание эксперимента.....	22
3.4 Методика приготовления топлив.....	23
3.5 Результаты экспериментов.....	25
3.6 Действующие и перспективные нормативы удельных выбросов в РФ и за рубежом.....	28
3.7 Порядок определения удельных выбросов загрязняющих веществ в... атмосферу для действующих котельных установок.....	31
3.8 Результаты расчета.....	34
4 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления.....	37
5 Разработка функциональной схемы системы управления.....	38
6 Составление опросных листов на приборы и средства автоматизации.....	41
7 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации.....	42
7.1 Выбор технических средств измерения температуры.....	42
7.2 Выбор технических средств измерения расхода суспензионного топлива.....	43
7.3 Выбор технических средств измерения расхода воздуха.....	45
7.4 Выбор технических средств измерения массы третьего компонента....	47
7.6 Выбор исполнительного механизма.....	50
7.7 Выбор программируемого логического контроллера.....	51
8 Проектирование схемы внешних проводок.....	53

9 Проектирование принципиальной электрической схемы	55
10 Составление перечня элементов щита управления	57
11 Разработка сборочного чертежа щита управления	58
12 Расчет параметров настройки регулятора	59
12.1 Идентификация объекта управления	59
12.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора	61
13 Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы	68
14 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 72	
14.1 Потенциальные потребители результатов исследования	72
14.2 Анализ конкурентных технических решений	73
14.3 SWOT-анализ	75
14.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	78
14.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	81
14.6 Инициация проекта	82
14.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта	84
14.8 Бюджет научного исследования	87
14.9 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	91
Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	93
15 Социальная ответственность	97
15.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. .	97
15.2. Производственная безопасность	98
15.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов	99
15.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата	99
15.2.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	100
15.2.1.3 Превышение уровня шума	102
15.2.1.4 Повышенное воздействие электромагнитного излучения и электрического тока	103

15.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	104
15.3. Экологическая безопасность.....	105
15.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	105
15.3.2. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду.....	105
15.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	106
15.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	106
15.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	106
15.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований	107
15.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	107
Заключение по разделу «Социальная ответственность»	108
Заключение	109
Список использованных источников	110
Приложение А (справочное)	116
Приложение Б (обязательно)	128

Графический материал: на отдельных листах

ФЮРА.421000.004 С1 Схема структурная

ФЮРА.421000.004 С2 Схема функциональная

ФЮРА.421000.004 СО Заказная спецификация на ТСА

ФЮРА.421000.004 С4 Схема монтажная внешних проводок

ФЮРА.421000.004 Э4 Схема электрическая соединений щита управления

ФЮРА.421000.004 ПЭ Перечень элементов схемы электрической соединений

ФЮРА.421000.004 СБ Сборочный чертеж шкафа автоматизации

ФЮРА.421000.004 СО1 Перечень составных частей шкафа автоматизации

Введение

Энергетические проблемы являются определяющими во многих экономических, социальных и экологических сферах. Именно от эффективной работы энергетического комплекса в значительной мере зависит экономический потенциал государств и благосостояние населения. Основными источниками энергии на сегодня являются геологические топливно-энергетические ресурсы: нефть, уголь, газ, горючие сланцы, торф, уран и др. По оценкам экспертов [1,2] доля угля в структуре мирового топливно-энергетического баланса составляет около 25–35%. С использованием угля производится 40–45% мировой электроэнергии [1,2].

Одной из основных проблем, связанных с использованием угля, является наносимый природе вред при его добыче, переработке и сжигании. Самые актуальные экологические проблемы (изменение климата, кислотные дожди, общее загрязнение среды) прямо или косвенно связаны с использованием данного энергоресурса [3]. Значительные экологические проблемы связаны с твердыми отходами ТЭС – золой и шлаками.

Рациональное использование собственных энергоресурсов, благоприятный климат и экологически чистая окружающая среда являются ключевыми факторами устойчивого развития любого государства [3,4]. На первый план выступают программы, которые способны без ущерба для быстрого экономического роста, реализовать целый ряд мер по повышению энергоэффективности и снижению концентраций антропогенных выбросов

Результаты исследований [5, 6, 7] установили, что применение низкосортных топлив в сравнении с традиционным топливом (главным образом, углем) имеет ряд преимуществ:

– за счет применения топлив на основе воды, повысится пожаробезопасность и взрывобезопасность технологии приготовления топлива;

– возможность вовлечения в топливно-энергетический цикл отходов углеперерабатывающей промышленности и освободить большие площади, которые они занимают;

– сжигание суспензий в топочных камерах позволяет понизить температурный режим и концентрации антропогенных выбросов.

Создание низкосортных суспензионных топлив является одним из возможных вариантов совместного использования растительного топлива и угля. За счет сжигания суспензий происходит сбережение энергетических, материальных ресурсов, снижается влияние теплоэнергетического сектора на окружающую среду.

В данной работе разработана автоматизированная система управления компонентным составом дымовых газов, образующих при горении низкосортных топлив. Выпускная квалификационная работа содержит анализ объекта автоматизации, обзор структуры и технических средств контроля и автоматизации.

1 Системный анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации была выбрана топка котла, в которой после впрыскивания низкосортного суспензионного топлива, измеряется температура и концентрация антропогенных выбросов.

Основной целью внедрения систем регулирования антропогенных выбросов является снижение негативного влияния ТЭС на экологическую обстановку за счет обеспечения непрерывного контроля состава выбросов в окружающую среду и проведения мер по их снижению. Кроме того, данные системы способствуют уменьшению штрафов за вредные выбросы в окружающую среду.

Основными задачами таких систем являются:

- регулирование, непрерывный контроль и учет химического состава и объемов дымовых газов, выбрасываемых в окружающую среду;
- контроль за соблюдением установленных для ТЭС предельно допустимых выбросов (ПДВ) и предельно допустимых концентраций (ПДК).

Существует несколько вариантов осуществления мониторинга дымовых газов на ТЭС:

- контроль и учет объемов выбросов дымовых газов на дымовой трубе;
- контроль и учет концентраций вредных веществ в составе дымовых газов в газоходах котлов;
- комбинированный способ, заключающийся в измерении концентраций вредных веществ и объемов выбрасываемых в атмосферу дымовых газов.

В данной работе выбран комбинированный способ для осуществления регулирования дымовых газов, поскольку оно позволяет получать наиболее полную информацию о реальном уровне загрязнений, производимых ТЭС.

Процесс сжигания осуществляется в водогрейном котле с вихревой топкой КВ 5,0-115 ШпВТ (рисунок 1). Процесс горения в такой топке характеризуется следующими признаками:

- в случае превышения температуры $t > 1000$ °С, происходит выделение оксидов серы и азота, что неблагоприятно сказывается на окружающей среде. Так же высокие температуры вредят поверхностям нагрева котла;

- в случае низкой температуры $t < 700$ °С, происходит недожог топлива, это приводит к существенному снижению теплопроизводительности котла и времени его работы на одной загрузке. При этом в топке котла образуется зола, что крайне негативно сказывается на работе котла;

- превышение антропогенных выбросов оксидов серы $SO_x > 300$ мг/м³ и азота $NO_x > 500$ мг/м³, напрямую влияют на состояние человека, вызывают болезни органов дыхания, кровообращения и злокачественные новообразования. Приводят к обострению различных легочных и хронических заболеваний.

При вихревом методе сжигания топочных газов, частица или капля топлива циркулирует по организованному контуру потока столько раз, сколько необходимо для ее полного сгорания [8]. В случае если обеспечивается непрерывный возврат крупных частиц топлива в зону активного горения, становится возможным увеличение времени пребывания частиц в топке без увеличения её габаритов. Вихревой метод сжигания применяется [9, 10, 11] в низкотемпературных вихревых топках, топках Шершнёва, циклонных предтопках, вихревой топке ЦКТИ и др. Кроме снижения потерь с механическим недожогом и затрат на размол топлива к достоинствам вихревого метода следует отнести стабилизацию процесса горения за счёт увеличения массы топлива в топке.

Топки котлоагрегатов ТЭС, предназначенные для сжигания суспензионных топлив, должны обеспечивать достаточно большое время

пребывания частиц топлива в камере горения, интенсивное перемешивание топлива и окислителя, а также поддерживать необходимо высокую температуру во всем объеме камеры горения. Очевидно, что такие условия могут быть обеспечены при вихревом способе сжигания, что является причиной его широкого распространения при организации сжигания суспензионных топлив.

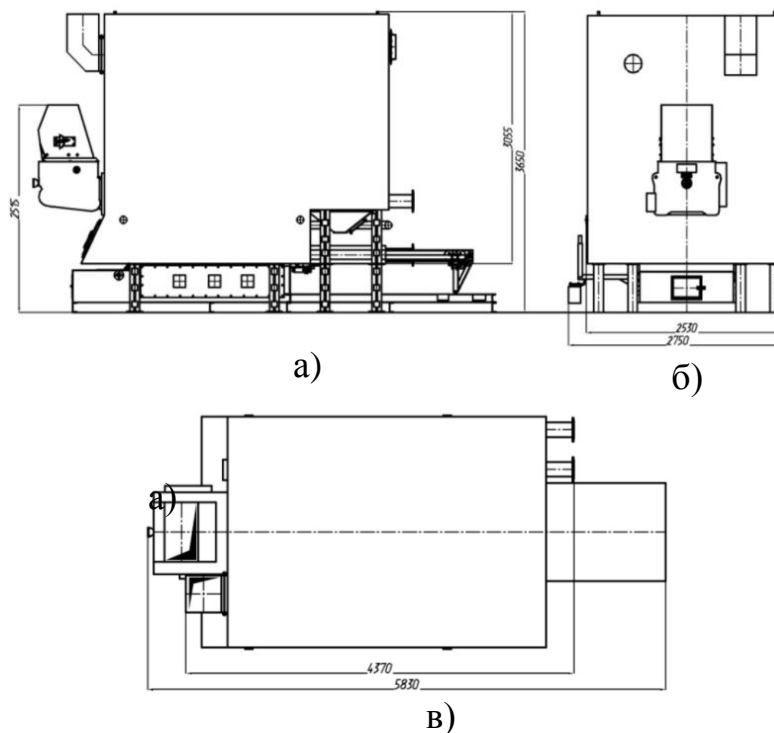


Рисунок 1 – Схема водогрейного котла с вихревой топкой КВ 5,0-115
ШпВТ: а) блок котла; б) питатель топлива; в) выгрузатель шлака

Водогрейные котлы с вихревыми топками работают на различном топливе (котлы на угле, котлы на лузге подсолнечника, котлы на сухих древесных и других растительных отходах, котлы на влажных древесных отходах, котлы на птичьем подстилочном помёте, навозе, лигнине), блочно-модульных котельных и калориферных установок, воздухонагревательных установок для шахт и рудников, дробилок, систем складирования топлива, транспортирующих систем, топок и питателей, систем золоулавливания, обдувочных аппаратов и горелочных устройств.

Основные технические характеристики установки приведены в таблице 1,2.

Таблица 1 – Техническая характеристика котла КВ 5,0-115 ШпВТ

Номинальная мощность, МВт (Гкал)	5,0 (4,3)
Рабочее давление, МПа	0,6
Гидравлическое сопротивление, МПа	0,15
Температура теплоносителя вх/вых, °С	70/115
Расход воды, м ³ /ч	99 (55)
Диапазон регулирования мощности, %	20-120
Температура уходящих газов, °С	160-170
Расчетный КПД, %	87
Расход топлива (Q _п =5000 ккал/кг), кг/ч	988
Расход воздуха, м ³ /ч	6500
Масса котла, кг	6720
Масса поставляемого блока котла, кг	8000
Масса выгрузателя шлака ВШо 1,9*1,2, кг	2000

Таблица 2 – Экологические показатели

Выбросы NO _x , мг/м ³	Не более 200
Выбросы СО, мг/м ³	Не более 500
Выбросы твердых частиц, мг/м ³	Не более 150

Использование предлагаемых котлов позволяет обеспечить:

- высокий КПД (более 87 %) и экономичность котлоагрегата;
- высокие экологические показатели (СО менее 300 мг/м³, NO_x более 80 г/м³);
- возможность сжигания отходов углеобогащения, дробленых углей, в том числе с высокой зольностью;

– однородное заполнение топки факелом и равномерное тепловосприятие топочных экранов за счет факельно-слоевого сжигания, что повышает надежность и облегчает условия работы трубной системы котла;

– активная аэродинамика и форсирование топочного процесса минимизируют содержание горящего топлива и в совокупности с непрерывной регулируемой подачей топлива обеспечивают управляемость топки и, соответственно, возможность автоматизации.

В выбранной системе присутствует ряд измеряемых и регулируемых параметров. Их перечень и номинальные значения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные измеряемые и регулируемые параметры

Параметр	Номинальное значение
Температура дымовых газов °С	1000
Расход первого компонента, кг/ч	1,8
Расход второго компонента, кг/ч	0,1
Масса третьего компонента, кг	0,1
Расход суспензии на выходе из подсистемы смешения, кг/ч	2
Расход воздуха, подаваемый в топку котла, кг/ч	8
Концентрация NO _x , ppm	300
Концентрация SO _x , ppm	700
Положение клапана PO1, %	0–100
Положение клапана PO2, %	0–100
Положение клапана PO3, %	0–100
Положение клапана PO4, %	0–100
Положение клапана PO5, %	0–100

2 Перечень функций, реализуемых АСУ

Разрабатываемая система необходима для контроля и управления процессом подготовки и сжигания низкосортного топлива. Основными функциями разрабатываемой системы являются:

- сбор информации с первичных датчиков и преобразователей;
- непрерывный контроль и учет химического состава и концентраций дымовых газов, выбрасываемых в окружающую среду;
- контроль за соблюдением установленных для ТЭС предельно допустимых выбросов (ПДВ) и предельно допустимых концентраций (ПДК);
- оповещение персонала о возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с неисправностью технологического оборудования;
- обработка полученной информации, сравнение параметров с уставками и формирование команд управления, включение звуковых и световых средств оповещения;
- отображение получаемой информации в виде мнемосхемы;
- регистрация событий в режиме реального времени.

Для корректной работы системы целесообразно использовать трехуровневую структуру, которая строится на базе микропроцессорной техники. Верхний уровень включает автоматизированное рабочее место оператора (АРМ), представляющее собой программно-техническое средство, предназначенное для сбора, хранения, обработки (обобщения), отображение информации и приема команд управления объектом. Средний уровень представлен в виде программируемого логического контроллера (ПЛК) и должен обеспечивать сбор и обработку информации от датчиков нижнего уровня, передачу информации о состоянии параметров системы на АРМ оператора, а также выдавать управляющие сигналы для запуска и управления системой. Нижний уровень представляет собой совокупность измерительных устройств, а также заслонок и задвижек.

На верхнем уровне находится АРМ оператора АСУ ТП и программное обеспечение (ПО), которое обеспечивает:

- прием информации о состоянии технологического оборудования;
- построение графиков измеряемых технологических параметров (температуры, расхода, массы и т.д.);
- архивирование данных, составление журнала событий технологического процесса;
- оператор осуществляет ввод информации о расходе топлива, поступающего к котельному агрегату;
- оператор должен обеспечить поступление необходимых компонентов суспензионных топлив при достижении предельно допустимого уровня в накопительных ёмкостях на складе;
- оператор может выбирать добавки, используемые для приготовления нужного топлива.

Технологическая схема системы должна отображаться на мнемосхеме АРМ оператора.

Передача данных на верхнем уровне АСУ ТП осуществляется по интерфейсу Ethernet (протокол TCP/IP).

3 Научно-исследовательская работа

3.1 Описание экспериментального стенда

В данной магистерской диссертации рассматривалось применение низкосортных жидких топлив в качестве замены традиционного каменного угля. Низкосортные топлива характеризуются высоким значением влажности, зольности и низкой теплотой сгорания. Поскольку одним из преимуществ водоугольных топлив является потенциальное снижение антропогенных выбросов в атмосферу, на сегодняшний день представляет интерес экспериментальное изучение различных составов данных топлив на предмет содержания в дымовых газах загрязняющих веществ, в первую очередь, оксидов серы и азота. На рисунке 2 представлен экспериментальный стенд для определения экологических характеристик горения суспензионных топлив.

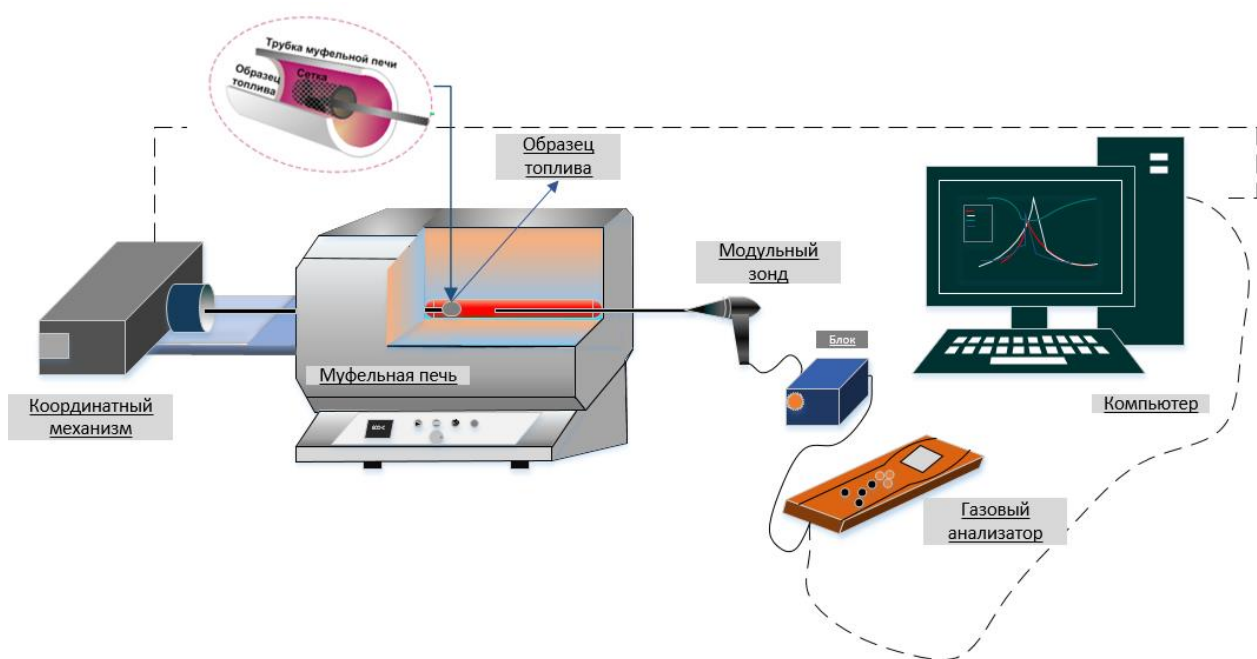


Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда

Мuffleная печь использовалась в качестве модельной камеры сгорания, в которой поддерживалась необходимая температура в диапазоне 700...900 °С. Координатный механизм использовался в качестве устройства подачи топливного образца в камеру сгорания. Газоанализатор, зонд которого встраивался непосредственно в мuffleную печь для забора пробы дымовых

газов, использовался для определения концентрации оксидов серы и азота в продуктах сгорания. ПК применялся для управления координатный механизм, а также для контроля в режиме реального времени за изменением концентраций газов, образующихся при горении топлив.

В данной работе рассмотрены оксиды NO_x и SO_x так как они имеют прямое влияние на здоровье человека (проблемы с дыханием, отдышкой, микрочастицы сульфатов и нитратов, содержащиеся в воздухе, повышают риск приступа астмы, заболевания бронхитом, вредят сердечно-сосудистой системе).

Экспериментальные определения концентраций оксидов серы (SO_x) и азота (NO_x) проводились для следующих топлив:

- 1 топливо – Уголь «Д».
- 2 топливо – Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 50 %.
- 3 топливо – Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, опилки 5 %.
- 4 топливо – Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, турбинное масло 5 %.

3.2 Описание технических средств, входящих в состав экспериментального комплекса

Муфельная печь Nabertherm R 120/500/13 является компактной трубчатой печью с интегрированными регулировочными устройствами, которая может применяться во множестве процессов. Печь стандартно оснащается рабочей керамической трубой и двумя волокнистыми пробками. Также в ней присутствует встроенная термопара для контроля температуры стенки муфеля. Основные технические характеристики используемой печи представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики муфельной печи Nabertherm R 120/500/13 [12]

Максимальная температура	1300 °C
--------------------------	---------

Продолжение таблицы 4

Тип встроенное термопары	Платинородий-платиновая термопара (тип S)
Максимальная погрешность измерений термопары, °C	В диапазоне 600...1600 $\pm 0,0025 T$

Газоанализатор Testo 340 – высокоэффективный анализатор дымовых газов для промышленности, оснащаемый сенсором O₂ и произвольной комбинацией других сенсоров в количестве до 4 штук. Газоанализатор Testo 340 [13] оснащён следующими электрохимическими сенсорами: NO_x (диапазон измерений 0...2000 ppm, погрешность 10 ppm), SO_x (диапазон измерений 0...2000 ppm, погрешность 10 ppm).

Навески отдельных компонентов топлива взвешивались с помощью аналитических весов ViBRA HT 84RCE [14] (погрешность измерения – 0,0001 г.), основываясь на расчете массы готового состава и массовых долей компонентов.

3.3 Описание эксперимента

Методика определения антропогенных выбросов, образующихся при сжигании низкосортных топлив, включала несколько этапов. В керамической трубке муфельной печи температура воздуха задавалась в пределах 700...900 °C. Наименьшая температура (700 °C) соответствует технологиям низкотемпературного зажигания суспензий ВУТ, тогда как диапазон температур 800...900 °C аналогичен тому, который используется на практике при сжигании водоугольных топлив [15]. Кроме того, данный температурный диапазон обеспечивает адекватное функционирование главных элементов стенда – муфельной печи и газоанализатора, без повреждения внутренних элементов последних в результате высоких температур (керамической трубки печи и электрохимических сенсоров газоанализатора). Защита внутренней трубы муфельной печи от длительного воздействия высоких температур

осуществлялась путем помещения внутрь нее дополнительной трубки меньшего диаметра, изготовленной из жаропрочного материала. Отверстия, через которые осуществлялась подача топлива в модельную камеру сгорания и отбор пробы дымовых газов зондом газоанализатора, герметично закрывались минеральной ватой с целью предотвращения подсосов воздуха.

Готовое топливо взвешивалось на весах и размещалось на специализированном держателе (сетке), который с помощью координатного механизма вводился в муфельную печь. При помощи модульного зонда производился отбор пробы дымовых газов, которые по газоотборному шлангу, через блок пробоподготовки поступали в вычислительный блок газоанализатора к сенсорам. Программное обеспечение "*Easy emission*" позволяло отображать на ПК в режиме реального времени все изменения концентраций компонентов газовой смеси в процессе горения топлива. Полученные в ходе экспериментов тренды концентраций подвергались дальнейшей обработке, которая включала в себя осреднение результатов экспериментов (методом трапеций), исключение грубых ошибок, определение доверительных интервалов и случайных погрешностей. В проведенных экспериментах регистрировались концентрации SO_x и NO_x . Длительность одного эксперимента составляла порядка 10 минут.

3.4 Методика приготовления топлив

Приготовление топливных суспензий производилось в несколько этапов. Образцы первого компонента биомассы сушились при комнатных условиях, затем измельчались с помощью роторной мельницы Pulverisette 14 (число оборотов ротора 6000-20000 об/мин). После измельчения биомасса просеивалась через сито с размером ячеек 100 мкм с помощью лабораторного отсева. Далее измельченная биомасса распределялась тонким слоем по поверхности листа бумаги и выдерживалась при комнатных условиях в течение нескольких дней для уравнивания атмосферной влажностью. Дополнительная сушка биомассы не проводилась.

В качестве основы суспензионных топлив в настоящем исследовании применялись флотационные отходы обогащения угля – фильтр-кек в исходном влажном состоянии. Фильтр-кек представляет собой суспензию в виде смеси угольной пыли, воды и поверхностно активных веществ. Частицы угля имеют размер 80–140 мкм, поэтому фильтр-кек дополнительно не измельчался. Приготовление топливных смесей состояло в перемешивании

Массовая доля примесей и основного компонента для приготовления суспензионных топлив выбраны из учета объёмов распределения имеющихся ресурсов в разных странах и регионах. Как правило, концентрации примесей и добавок к топливам может варьироваться в диапазоне 5–20 %. Такое соотношение достаточно типично при утилизации отходов маслопроизводства, древесных остатков, шелухи подсолнечника, рапсового масла при совместном сжигании с угольными топливами. Для сжигания суспензионного топлива выбран растительный компонент с массовой концентрацией в 5 %. Если добавить больше растительного компонента, это приведет к увеличению вязкости всей смеси, что непригодно для подачи по трубопроводам и вихревом сжигании. Необходимо, чтобы дополнительные компоненты выбирались с учетом условия доступности, масштабов их генерации и наличия альтернативного варианта. Так, например, взаимозаменяемыми компонентами могут являться разные виды древесины (сосна, береза, дуб), лесного горючего материала (листья разных видов деревьев, хвоя, травяной настил), шелуха разных сельскохозяйственных культур (рис, пшеница, хлопок), отходы переработки растительного сырья для производства продуктов питания (жмых подсолнечника, рапса, пальмоядровые отходы, остатки какао бобов, жом сахарного тростника). Для данного исследования выбраны типичные и имеющие альтернативу для других регионов компоненты биомассы, массовое содержание которых (5 %) можно принять в качестве обоснованного значения для суспензионных топлив.

3.5 Результаты экспериментов

Результаты экспериментов по определению концентраций NO_x и SO_x при сжигании топливных образцов в муфельной печи приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Зарегистрированные значения концентраций антропогенных выбросов при сжигании исследованных топлив на единицу массы угля

Выбросы		SO_2 , ppm	NO_x , ppm	SO_2 , ppm	NO_x , ppm	SO_2 , ppm	NO_x , ppm	SO_2 , ppm	NO_x , ppm
Масса, г	T , °C	Уголь «Д»		Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 50 %		Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, опилки 5 %		Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, турбинное масло 5 %	
0,15	700	35	194	7	91	4	108	9	93
	800	77	226	16	128	15	165	39	157
	900	90	327	35	167	34	172	50	186
0,3	700	32	153	11	110	6	92	10	106
	800	76	236	38	143	21	145	39	160
	900	97	410	61	188	45	193	63	262
0,45	700	31	197	21	119	13	109	18	127
	800	89	290	33	160	30	144	49	169
	900	121	450	90	205	62	204	92	272

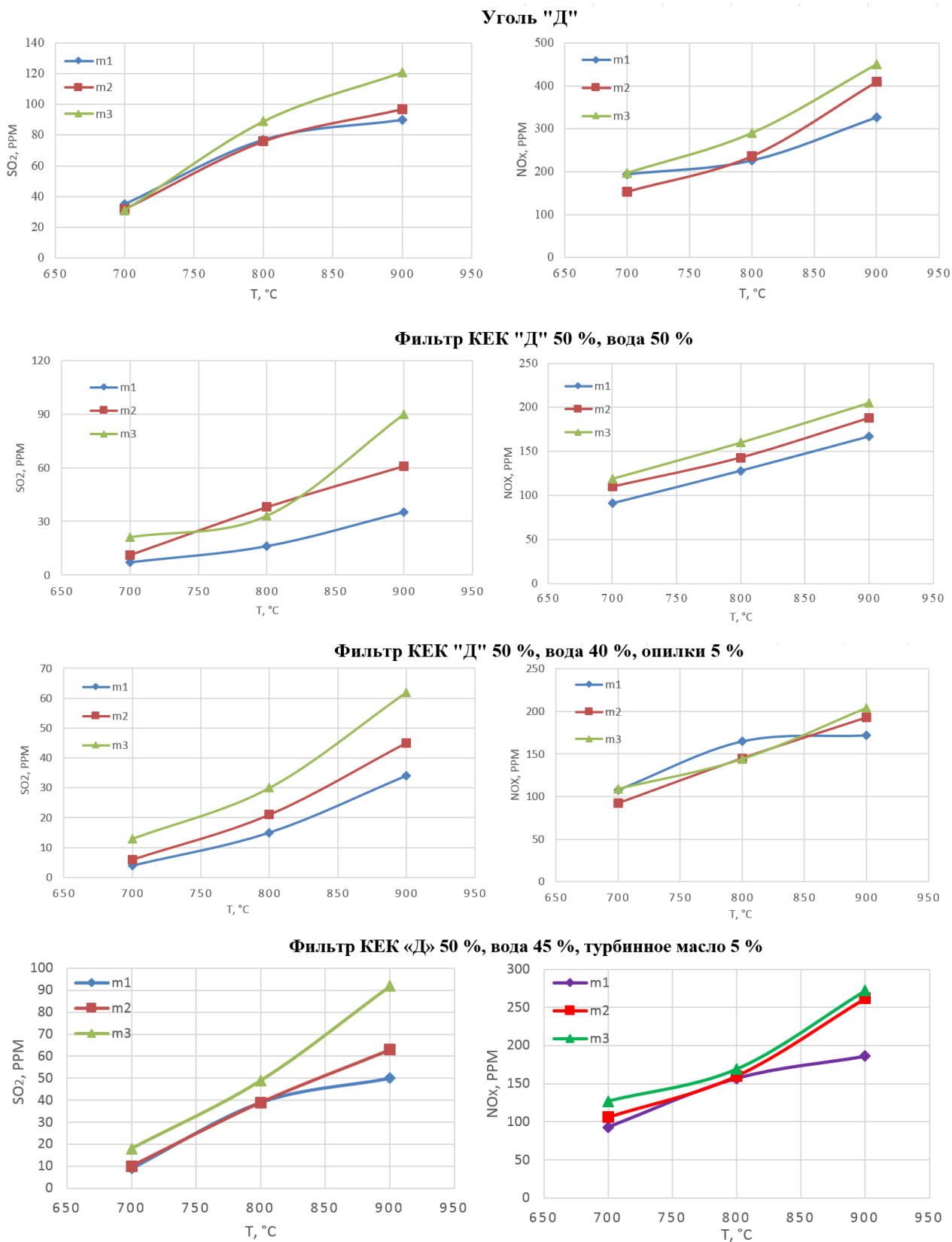


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости концентраций выбросов NO_x от температуры при разной массе компонента

Установлено, что при увеличении температуры и массы окислителя, повышаются концентрации SO_x и NO_x в дымовых газах.

По результатам исследований, представленных в таблице 5 можно сделать следующие выводы:

1. Использование суспензионных топлив является более экологичным решением с точки зрения образования SO_x при сжигании топлива, чем использование угля. Рассмотренные жидкие топлива демонстрируют меньшие в 1,5 – 3 раза концентрации оксидов серы в продуктах сгорания, чем у угля марки «Д». Это связано с наличием воды в данных топливных компонентах. При высоких температурах происходит химическое реагирование продуктов разложения воды ($2H_2O(g) \rightleftharpoons 2H_2(g) + O_2(g)$) с оксидами серы: $SO_2 + 3H_2 \rightarrow H_2S + 2H_2O$). Наименьшими концентрациями оксидов серы среди всех топливных суспензий характеризуется состав с добавлением опилок. Первостепенно это связано с тем, что часть фильтр-кека марки «Д» была заменена древесными опилками, имеющими в своем составе меньше серы, чем данный отход угольной промышленности. Значимость снижения выбросов SO_x заключается не только в уменьшении загрязнения атмосферы продуктами сгорания угля, но и с точки зрения управления процессами коррозии элементов котла. Высокие концентрации SO_x в дымовых газах приводят к сульфированию щелочных и щелочноземельных хлоридов с понижением температуры дымовых газов. Это приводит к освобождению хлора. Если эти реакции происходят в частицах золы, осажденных на поверхности труб теплообменника, выделившийся хлор способствует коррозии с образованием $FeCl_2$ или $ZnCl_2$ на поверхностях теплообменника [16].

2. При сжигании суспензионных топлив, происходит снижение концентрации оксидов азота. Этому, в первую очередь, способствует наличие воды в рассматриваемых жидких топливах. Кислород, образующийся в ходе реакции, интенсифицирует процесс горения, а водород действует как

восстановитель, помогая снизить содержание оксидов азота в дымовых газах ($2\text{NO} + 4\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$). Кроме того, важным фактором, влияющим на образование NO_x , является содержание азота в топливе [16]. Снижение общего азотосодержания водосодержащих топливных компонентов является еще одной причиной снижения концентрации NO_x в продуктах сгорания суспензионных топлив, по сравнению с углем.

Основываясь на экспериментальных данных, можно сделать заключение.

Во-первых, рассмотренные низкосортные жидкие топлива имеют меньшие концентрации SO_x и NO_x в дымовых газах в сравнении с традиционным топливом.

Во-вторых, добавление древесных опилок, значительно улучшают экологические характеристики третьего топлива.

3.6 Действующие и перспективные нормативы удельных выбросов в РФ и за рубежом

В 1995 г. Постановлением Госстандарта Российской Федерации был введен в действие ГОСТ Р 50831-95 [17], который отменил действующие ранее и ввел в действие новые нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для котельных установок ТЭС. ГОСТ Р 50831 распространяется на котельные установки паропроизводительностью от 160 до 3950 т/ч на абсолютное давление перегретого пара от 9,8 до 25,0 МПа.

В таблицах 6, 7 приведены нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по ГОСТ Р 50831-95.

Таблица 6 – Нормативы удельных выбросов в атмосферу оксидов серы для котельных установок, вводимых на ТЭС с 1 января 2001 г., для твёрдых и жидких видов топлива

Тепловая мощность котлов Q, МВт _т (паропроизводительность котла D, т/ч)	Приведенное содержание серы S _{пр} , % · кг/МДж	Массовый выброс SO _x на единицу тепловой энергии, г/МДж	Массовый выброс SO _x , кг/ту.т.	Массовая концентрация SO _x в дымовых газах при a=1,4, мг/м ³ при н.у.
до 199 (до 320)	0,45 и менее более	0,5	14,7	1200
		0,6	17,6	1400
200-249 (320-400)	0,45 и менее более	0,4	11,7	950
		0,45	13,1	1050
250-299 (400-420)	0,45 и менее более	0,3	8,8	700
		0,3	8,8	700
300 и более (420 и более)	-	0,3	8,8	700

Таблица 7 - Нормативы удельных выбросов в атмосферу оксидов азота для котельных установок, вводимых на ТЭС с 1 января 2001 г.

Тепловая мощность котлов Q, МВт _т (паропроизводительность котла D, т/ч)	Вид топлива	Массовый выброс NO _x на единицу тепловой энергии, г/МДж	Массовый выброс NO _x , кг/ту.т.	Массовая концентрация NO _x в дымовых газах при α = 1,4, мг/м ³ при н.у.
до 299 (до 420)	Газ	0,043	1,26	125
	Мазут	0,086	2,52	250
	Бурый уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,11	3,20	300
	жидкое шлакоудаление	0,11	3,20	300
	Каменный уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,17	4,98	470
300 и более (420 и более)	Газ	0,043	1,26	125
	Мазут	0,086	2,52	250
	Бурый уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,11	3,20	300
	жидкое шлакоудаление	–	–	–
	Каменный уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,13	3,81	350
жидкое шлакоудаление	0,21	6,16	570	

3.7 Порядок определения удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для действующих котельных установок

3.7.1 Определение удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (далее удельных выбросов) для действующих котельных установок ТЭС проводится для каждого котлоагрегата.

При определении удельных выбросов используются и анализируются следующие исходные данные:

- данные действующих документов по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ и проекта ПДВ для ТЭС;
- данные производственного контроля на котлоагрегатах – концентрации загрязняющих веществ в уходящих дымовых газах за последние 3 года;
- данные по качеству сжигаемого топлива за последние 3 года.

Определение удельных выбросов производится в следующей последовательности:

- определение наихудших условий работы котлоагрегата с точки зрения образования выбросов и соответствующих концентраций загрязняющих веществ в дымовых газах;
- измерение концентраций загрязняющих веществ;
- определение максимальных выбросов загрязняющих веществ в г/с;
- определение фактических удельных выбросов загрязняющих веществ;
- сравнение полученных удельных выбросов с действующим экологическим законодательством РФ и зарубежных стран;
- разработка предложений (при необходимости) по снижению фактических удельных выбросов загрязняющих веществ для достижения требуемых нормативов удельных выбросов (или перспективных), исходя из классификации котельных установок по тепловой мощности и видам сжигаемого топлива.

За наихудшие условия работы котлоагрегата при определении удельных выбросов принимается работа котлоагрегата при максимальном расходе сжигаемого топлива наихудшего качества (наименьшая теплота сгорания, наибольшие зольность, сернистость и т.д.) и максимальной нагрузке.

Режимы работы котлоагрегата при растопке, наборе мощности, останове и т.п. не являются режимами, на основе которых устанавливаются нормативы удельных выбросов.

За максимальную концентрацию загрязняющего вещества в дымовых газах принимается наибольшая замеренная или рассчитанная концентрация загрязняющего вещества при наихудших условиях работы котлоагрегата, мг/м³ при н.у.

3.7.2 Определение максимальных/средних выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котлоагрегатов проводится согласно [18].

Максимальные/средние выбросы оксидов азота определяются по максимальным/средним замеренным концентрациям этих веществ; максимальные/средние выбросы диоксида серы определяются балансово-расчетным методом.

Максимальные/средние выбросы оксидов азота от котлоагрегата определяются по формуле:

$$M_{NO_x} = \mu_{NO_x} \cdot V_{cri} \cdot B_i, \text{ г/с} \quad (1)$$

где μ_{NO_x} – измеряемая концентрация оксидов азота в пересчете на NO₂ в уходящих газах котлоагрегата при его максимальной нагрузке при сжигании *i*-го вида топлива (или смеси топлив), мг/м³ при н.у.; V_{cri} – удельный объем сухих дымовых газов, образующихся при сгорании 1 кг (1 м³ при н.у.) *i*-го вида топлива, при $\alpha = 1,4$ м³/кг топлива (м³/м³ топлива) при н.у.; B_i – расход *i*-го вида топлива на котлоагрегате при максимальной нагрузке, кг/с (м³/с).

Так как эксперимент проводился в лабораторных условиях, то обеспечивать непрерывную подачу топлива не предоставляется возможным.

Поэтому, за величину V_i принято отношение массы сжигаемого топлива к времени его выгорания.

Максимальный/средний выброс диоксида серы от котлоагрегата определяется по формуле:

$$M_{SO_2} = \mu_{SO_2} \cdot V_{cri} \cdot B_i, \text{ г/с } 1 \quad (2)$$

где μ_{SO_2} – измеряемая концентрация диоксидов серы в уходящих газах котлоагрегата при его максимальной нагрузке при сжигании i -го вида топлива (или смеси топлив), мг/м³ при н.у.;

Расчет удельного объема сухих дымовых газов выполняется в соответствии с [19] по формуле:

$$V_{ct} = V_{\Gamma}^0 + (a - 1) \cdot V^0 - V_{H_2O}^0 \quad (3)$$

где V_{Γ}^0 , V^0 , и $V_{H_2O}^0$ – соответственно, удельный объем воздуха, удельный объем дымовых газов и водяных паров при стехиометрическом сжигании 1 кг (1 м³) топлива, м³/кг (м³/м³) при н.у.;

a - коэффициент избытка воздуха.

Для твердого и жидкого топлива расчет выполняют на основе химического состава сжигаемого топлива по формулам:

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^r + 0,375 \cdot S_{op+k}^r) + 0,265 \cdot H^r - 0,0333 \cdot O^r \quad (4)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H^r + 0,0124 \cdot W^r + 0,0161 \cdot V^0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} V_{\Gamma}^0 &= V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 = \\ &= 1,866 \cdot \frac{C^r + 0,375 \cdot S^r}{10} + 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot \frac{N^r}{100} + V_{H_2O}^0 \end{aligned} \quad (6)$$

где C^r , S_{op+k}^r , H^r , O^r , N^r – соответственно, содержание углерода, серы, водорода, кислорода и азота в рабочей массе топлива, %;

W^r – влажность рабочей массы топлива, %.

Определение максимального/среднего удельного выброса загрязняющего вещества, приходящегося на единицу вводимого в топку котлоагрегата тепла, производится по формуле:

$$n = \frac{M}{B_i \cdot Q_i^r}, \text{ г/МДж} \quad (7)$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания i -го вида топлива, МДж/кг (МДж/м³).

Определение максимального/среднего удельного выброса загрязняющего вещества, приходящегося на тонну условного топлива, проводится по формуле:

$$m = n \cdot Q_{y.t.}^r, \text{ г/кг у.т.} \quad (8)$$

где $Q_{y.t.}^r$ - теплота сгорания условного топлива, равная 29,3 МДж/кг у.т.

3.8 Результаты расчета

В таблице 8 приведены исходные данные характеристик сжигания суспензионных топлив:

1 топливо – Уголь «Д».

2 топливо – Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 50 %.

3 топливо – Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, опилки 5 %.

4 топливо – Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, турбинное масло 5 %.

Таблица 8 - Исходные данные для расчета

	Уголь Д	Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 50 %	Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, опилки 5 %	Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, турбинное масло 5 %
$W_r, \%$	5,17	51,50	46,85	46,50
$A_r, \%$	13,18	17,94	18,01	17,94
$C_r, \%$	62,96	22,39	24,79	26,65
$H_r, \%$	4,71	1,50	1,80	2,20
$N_r, \%$	2,14	0,72	0,83	0,73
$S_r, \%$	0,33	0,07	0,07	0,09
$O_r, \%$	11,51	5,89	7,75	5,89
$Q_i^r, \text{ МДж/кг}$	24,594	7,251	8,215	9,625
Коэф-т избытка воздуха, %	1,71	1,68	2,11	1,73
Масса, кг	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Время горения, с	750	500	500	310

Продолжение таблицы 8

t, °C	900			
Измеренные концентрации:				
SO _{2max} , мг/м ³	478	281	239	435
NO _{xmax} , мг/м ³	751	316	421	637
SO _{2cp.} , мг/м ³	258,00	162,00	120,00	168
NO _{xcp.} , мг/м ³	510,00	234,00	239,00	326

Результаты расчетов представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета

Расчетные показатели	Уголь «Д»	Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 50 %	Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, опилки 5 %	Фильтр КЕК «Д» 50 %, вода 45 %, турбинное масло 5 %
Расход i-го вида топлива, кг/с	0,0000004	0,0000006	0,0000006	0,0000009
Максимальный выброс SO ₂ , мг/с	0,0021	0,0006	0,0006	0,0020
Максимальный выброс NO _x , мг/с	0,0033	0,0007	0,0010	0,0029
Средний выброс SO ₂ , мг/с	0,0011	0,0004	0,0003	0,0008
Средний выброс NO _x , мг/с	0,0023	0,0005	0,0006	0,0015
Удельный объём сухих дымовых газов, м ³ /кг	11,0333	3,7584	4,1558	4,6977
Удельный объём воздуха, м ³ /кг	6,4730	2,1936	2,4250	2,7592
Удельный объём водяных паров, м ³ /кг	0,6913	0,8401	0,8196	0,8655
Удельный объём дымовых газов, м ³ /кг	6,9992	2,9971	3,2051	3,5490
Средний выброс SO ₂ , г/МДж	0,1157	0,0840	0,0607	0,0820

Продолжение таблицы 9

Средний выброс NO _x , г/МДж	0,2288	0,1213	0,1209	0,1591
Средний удельный выброс SO ₂ г/кг у.т.	3,3913	2,4603	1,7787	2,4025
Средний удельный выброс NO _x г/кг у.т.	6,7037	3,5537	3,5425	4,6620

Основываясь на результатах расчета, можно сделать заключение, что рассмотренные низкосортные топлива 2, 3, 4 имеют меньшие показатели в сравнении с традиционным топливом 1. Концентрации оксидов серы и азота для топлив 2, 3 очень близки. Такой результат объясняется схожими характеристиками компонентного состава добавок. При внесении в состав компонента отработанного турбинного масла происходит увеличение концентраций оксидов серы и азота в продуктах сгорания. В ходе экспериментов было установлено, что при постоянной температуре горения 900 °С, концентрации оксидов серы и азота для угля марки Д максимальны.

Анализ результатов сравнения позволил выявить несколько причин снижения концентраций SO_x и NO_x от сжигания низкосортных жидких топлив по сравнению с углем:

- жидкое топливо содержит большое количество влаги;
- доля серы и азота в жидких топливах ниже;
- растительные добавки содержат большое количество летучих веществ;
- теплотворная способность угля выше, чем у жидких топлив, следовательно, температура в зоне горения выше [20].

4 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления

В разрабатываемой системе в качестве управляющего устройства предлагается использовать многоканальный программируемый логический контроллер (ПЛК). Программируемый логический контроллер исключает использование блока ручного управления, задатчиков регулируемых параметров, стабилизирующего и корректирующего регуляторов, т.к. их функции может выполнять непосредственно контроллер.

Структурная схема разрабатываемой АСУ ТП представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С1.

При помощи датчиков температуры ДТ и газоанализатора ГА информация о температуре дымовых газов в топке котла и концентрации регулируемого низкосортного топлива передается на программируемый логический контроллер ПЛК. С помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя процессор обрабатывает сигналы и вырабатывает управляющие воздействия, подаваемые на пусковое устройство. Пусковое устройство усиливает аналоговые сигналы, которые поступают на ИМ1...ИМ5. Вал ИМ вращается и, следовательно, меняется положение РО1...РО5.

Регулирование расхода компонентов низкосортного топлива осуществляется с помощью регулирующего органа с электроприводом РО1, РО2, РО3, РО4 соответственно. Регулирование расхода воздуха осуществляется с помощью регулирующего органа с электроприводом РО5. Основываясь на показаниях расхода дымовых газов, контроллер формирует дискретный регулирующий сигнал, который поступает на пусковое устройство, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма. Сигналы с ПЛК подаются на автоматизированное рабочее место АРМ, что позволяет оператору получать сведения о технологическом процессе, дистанционно управлять им, вести документацию, выявлять неполадки в работе оборудования.

5 Разработка функциональной схемы системы управления

При разработке функциональной схемы автоматизированной системы управления технологическим процессом горения низкосортного топлива в топке водогрейного котла решены следующие задачи:

- изучена технологическая схема автоматизируемого объекта;
- составлен перечень контролируемых параметров технологического процесса и технологического оборудования;
- на технологической схеме объекта автоматизации определено местоположение точек отбора измерительной информации;
- определены предельные рабочие значения контролируемых параметров;
- выбрана структура измерительных каналов информационно-управляющей и исполнительной частей системы автоматизации: в состав структуры каналов измерительной части входит первичный преобразователь температуры без нормирующего преобразователя, в состав структуры каналов информационно-управляющей части входит ПЛК, в состав структуры исполнительной части входит исполнительный механизм;
- выбраны методы и технические средства получения, преобразования, передачи и представления измерительной информации;
- размещены технические средства автоматизации (ТСА) на технологическом оборудовании: первичные преобразователи температуры расположены непосредственно на технологическом оборудовании, ПЛК расположен в шкафу управления и автоматики [21, 22].

Функциональная схема АСУ ТП представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С2

При разработке функциональных схем автоматизации и выборе технических средств необходимо учитывать особенности технологического процесса, условия пожаро- и взрывоопасности, агрессивность и токсичность окружающей среды, параметры и физико-химические свойства

технологических сред, расстояние от мест установки первичных преобразователей, отборных и приемных устройств до постов контроля, требуемую точность и быстродействие средств автоматизации.

На технологической схеме определяются измерительные каналы 1...6, 21. Измерительный канал 1 формирует сигнал о величине температуры дымовых газов в топке котла. Измерительные каналы 2, 3 формируют сигналы о величине расхода 2-х компонентов сжигания, измерительный канал 5 формирует сигнал о величине расхода суспензии на выходе из подсистемы смешения. Измерительный канал 4 формирует сигнал о величине массы третьего компонента. Измерительный канал 6 формирует сигнал о величине расхода воздуха. Для контроля антропогенных выбросов измерительный канал 21 формирует сигнал о концентрации дымовых газов.

Измерительный преобразователь 1а формирует выходной унифицированный сигнал 4...20 мА о величине температуры дымовых газов в топке котла. Измерительные преобразователи 2а, 3а, 5а формируют выходной унифицированный сигнал 4...20 мА о величине расхода суспензионного топлива. Измерительный преобразователь 4а формирует выходной унифицированный сигнал 4...20 мА о величине массы третьего компонента. Измерительный преобразователь 6а формирует выходной унифицированный сигнал 4...20 мА о величине расхода воздуха поступающего в топку котла. Сигналы поступают на аналоговые входы контроллера. По измерительному преобразователю 21а на ПЛК поступают данные о качественном составе дымовых газов.

Управляющее воздействие для реализации непрерывного регулирования в соответствии с принятым законом, формируется ПЛК и передается на исполнительные механизмы по каналам 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19. Управляющее воздействие для реализации дискретного управления, передается на исполнительные механизмы по каналам 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20.

Для управления расходом первого компонента с выхода контроллера подается сигнал управления на пусковое устройство 7а. Пусковое устройство

7а подает напряжение питания на привод исполнительного механизма 7б. Исполнительный механизм 7б воздействует на регулирующий орган, расположенный в трубопроводе подачи первого компонента, путем его поворота.

Аналогичным образом происходит управление расходом 2-го компонента и суспензионного топлива на выходе из подсистемы смешения. С выхода контроллера подаются сигналы управления на пусковые устройства 9а и 13а. Пусковые устройства подают напряжение питания на приводы соответствующих исполнительных механизмов 9б, 13б. Исполнительные механизмы воздействует на регулирующие органы, расположенные в трубопроводах подачи второго и третьего компонента соответственно.

Канал управления 17 передает управляющее воздействие для включения и выключения насоса.

Канал управления 19 передает управляющее воздействие для включения и выключения дутьевого вентилятора, расход воздуха, поступающий в топку котла, регулируется с помощью канала 16.

Линии связи, выведенные от первичных измерительных преобразователей, идут к щиту управления, включающему в свой состав контроллер. От контроллера информация в режиме реального времени передается на верхний уровень, т.е. на автоматизированное рабочее место АРМ оперативного персонала, который следит за технологическим процессом.

6 Составление опросных листов на приборы и средства автоматизации

Опросные листы на ТСА необходимы при разработке системы автоматизации, поскольку между выбором оборудования и его закупкой/внедрением может пройти достаточно большой период времени, за который выбранное оборудование может быть снято с производства, либо могли появиться более подходящие по тем или иным критериям варианты. Наличие опросных листов позволяет быстро осуществить подбор альтернативного оборудования, ориентируясь на ранее заложенные в них требования. Опросные листы на используемые средства контроля технологических параметров представлены в приложении Б.

7 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации

В ходе проектирования системы контроля антропогенных выбросов ТЭС отдавалось предпочтение оборудованию и средствам автоматизации, которые выпускаются серийно отечественными предприятиями. Это упрощает закупку оборудования, обеспечивает наиболее полную поддержку со стороны производителя. Кроме того, предпочтение отдавалось унифицированным техническим средствам, так как это обеспечивает взаимозаменяемость, упрощает подключение друг с другом и формирование комплекта запасного имущества и принадлежностей.

При выборе оборудования необходимо учитывать предельные значения измеряемых параметров, а также условия, в которых возможна эксплуатация выбираемого оборудования. Кроме того, важно учитывать характеристики выходных сигналов выбранных технических средств.

7.1 Выбор технических средств измерения температуры

В разработанной системе АСУ ТП процесса горения в топке водогрейного котла измеряется температура дымовых газов. Компания «ОВЕН» предлагает большой выбор датчиков для измерения температуры. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

А) ДТП-И – датчик с чувствительным элементом типа «термопара». Датчики ДТП предназначены для непрерывного измерения температуры жидких и газообразных сред, сыпучих материалов и твердых тел в различных отраслях промышленности [23]. Выпускается в двух исполнениях: ДТПЛ с преобразователем типа ТПЛ (ХК) и ДТПК с преобразователем типа ТПК (ХА). Рабочий диапазон для типа ТПЛ составляет $-40...+600$ °С, для типа ТПК рабочий диапазон составляет $-40...+800$ °С.

Б) ДТС-И – датчик с чувствительным элементом типа «термопреобразователь сопротивления». Диапазон измерения составляет 0...+150 °С, выходной сигнал 4...20 мА, предел допускаемой основной приведенной погрешности ±0,5 %. Датчики предназначены для непрерывного измерения температуры жидких и газообразных сред, сыпучих материалов и твердых тел в различных отраслях промышленности, а также в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Датчики преобразуют изменение температуры в изменение электрического сопротивления постоянному току.

Для измерения температуры дымовых газов в топке котла, был выбран преобразователь термоэлектрический ДТПН285М-0918.120.1,0.И18 со встроенным нормирующим преобразователем. Связь с контроллером осуществляется посредством аналогового унифицированного токового сигнала 4...20 мА. Основные характеристики выбранного термоэлектрического преобразователя представлены в таблице 10 [23].

Таблица 10 – Основные характеристики термоэлектрического преобразователя ДТПН285М-0918.120.1,0.И18

Наименование характеристик	Значение
Диапазон измеряемых температур, °С	от -40 до +1250
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	± 1,0
Класс допуска	2
Номинальное значение напряжения питания (постоянного тока), В	24
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54

7.2 Выбор технических средств измерения расхода суспензионного топлива

Для измерения количества суспензионных топлив, проходящих через подсистему смешения, необходимо установить расходомер. В данной работе

проведем сравнение трех устройств, изготовленных различными производителями и работающих по разным принципам:

– кориолисовый расходомер фирмы «Endress+Hauser» типа Proline Promass 80F; Технические характеристики представлены в таблице 11 [24].

– ультразвуковой расходомер фирмы «Эй-Си Электроник» типа US800. Технические характеристики приведены в таблице 12 [25].

– электромагнитный расходомер типа ЭМИС-МАГ 270. Технические характеристики приведены в таблице 13 [26].

Таблица 11 – Технические характеристики расходомера Proline типа Promass 80F

Наименование	Значение
Токовый выход	4...20 мА;
Питание	220 АС или 24 В DC
Диапазон измерения	до 3200 т/ч
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	по массе: ±0,35
Рабочая температура	От - 50 до + 350 °С
Рабочее давление	0–3 МПа

Таблица 12 – Технические характеристики ультразвукового расходомера фирмы «Эй-Си Электроник» типа US-800

Наименование	Значение
Токовый выход	4...20 мА
Питание	24 В DC
Рабочие условия	-40...+180 °С

Продолжение таблицы 12

Наименование	Значение
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	По массе: ± 1
Измерение расхода	до 6500 м ³ /ч

Таблица 13 – Технические характеристики электромагнитного расходомера типа ЭМИС-МАГ 270

Наименование	Значение
Токовый выход	4...20 мА
Питание	220 В АС или 24 В DC
Нормальные рабочие условия	температура среды: от -40 до + 50 °С
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	$\pm 0,5$
Максимальный объёмный расход	6,3 м ³ /ч

На основе анализа технических характеристик был выбран электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270. Данный расходомер предназначен для: измерения расхода электропроводных жидкостей, в том числе загрязненных и агрессивных сред.

Наиболее подходит для проектируемой системы по диапазону рабочих температур и объемному расходу.

7.3 Выбор технических средств измерения расхода воздуха

К оборудованию, предназначенному для работы с дымовыми газами, предъявляются особые требования. Главным из них является способность работать в условиях повышенных концентраций топливных оксидов. На российском рынке представлено два расходомера дымовых газов,

произведенных отечественными предприятиями. Проведем сравнение двух устройств, изготовленных различными производителями и работающих по разным принципам:

- вихреакустический преобразователь расхода Метран 305ПР;
- ультразвуковой расходомер фирмы Siemens марки SITRANS FS230.

Таблица 14 – Технические характеристики вихреакустический преобразователь расхода Метран 305ПР [27]

Наименование	Значение
Токовый выход	4...20 мА
Питание	220 В
Температура среды	0...100 °С
Давление среды	До 30 МПа
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	±1
Измерение расхода	до 16000 м ³ /с

Таблица 15 – Технические характеристики ультразвукового расходомера фирмы Siemens марки SITRANS FS230 [28]

Наименование	Значение
Токовый выход	4...20 мА
Питание	220 В
Температура среды	От 30 °С
Диапазон измерения	0...50 м/с
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	±2,5
Измерение расхода	до 15000 м ³ /с

На основе анализа технических характеристик был выбран вихреакустический преобразователь расхода Метран 305ПР, выпускаемый компанией «Emerson», г. Москва. Причинами выбора данного расходомера послужили меньшая погрешность измерения и больший диапазон измерений.

7.4 Выбор технических средств измерения массы третьего компонента

Автомобильные весы переносные ИСТОК 20-2П/10 (ГосРеестр) предназначены для весового контроля грузового и легкового автотранспорта при небольшом грузопотоке, а также для оперативного контроля нагрузок на оси автомобиля [29].

Весы автомобильные передвижные «Невские весы» ВСА-С Вуокса 30000-3 с шириной платформы 1 м могут быть установлены на любой твёрдой поверхности - даже в чистом поле. Отлично подходят для предприятий угольной промышленности и других сфер деятельности [30].

Технические характеристики весов представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики автомобильных весов серии ВСА-С Вуокса 30000-3 с и ИСТОК 20-2П/10

Наименование	Значение	
	Модель	
	ИСТОК 20-2П/10	ВСА-С Вуокса 30000-3 с
Предел взвешивания	20 т	30 т
Точность измерения	10 кг	10 кг
Температурный диапазон	от -30 °С до + 50 °С	от -30 °С до + 40 °С
Степень защиты	IP67	IP68

В рамках данной работы были выбраны автомобильные весы серии ВСА-С Вуокса 30000-3 с выпускаемые компанией «Невские весы», г. Санкт-Петербург, так как степень защиты данных авто весов выше, и они имеют наибольший предел взвешивания 30 т при точности измерения – 10 кг.

7.5 Выбор технических средств измерения состава дымовых газов

По исполнению газоанализаторы делятся на стационарные, переносные и портативные. При выборе газоанализатора для системы контроля дымовых

газов необходимо также учитывать количество каналов измерения и измеряемых компонентов. Кроме того, важно уделить внимание диапазонам измерений для каждого компонента газовой смеси. Поскольку дымовые газы являются многокомпонентной смесью, необходимо выбирать многоканальный газоанализатор.

Рассмотрим газоанализатор Testo 340, стандартно оснащенный сенсором кислорода. Также в любое время можно выполнить дооснащение анализатора тремя дополнительными сенсорами, выбрав конфигурацию прибора в зависимости от решаемых измерительных задач. Благодаря компактному дизайну прибора в сочетании с надежным инженерным решением testo 340 является идеальным анализатором для выполнения пуско-наладки, сервисного и технического обслуживания, а также проведения измерений в целях мониторинга [31].

Газоанализатор ТЕСТ-1 предназначен для:

- измерения объемной доли кислорода, оксида серы, оксида азота;
- определения расчетным методом концентрации диоксида углерода и суммы оксидов азота;
- измерения температуры в точке отбора пробы, а также индикации температуры окружающей среды;
- определения расчетным методом коэффициента избытка воздуха.

Область применения - оптимизация и контроль режимов горения в котельных установках, работающих на различных видах топлива.

Газоанализаторы предназначены для использования вне взрывоопасных зон помещений и наружных установок. Газоанализатор ТЕСТ-1 является прибором непрерывного действия. Диапазон измерения: 0...800 °С. Принцип действия газоанализаторов по измерительным каналам объемной доли кислорода, оксида углерода, оксида азота и оксида серы - электрохимический. Для измерения температуры анализируемой среды

используется термоэлектрический преобразователь типа ХА, установленный в пробоотборном зонде [32]. Способ забора пробы - принудительный, от встроенного побудителя расхода.

Характеристики газоанализаторов Testo 340, ТЕСТ-1 представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические данные газоанализаторов Testo 340 и Тест 1

Testo 340			
Компонент газовой смеси	Диапазон измерений	Погрешность	Быстродействие
O ₂ **	0–25 об. %	±0,2 об. %	< 20 с
CO	0–10000 ppm *	±10 ppm или ±10 % от изм. знач. (0–200 ppm) ±20 ppm или ±5 % от изм. знач. (201–2000 ppm) ±10 % от изм. знач. (2001–10000 ppm)	< 40 с
NO _x	0–4000 ppm	±5 ppm (0–99 ppm) ±5 % от изм. знач. (100–1999 ppm) ±10 % от изм. знач. (2000–4000 ppm)	< 30 с
SO ₂	0–5000 ppm	±10 ppm (0–99 ppm) ±10 % от изм. знач. (в ост. диапазоне)	< 40 с
CO ₂	0–CO _{2max}	±0,2 Об. %	< 40 с
Тест 1			
O ₂	0–25 %	±0,2 об. % (абсолютной)	≤ 15 с
H ₂ (полиграфический сенсор)	0–5 %	±0,2 об. % (абсолютной)	≤ 35 с
CO ₂ (оптический сенсор)	0–30 %	±2 % (осн. приведенная)	≤ 25 с
CH ₄ (оптический сенсор)	0–30 %	±5 % (относительной)	≤ 25 с
CO	0–40000 ppm	±5 % (относительной)	≤ 35 с
CO	0–4000 ppm	±5 % (относительной)	≤ 35 с
NO	0–1000 ppm	±5 % (относительной)	≤ 35 с
NO ₂	0–500 ppm	±7 % (относительной)	≤ 45 с
SO ₂	0–1000 ppm	±5 % (относительной)	≤ 45 с
H ₂ S	0–500 ppm	±5 % (относительной)	≤ 45 с

* ppm – единица измерения концентрации (1 ppm = 0,0001 %)

** все сенсоры без пояснений электрохимические

В рамках данной работы был выбран газоанализатор Тест-1 выпускаемый компанией «Бонер–ВТ», г. Новосибирск. Так как он имеет наименьшую погрешность и широкий диапазон измерения.

7.6 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм – это устройство, преобразующее выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. Обычно исполнительные механизмы состоят из трех основных частей: привод, прибор для управления приводом и регулирующий орган.

За счет подвода энергии извне исполнительный механизм развивает усилие и мощность, достаточные для перемещения регулирующего органа в положение, соответствующее командному сигналу. Например, исполнительный механизм может использоваться, чтобы изменить степень открытия клапана для увеличения или уменьшения загрузки, или изменить положение заслонки или жалюзи.

Существует несколько типов ИМ: МЭО – однооборотный, МЭОФ – однооборотный фланцевый, МЭП – прямоходный постоянной скорости, МЭПК – прямоходный кривошипный постоянной скорости. Выбор ИМ определяется типом трубопроводной арматуры, и значением крутящего момента. [22]

В данной работе предполагается использование запорно-регулирующего крана, который позволяет управлять интенсивностью потока компонентов на смешивание либо надежно перекрывать его. Значит, тип ИМ – МЭО.

Максимальный крутящий момент МЭО вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 140 - 338 = 626,6 \text{ Н} \cdot \text{м} ,$$

где D_y - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе ИМ типа МЭО должно выполняться условие $M_H > M_{max}$, поэтому по каталогу завода-изготовителя «АБС ЗЭиМ Автоматизация» выбираем механизм электроисполнительный однооборотный фланцевый с номинальным значением момента на выходном валу 630 Н·м, номинальное значение времени полного хода 25 с, в составе с индуктивным блоком сигнализации положения выходного вала. Тип МЭОФ–630/25–0,25Н-97.

7.7 Выбор программируемого логического контроллера

Микропроцессорный контролер выступает в качестве регулирующего устройства. В рамках данной работы рассмотрим продукцию фирм «ОВЕН», «ВЭСТ» и «ЭлеСи». Технические характеристики контроллеров приведены в таблице 18 [33, 34, 35].

Таблица 18 – Технические характеристики рассматриваемых ПЛК

Тип контроллера	ПЛК63	ВЭСТ-02	Элсима-М01
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц; 24 В	~220 В, 50 Гц	24 В
Потребляемая мощность, для переменного тока, ВА	18	3	–
Параметры встроенного вторичного источника питания, выходное напряжение, В	24±3	–	24±3
Количество дискретных входов	8	8	20
Количество аналоговых входов	8	5	4

При проектировании АСУ ТП процесса горения в топке водогрейного котла был выбран программируемый логический контроллер Элсима-М01, выпускаемый АО «ЭлеСи», г. Томск. Выбор обусловлен доступностью данного ПЛК, а также большими возможностями по расширению системы за счет дополнительных модулей.

Реализация системы процесса горения в топке водогрейного котла подразумевает наличие у контроллера 14 аналоговых входов, поэтому необходимо установить два модуля удаленного аналогового ввода-вывода Элсима-А01. Каждый модуль добавляет 8 аналоговых входов, тем самым обеспечивается наличие необходимого количества аналоговых входов.

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.004. СО. Перечень входных и выходных сигналов представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень входных/выходных сигналов

№	Наименование параметра (единица измерения)	Поз.	Тип датчика, прибора	AI	AO	DI	DO
1	Температура дымовых газов до теплообменного аппарата		ДТПН285М - 0918.120.1,0 .И18	+			
2	Расход первого компонента		ЭМИС– МАГ 270	+			
5	Расход второго компонента		ЭМИС– МАГ 270	+			
6	Масса третьего компонента		ВСА-С- Вуокса	+			
7	Расход суспензии на выходе из подсистемы смешения		ЭМИС– МАГ 270	+			
8	Расход воздуха		Метран 305ПР	+			
9	Состав дымовых газов		ТЕСТ – 1	+			
10	Положение задвижки			+			
11	Задвижка открыта					+	
12	Задвижка закрыта					+	
13	Задвижка открывается					+	
14	Задвижка закрывается					+	
15	Управление. Задать положение задвижки						+
16	Регулирование. Задать положение клапана				+		

8 Проектирование схемы внешних проводок

На схемах внешних электрических и трубных проводок изображают прокладываемые вне щитов электрические провода, кабели, импульсные, командные, питающие, защитные трубы, короба, лотки и металлорукава с указанием их номера, типа (марок) и длин. На чертежах этих схем в виде условных обозначений изображаются:

- отборные устройства и первичные преобразователи, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы;
- приборы и средства автоматизации, устанавливаемые вне щитов и пультов;
- щиты, пульты и т.п.;
- вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термопар и т.п.);
- устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников [36].

Схема соединений внешних проводок проектируемой АСУ ТП процесса горения в топке водогрейного котла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С4.

В верхней части схемы расположена таблица с обозначениями измеряемых параметров, измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения измерительных приборов. Ниже расположены условно изображенные датчики температуры в топке котла, расхода первого, второго, третьего компонентов и состава продуктов сгорания, от которых отходят кабели, обозначенные на чертеже линиями. Прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также протяженность. От каждого датчика температуры или расхода каждый измеряемый параметр передается в виде унифицированного аналогового сигнала 4...20 мА по двухпроводной схеме. Линии, проведенные от датчиков, соединены с прямоугольником, обозначающим шкаф автоматизации, через клеммную соединительную

коробку КСК-16. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков.

В правой части чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для регулирования технологического параметра, путем подачи на них дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами. В цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т.п. (в том числе в цепях телемеханических устройств) допускается применять провода и кабели с медными жилами.

Помимо требований к материалу проводников (медь и алюминий) и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей особое внимание должно уделяться соответствию их технических данных условиям окружающей среды. Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покровы проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки. При выборе проводов и кабелей необходимо учитывать резерв жил [37].

Исходя из этого, в качестве кабелей, идущих от датчиков, выбраны кабели КРВГ 2х1. Данные кабели предназначены для прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях, обладают изоляцией из резины и оболочкой из ПВХ, а также не имеют защитного покрова. Токопроводящая жила – медная. Сечение данного кабеля – 1, количество жил – 2. От КСК на 16 клемм до шкафа автоматизации идет кабель КРВГ 10х1 – контрольные кабели, изоляцией из резины, оболочкой из ПВХ. Сечение данного кабеля – 1, количество жил – 10.

9 Проектирование принципиальной электрической схемы

Схема соединений определяет конструктивное выполнение электрических соединений элементов в изделии. На схеме изображаются все устройства и элементы, входящие в схему, а также соединения между ними. Устройства изображаются в виде прямоугольников, элементы – в виде условных графических изображений, установленных в ЕСКД. Около условных графических обозначений устройств и элементов указывают позиционные обозначения. На схеме необходимо указывать обозначения выводов (контактов) элементов, нанесенные на изделие или установленные в документации изделия. Проводам, жгутам, кабелям на схеме присваиваются порядковые номера.

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие, которое обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Эти схемы служат также для монтажа щитов управления и необходимы при производстве пуско-наладочных работ и в эксплуатации.

Для разработки схемы соединений необходимо выполнить ряд действий:

- 1) нанести на схему технические средства автоматизации с соответствующими стандартами;
- 2) произвести соединение проводок с клеммами устройств по требованиям завода изготовителя оборудования;
- 3) произвести нумерацию проводников.

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

Принципиальная электрическая схема измерительных каналов АСУ ТП процесса горения в топке водогрейного котла представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.004 Э4.

На первом листе изображена схема обеспечения питанием элементов внутри шкафа. Шкаф автоматизации питается от двухфазной цепи переменного тока с напряжением 220 В. Для защиты электрической цепи от перегрузки и токов короткого замыкания в шкаф устанавливаются автоматические выключатели QF1, QF2. Источник бесперебойного питания G1 – EF A UPS 1AC/24 DC-8 обеспечивает непрерывное питание подключенного оборудования. Модули контроллера и вторичные измерительные разделительные преобразователи UY1...UY8, расположенные в шкафу, питаются через блоки бесперебойного питания 24В.

На втором листе изображен ввод аналоговых сигналов на модуль аналогового ввода А2.2 и подключения газоанализатора посредством RS-485 к процессорному модулю А3.2. Для обеспечения гальванического разделения непрерывных сигналов предполагается применение преобразователей измерительных разделительных – ЕТ 422 (производства АО "ЭлеСи", Российская Федерация). Каждый унифицированный сигнал 4...20 мА заведен на отдельный токовый ввод преобразователя измерительного разделительного (по два сигнала на одно устройство, т.к. ЕТ 422 – двухканальный). От выходов измерительных преобразователей сигнал направляется на модуль аналогового ввода контроллера.

На третьем листе изображена схема управления исполнительным механизмом и регулирующего органа. Также от данных устройств приходят сигналы состояния. Данные сигналы работают по принципу подачи напряжения или обрыва цепи.

10 Составление перечня элементов щита управления

Основные характеристики аппаратов схемы записывают в перечень, оформленный в виде таблицы и заполненный сверху вниз, где указаны номера позиций по заказной спецификации, обозначения по принципиальной электрической схеме, наименование, тип, количество аппаратов, техническая характеристика и примечания [38].

На отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.004 ПЭ представлен перечень элементов принципиальной схемы измерительных каналов АСУ. Заполнение таблицы выполнено в соответствии с принципиальной электрической схемой измерительных каналов АСУ. В перечень элементов вписаны вся аппаратура и приборы данной схемы, а именно: программируемый логический контроллер, источник бесперебойного питания, преобразователи измерительные разделительные, автоматические выключатели, розетка однофазная, блоки зажимов.

11 Разработка сборочного чертежа щита управления

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Учитывая конструктивные особенности, а также степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы управления климатом, выберем щит Rittal CM 2144.500 [39]. Щиты Rittal предназначены для размещения аппаратуры управления, сигнализации и автоматики. Конструкция щитов представляет собой металлический сборный корпус напольного исполнения. Подвод кабелей осуществляется снизу. Степень защиты щита: IP55.

Сборочный чертеж шкафа представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.004 СБ.

Блок контроллера А1 и модули аналогового ввода-вывода А2, А3 монтируются на основной крепежной панели в верхней части шкафа автоматизации. В средней части расположены источник бесперебойного питания G1, коммутатор А4, преобразователи измерительные разделительные и реле. Ниже расположены клеммные блоки ХТ1, ХТ-АИ1, ХТ-АИ2, ХТ-ДО1.

На боковой панели расположены автоматические выключатели QF1, QF2 и розетка XS1 на 220 В для удобства обслуживания оборудования.

Также в шкафу предусмотрены концевой выключатель SQ1, лампа накаливания EL1 и вентилятор M1.

Все блоки, входящие в состав системы предназначены для монтажа на стандартную рейку DIN-35.

Перечень составных частей шкафа автоматизации приведен на листах с шифром ФЮРА.421000.004 СО1.

12 Расчет параметров настройки регулятора

12.1 Идентификация объекта управления

Идентификация предназначена для получения математических моделей объекта управления. Существует активная и пассивная, в инженерной практике применяют активную идентификацию (на объект подается специализированное входное воздействие и по реакции объекта при обработке результатов получают математическую модель). В таблице 20 приведены исходные данные.

Таблица 20 – Исходные данные

τ	K	n	T	ψ	I
5	15	1	200	0,8	I_1
$T_i = \frac{T}{i} \text{ (с); } i = 1, 2, \dots, n$					
Обозначения: K – коэффициент передачи объекта; τ – запаздывание объекта; T_i – i -я постоянная времени объекта; n – порядок объекта; ψ – требуемая степень затухания переходных процессов в системе; I – заданный интегральный критерий качества работы системы. $I_1 = \int_0^{\infty} e(t) \cdot dt$					

Исходя из данных таблицы 10, можно определить значение заданной степени колебательности m системы по формуле:

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

где ψ – степень затухания переходных процессов в заданной системе регулирования.

Передаточная функция объекта регулирования согласно исходным данным определяется по формуле:

$$W_{o\delta}(P) = \frac{K \cdot e^{-P \cdot \tau}}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot P + 1)}, \quad (2)$$

где P – оператор Лапласа.

При $n = 1$ выражение для $W_{o\delta}(P)$ примет вид:

$$W_{o\delta}(P) = \frac{K \cdot e^{-P \cdot \tau}}{(T_1 \cdot P + 1) \cdot (T_2 \cdot P + 1)}. \quad (3)$$

По данным таблицы 3 определяем значения неизвестных параметров: $T_i = T / i$, $T_1 = 200$ с, $T_2 = 100$ с.

$$W_{o\delta}(P) = \frac{15 \cdot e^{-5 \cdot P}}{(200P + 1) \cdot (100P + 1)}.$$

Выполним замену: $p \rightarrow -m \cdot \omega + i \cdot \omega$, в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования:

$$W_{o\delta}(m, i\omega) = \frac{15 \cdot e^{-5 \cdot (-m \cdot \omega + i \cdot \omega)}}{[200 \cdot (-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1] \cdot [100 \cdot (-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1]} \quad (4)$$

Используя программу MathCad, предварительно задав начальное значение частоты $\omega = 0$ с⁻¹ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0.005$ с⁻¹, рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 0,1$ с⁻¹.

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$\text{Re}_{o\delta}(m, \omega) = \text{Re}(W_{o\delta}(m, i\omega)); \quad (5)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$\text{Im}_{o\delta}(m, \omega) = \text{Im}(W_{o\delta}(m, i\omega)); \quad (6)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ)

$$A_{o\delta}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{o\delta}^2(m, \omega) + \text{Im}_{o\delta}^2(m, \omega)}; \quad (7)$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctan \left(\frac{\text{Im}_{об}(m, \omega)}{\text{Re}_{об}(m, \omega)} \right). \quad (8)$$

Результаты расчётов сведём в таблицу 21.

Таблица 21 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}^2(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega)$
0	15	0	15	0
0,005	1.13126	-11.996	12.049	-1.477
0,01	-4.00048	-4.365	5.921	0.829
0,015	-2.89634	-1.197	3.134	0.392
0,02	-1.85218	-0.248	1.869	0.133
0,025	-1.22357	0.046	1.224	-0.038
0,03	-0.84871	0.139	0.86	-0.162
0,035	-0.61492	0.162	0.636	-0.258
0,04	-0.46179	0.161	0.489	-0.336
0,045	-0.35702	0.152	0.388	-0.403
0,05	-0.28262	0.14	0.316	-0.461
0,055	-0.2281	0.128	0.262	-0.513
0,06	-0.18707	0.117	0.221	-0.56
0,065	-0.15549	0.107	0.189	-0.604
0,07	-0.1307	0.098	0.164	-0.645
0,075	-0.11092	0.09	0.143	-0.684
0,08	-0.0949	0.083	0.126	-0.721
0,085	-0.08175	0.077	0.112	-0.757
0,09	-0.07084	0.072	0.101	-0.792
0,095	-0.06169	0.067	0.091	-0.825
0,1	-0.05395	0.062	0.082	-0.858

12.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют следующий вид:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}; \quad (9)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (10)$$

где K_p – коэффициент передачи, T_u – постоянная интегрирования.

Зададим диапазон изменения частоты $\omega = 0 \div 0,8 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$, определим настройки регулятора K_p/T_u и K_p в заданном диапазоне частот. Результаты расчётов сведём в таблицу 22.

Таблица 22 – Результаты расчёта настройки ПИ- регулятора в заданном диапазоне частот

$\omega, \text{ с}^{-1}$	K_p/T_u	K_p
0	0	-0.067
$5 \cdot 10^{-3}$	0.00044	0.013
0.01	0.00133	0.146
0.015	0.00199	0.326
0.02	0.00152	0.549
0.025	-0.00082	0.808
0.03	-0.00599	1.1
0.035	-0.01496	1.418
0.04	-0.02875	1.757
0.045	-0.04842	2.112
0.05	-0.07507	2.478
0.055	-0.10982	2.85
0.06	-0.15382	3.221
0.065	-0.20822	3.587
0.07	-0.27419	3.943
0.075	-0.35288	4.284
0.08	-0.44546	4.604

По данным таблицы 22 построим график зависимости $K_p/T_u = f(K_p)$, (рисунок 4).

Все значения K_p/T_u и K_p , лежащие на этой кривой, обеспечивают заданную степень затухания.

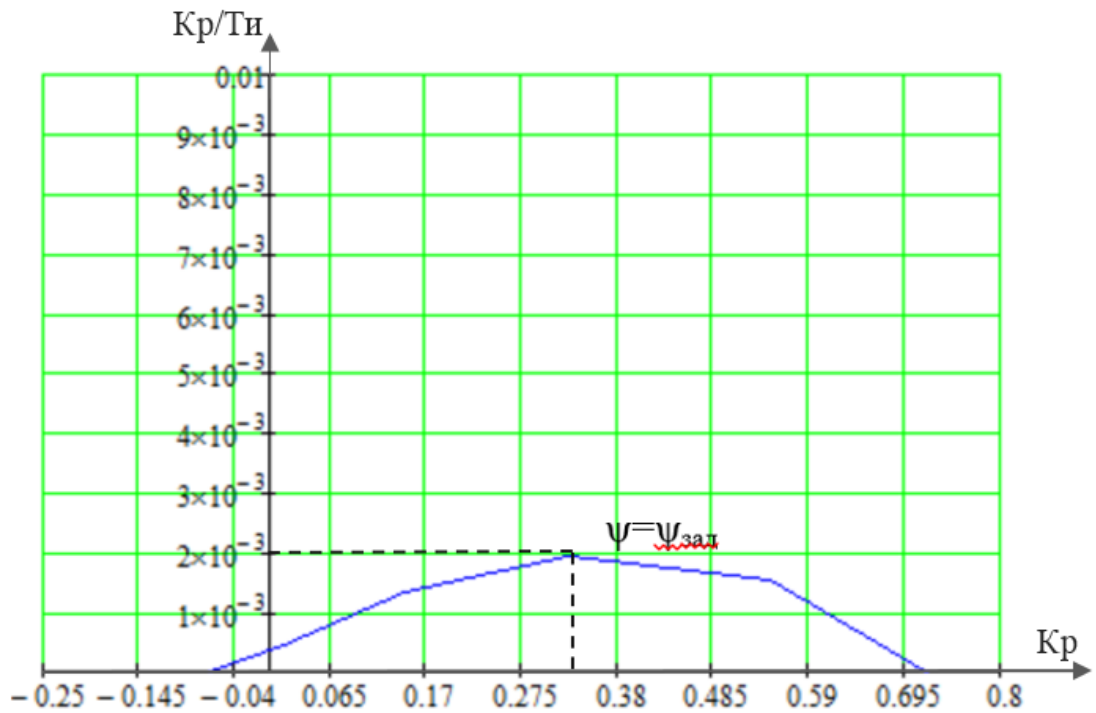


Рисунок 4 – Область параметров настройки ПИ- регулятора

В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка. Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением отношения K_p/T_i на линии заданного запаса устойчивости. Из таблицы 5 определяем:

$$\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,002, K_p = 0,326, \text{ резонансная частота } \omega = 0,015 \text{ c}^{-1}.$$

Определим постоянную интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\left(\frac{K_p}{T_u}\right)} = \frac{0,326}{0,002} = 163 \text{ c}. \quad (11)$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(P) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 0,326 + \frac{0,326}{0,002P}. \quad (12)$$

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

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (13)$$

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

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

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Для расчета переходного процесса определим вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 5 представлен график вещественной частотной характеристики.

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (14)$$

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

ω – частота;

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности расчета в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение вещественной частотной характеристики системы стремится к 0. Из рисунка 5 определяем это значение. Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,16} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

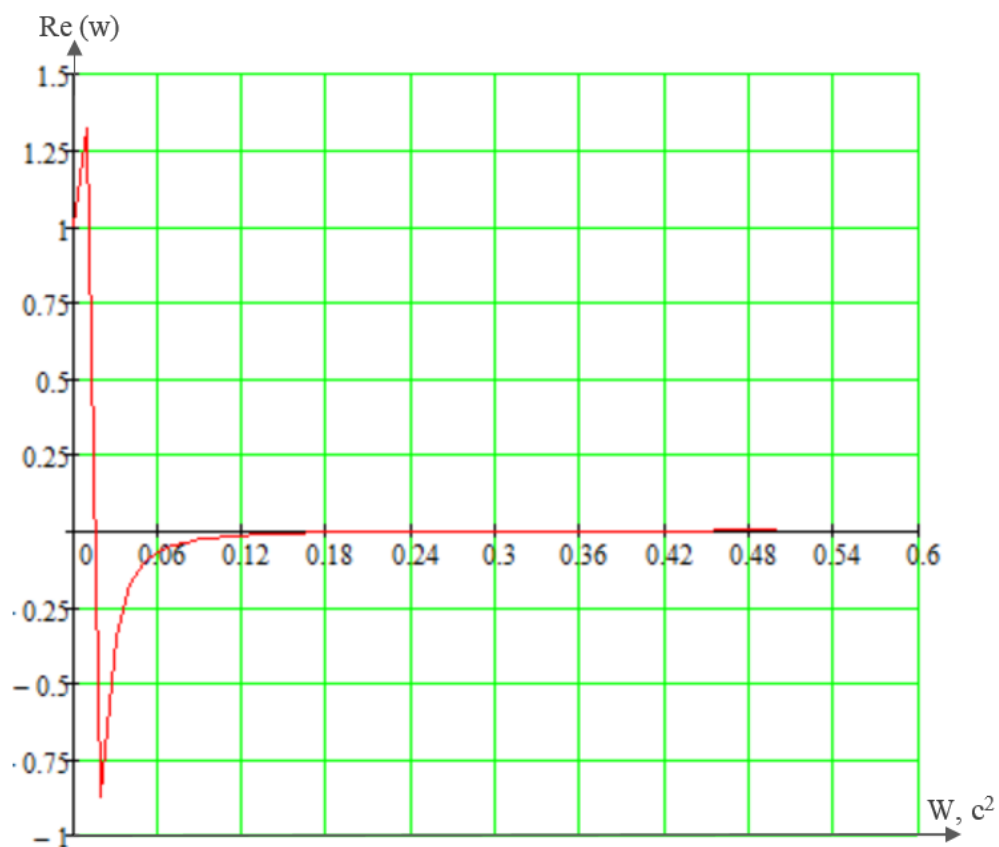


Рисунок 5 – Вещественная частотная характеристика системы

На рисунке 6 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена прямая оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет требованиям, предъявленным к системе.

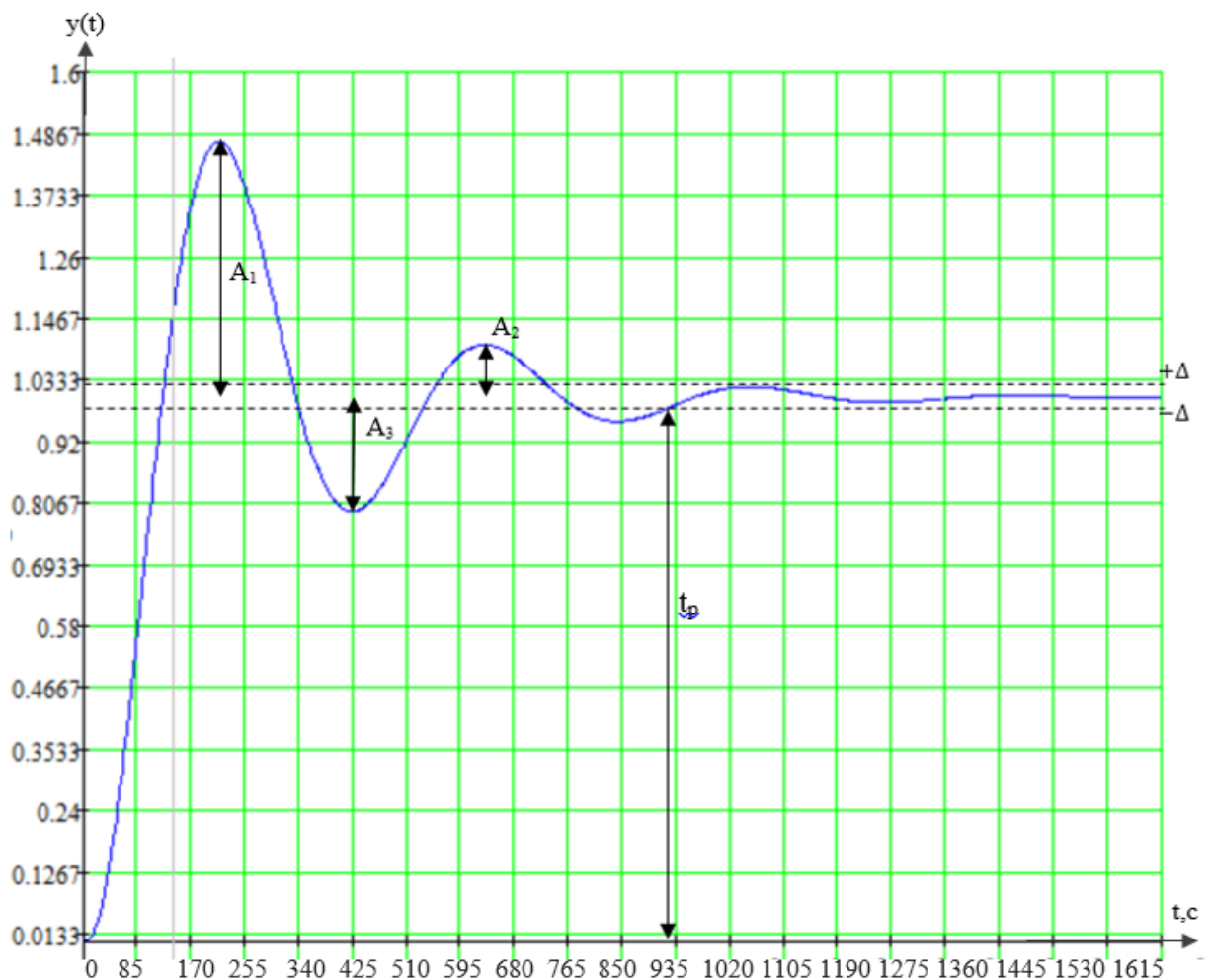


Рисунок 6 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

С использованием графика определяются прямые оценки качества:

1) максимальная динамическая ошибка: $A_1 = 0,453$;

2) перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0,193}{0,453} \cdot 100 = 42,6 \%$;

где $A_3 = 0,193$ – первое минимальное отклонение регулируемой величины;

3) динамический коэффициент регулирования R_D :

$$R_D = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 = \frac{0,453 + 1}{15} \cdot 100 = 9,68 \%,$$

где $K_{об} = 15$ – коэффициент передачи объекта;

4) степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,09}{0,453} = 0,8,$$

где $A_2 = 0,09$ – второй максимальный выброс регулируемой величины;

5) статическая ошибка: $\varepsilon_{CT} = y(\infty) = 0$;

6) время регулирования: $t_p = 935$ с.

13 Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы

Мнемосхема представляет собой графическое изображение функциональной схемы управляемого или контролируемого объекта. Таким образом, схема может описывать технологический процесс с программным управлением. Мнемосхема предназначена для работы оператора с производственным процессом, в процессе управления мнемосхема является источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов.

Требования, предъявляемые к мнемосхеме, устанавливает предприятие, для которого она предназначена. В данной работе схема разрабатывалась в соответствии с общими требованиями:

- мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом;
- отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;
- форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствии с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема АСУ ТП процесса горения в топке водогрейного котла, которая приведена на рисунке 7.

В автоматическом режиме, при нажатии кнопки «Старт», происходит запуск производства, в котором и происходит полный цикл работ (выбор топлива, сжигание, выбор расхода топлива). КИС-система позволяет тщательно следить за изменением экономических и технологических показателей процесса. Запустив систему можно наблюдать одновременный запуск сразу трех систем, входящих в КИС (SCADA, MES, ERP).

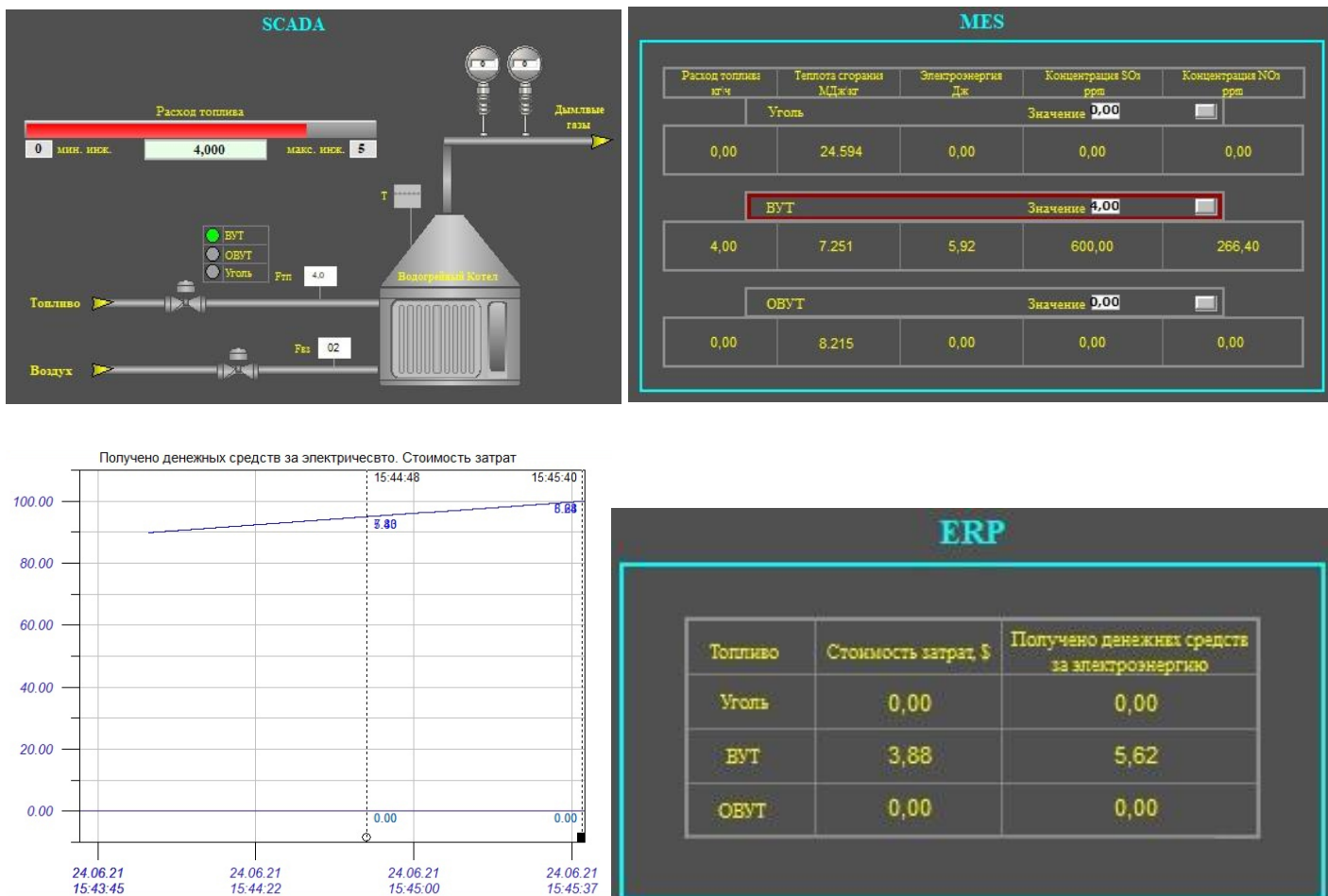


Рисунок 7 – Автоматизированная система управления технологическим процессом

На рисунке 7 изображена автоматизированная система управления технологическим процессом, которая может быть использована на реальном производстве. В MES - системе в поле «Значение» оператор регулирует расход топлива (от 0 до 5). Далее оператор нажимает кнопку выбора топлива, которая при нажатии обводится в красный прямоугольник, и далее данное топливо сжигается в водогрейном котле, где поддерживается постоянная температура 900 °С. На SCADA-системе отображается, какое топливо выбрал оператор для сжигания, и его расход. Концентрация дымовых газов (а именно, оксидов серы и азота) фиксируется сенсорами газоанализатора. Значения от сжигания топлива, фиксируются в MES – системе. При сжигании топлива в водогрейном котле, требуется затраты на закупку топлива (уголь, вода, опилки). Также

предоставляется информация о получении денежных средств за электроэнергию. На графике затрат и получение денежных средств за электроэнергию видно, что стоимость технологического процесса со временем всегда возрастает. За данным процессом следит ERP-система, которая позволяет отслеживать и передавать информацию руководству, для минимизации затрат на производстве.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ03	Райфегерст Екатерине Ильиничне

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» Автоматизация теплоэнергетических процессов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования Норматив заработной платы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициенты для расчета заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды (30,2 %)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Цели и результат проекта Организационная структура проекта Ограничения и допущения проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Расчет бюджетной стоимости НИ Структура работ в рамках научного исследования Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Интегральный финансовый показатель Интегральный показатель ресурсоэффективности Интегральный показатель эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
5. Потенциальные риски
6. Сегментирование рынка

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Райфегерст Екатерина Ильинична		

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и спланировать финансовую и коммерческую ценность автоматизированной системы управления компонентным составом дымовых газов. 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.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценить коммерческий потенциал разработки;
- спланировать научно-исследовательскую работу;
- рассчитать бюджет научно-исследовательской работы;
- определить ресурсную, финансовую и бюджетную эффективность исследования.

Цель НИР – создание автоматизированной системы управления контроля состава дымовых газов при сжигании низкосортного топлива.

14.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести энергетические компании, компании по осуществлению горячего водоснабжения. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка [40].

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция.

Сегментировать рынок услуг по выработке электрической энергии и подаче горячего водоснабжения можно по следующим критериям: выработка электрической энергии, осуществление горячего водоснабжения.

Услуги по выработке электрической энергии:

- ТЭС;
- ТЭЦ.

Услуги по осуществлению горячего водоснабжения:

- ТЭЦ;
- котельные.

Таким образом, были определены потенциальные потребители, заинтересованные во внедрении результатов исследования на существующих или строящихся объектах промышленности. Ими являются ТЭС, ТЭЦ и локальные котельные.

14.2 Анализ конкурентных технических решений

Сравним эффективность разработки с существующими на рынке технологиям для оценки сильных и слабых сторон с помощью оценочной карты (таблица 15). Сравниваем разрабатываемую технологию по сжиганию суспензионных топлив на основе отходов (индекс «ф») с технологией сжигания каменного угля (индекс «к1») и с технологией сжигания мазута (индекс «к2»). В таблице 23 показано сравнение различных технологий и

разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 23 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто - способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	1	3	0,5	0,1	0,3
2. Экологичность	0,2	5	2	3	1	0,4	0,6
3. Количество единиц оборудования	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
4. Безопасность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
5. Удобство эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость оборудования	0,12	4	5	4	0,48	0,6	0,48
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	2	3	0,4	0,16	0,24
Итого	1	38	25	29	4,73	3,16	3,57

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i = (0,1*5) + (0,2*5) + (0,15*4) + (0,15*5) + (0,1*5) + (0,12*4) + (0,1*5) + (0,08*5) = 4,73$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет высокую конкурентоспособность на современном рынке в сравнении с традиционными котельными топливами.

14.3 SWOT-анализ

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

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта, выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Низкая стоимость и простота конструкции	Сл1. Проект не опробован в режиме производства
С2. Экологический аспект проекта	
С3. Надежность	Сл2. Трудоемкий процесс поиска оптимального состава топлива
С4. Простота ремонта и обслуживания	
Возможности	Угрозы
В1. Потребление электроэнергии возрастает, следовательно, увеличивается и количество отходов угольной промышленности	У1. Конкуренция в сфере новых топливных технологий
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки из-за постоянно возрастающих экологических норм	У2. Появление аналога суспензионного топлива с аналогичными или лучшими характеристиками
В3. Утилизация накопившихся отходов	
В4. Улучшение экологической обстановки	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 24–27.

Таблица 24 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 25 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

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

Таблица 26 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

Таблица 27 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	-	+
	У2	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 28.

Таблица 28 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Низкая стоимость и простота конструкции</p> <p>С2. Экологический аспект проекта</p> <p>С3. Надежность</p> <p>С4. Простота ремонта и обслуживания</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Проект не опробован в режиме производства</p> <p>Сл2. Трудоемкий процесс поиска оптимального состава топлива</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Потребление электроэнергии возрастает, следовательно, увеличивается и количество отходов угольной промышленности</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки из-за постоянно возрастающих экологических норм</p> <p>В3. Утилизация накопившихся отходов</p> <p>В4. Улучшение экологической обстановки</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1 В2 В3 В4 С2 – поиск новых решений по улучшению экологической ситуации и утилизации отходов.</p> <p>В1 В3 С1 – дальнейшее развитие топливных суспензий с целью вовлечения все большего числа отходов</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1 В3 Сл2 – дальнейшее развитие с целью поиска наиболее оптимального состава топливной смеси на основе накопленного опыта</p>

Продолжение таблицы 28

Угрозы	Угрозы развития	Уязвимости
<p>У1. Конкуренция в сфере новых топливных технологий</p> <p>У2. Появление аналога суспензионного топлива с аналогичными или лучшими характеристиками</p>	<p>С1 С2 У1 У2 – дальнейшее развитие суспензионных топлив с целью улучшения их энергетических и экологических характеристик для большей привлекательности на рынке</p>	<p>У1 У2 Сл2 – создание наиболее привлекательной и удовлетворяющей потребностям рынка топливной смеси с учетом накопленного опыта</p>

Был проведен SWOT – анализ, который позволил выявить слабые и сильные стороны, возможности и – анализ угрозы. При помощи него можно также выработать стратегии по превращению слабых сторон в сильные, угрозы в возможности, выявить или разработать основное конкурентное преимущество.

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии, заключающиеся в экологичности процесса выработки тепловой энергии и низкой стоимости топлива, явно преобладают над ее недостатками, выраженными в отсутствии реально существующих объектов, реализующих данную технологию в полной мере, а также трудоемкости процесса создания оптимальной топливной смеси. Основными направлениями развития проекта стоит считать расширение компонентного состава топлив и улучшение экологии их горения.

14.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации и выясним уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 29 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	60	56

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (14.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации находится на высоком уровне. Этот уровень можно в дальнейшем повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта и подробной проработке бизнес-плана.

14.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

1. Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

2. Передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.

4. Франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. Организация собственного предприятия.

6. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

7. Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8. Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как инжиниринг. В данном случае предполагается использование разработки в качестве технического решения для снижения стоимости генерации тепловой энергии и улучшения экологической обстановки. Для этого необходимо,

чтобы заказчик обратился с соответствующим запросом на внедрение разработанной системы на своем объекте.

14.6 Инициация проекта

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 30.

Таблица 30 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Энергетические компании	Выработка тепловой энергии с наименьшими затратами
Муниципальные структуры	Улучшение экологической обстановки в регионе

Представим информацию об иерархии целей проекта и критерия достижения целей в таблице 31.

Таблица 31 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Создание суспензионного топлива и системы его сжигания, при которых удастся добиться низкой стоимости тепловой энергии и положительного экологического эффекта
Ожидаемые результаты проекта:	Получение тепловой энергии при сжигании суспензионного топлива на уровне, соответствующем сжиганию традиционного котельного топлива, при меньшем уровне антропогенных выбросов и утилизации отходов
Критерии приемки результата проекта:	Уровень антропогенных выбросов Характеристики горения топливной смеси
Требования к результату проекта:	Низкая стоимость топлива

Продолжение таблицы 31

	Возможность вовлечения накопившихся отходов в топливный цикл
	Низкий уровень антропогенных выбросов

1. Организационная структура проекта.

Определим участников рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Представим эту информацию в таблице 32.

Таблица 32 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Райфегерст Е.И., ТПУ, инженер	Проведение экспериментальных исследований, разработка технических решений	Основной разработчик проекта	816
2	Няшина Г.С., ТПУ, доцент	Консультации по основным вопросам темы	Консультант	256
3	Вершинина К.Ю., доцент	Консультации по основным вопросам темы	Руководител ь проекта	256
ИТОГО:				1328

2. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Представим эту информацию в таблице 33.

Таблица 33 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	244429,93 руб
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	4 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2022
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

14.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 34.

Таблица 34 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель

Продолжение таблицы 34

Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер
--------------------------	----	-----------------------------------	---------














В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 35. Диаграмма Ганта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 35 – Календарный план проекта



Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	4	01.02.2022	04.02.2022	Райфегерст Е.И. Няшина Г.С. Вершинина К.Ю.
2	Календарное планирование выполнения НИР	4	05.02.2022	09.02.2022	Райфегерст Е.И.
3	Выбор методов исследования	6	24.02.2022	02.03.2022	Райфегерст Е.И. Няшина Г.С.
4	Планирование эксперимента	10	03.03.2022	13.03.2022	Райфегерст Е.И. Няшина Г.С.
5	Подготовка образцов для эксперимента	9	15.03.2022	24.03.2022	Райфегерст Е.И.
6	Проведение эксперимента	25	25.03.2022	22.04.2022	Райфегерст Е.И.
7	Обработка полученных данных	10	23.04.2022	04.05.2022	Райфегерст Е.И. Няшина Г.С.
8	Оценка правильности полученных результатов	2	05.05.2022	06.05.2022	Райфегерст Е.И. Няшина Г.С.
9	Составление пояснительной записки	21	07.05.2022	31.05.2022	Райфегерст Е.И.
ИТОГО:		102			

График строится в виде таблицы 36 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 36 – Диаграмма Гантта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4														
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4														
3	Выбор методов исследования	Исп2	6														
4	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7														
5	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9														
6	Проведение эксперимента	Исп2	25														
7	Обработка полученных данных	Исп2	18														
8	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5														
9	Составление пояснительной записки	Исп2	13														

Примечание:

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

14.8 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- смета затрат на оборудование.

Отразим стоимости всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, на доставку.

Таблица 37 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага, формат А4	Пачка	1	295	295
Картридж для принтера	Шт	1	2650	2650
Фильтр тонкой очистки для газоанализатора	Шт	10	600	6000
Итого:				8945

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (14.2)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (14.3)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 10,4; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (14.4)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

Таблица 38 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = 33300 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 56277 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{56277 \cdot 10,4}{251} = 2331,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2331,8 \cdot 8 = 18654,4 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для инженера:

$$Z_{\text{м}} = 14874,45 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 25137,82 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{25137,82 \cdot 10,4}{251} = 1041,57 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1041,57 \cdot 101 = 105198,57 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведем в таблице 39.

Таблица 39 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33300	0,3	1,3	56277	2331,8	32	74624
Инженер	14874,45	0,3	1,3	25137,82	1041,57	102	106240
Итого:							180864

Отразим обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \quad (14.5)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30.2 %.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведем в таблице 40.

Таблица 40 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	74624
Инженер	106240
Коэффициент отчислений	0,302
Итого:	54620,93

Смета затрат на оборудование составляется как на приобретение технологического оборудования, так и на строительные-монтажные работы. В таблице 41 представлена смета затрат на оборудование.

Таблица 41 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Термоэлектрический преобразователь ДТПН285М-0918.120.1,0.И18	1	13 512	13 512
Электромагнитный расходомер типа ЭМИС-МАГ 270	3	23 137	69 411
Весы автомобильные «Невские весы» серии ВСА-С Вуокса 30000-3 с	1	281 600	281 600
Газоанализатор ТЕСТ - 1	1	85 000	85 000
Механизм электроисполнительный однооборотный МЭОФ–630/25–0,25Н-97.	7	48 300	338 100
Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3	7	4 200	29 400
ПЛК Элсима-М01	1	20 000	20 000
Модули удаленного ввода-вывода Элсима-А01	2	12 000	24 000
Котел водогрейный с вихревой топкой КВ 5,0-115 ШпВТ	1	1 000 000	1 000 000
Итого			1 861 023

Наибольшие затраты при проектировании АСУ ТП системы контроля антропогенных выбросов приходятся на приобретение самого объекта автоматизации.

Стоимость оборудования составила $Z_{об} = 1861\ 023$ рублей.

Капитальные вложения в монтаж рассчитываются как 20% от вложений в оборудование:

$$Z_{монт} = 0,2 \cdot Z_{об}; \quad (14.6)$$

$$Z_{монт} = 0,2 \cdot 1861023 = 372204,6 \text{ рублей.}$$

Затраты на покупку оборудования и его монтаж составят:

$$Z_{м.об.} = Z_{об} + Z_{монт};$$

(14.7)

$$Z_{м.об.} = 1861023 + 372204,6 = 2233227,6 \text{ рублей.}$$

Таким образом, суммарные затраты на покупку и монтаж оборудования составили 2 223 227,6 рублей.

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. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 41.

Таблица 41 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	8 945
2. Основная заработная плата	180 864
3. Отчисления во внебюджетные фонды	54 620,93
4. Затраты на оборудование	2 223 227,6
Бюджет затрат:	2 477 657,5

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) и затраты на оборудование. Бюджет затрат составил 2 477 657,5 рублей.

14.9 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин:

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (14.8)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (14.9)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 42.

Текущий проект – автоматизированная система контроля состава дымовых газов при сжигании низкосортного топлива в топке водогрейного котла. Суспензионные низкосортные топлива имеют преимущества перед сжиганием традиционного топлива – аналога. Данная система контроля имеет хороший потенциал, она конкурентоспособна, перспективна, а главное полезна окружающей среде, т.к. низкосортное топливо экологически безопасно, в сравнении с углем.

Таблица 42 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4
3. Эффективность выделения	0,3	5	3
4. Энергосбережение	0,2	4	3
5. Надежность	0,15	5	4
ИТОГО	1	4,8	3,35

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,8;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 3,35.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{\text{исп.}i}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} \quad (14.10)$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} \quad (14.11)$$

Таблица 43 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1,00
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,80	3,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,89	3,35
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,48

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с уже существующими аналогами по сжиганию традиционных топлив.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Потенциальными потребителями результатов исследования являются ТЭЦ, ТЭС и котельные. Сегментирование рынка осуществляется по двум

критериям: выработка тепловой энергии, осуществление горячего водоснабжения.

В результате проведения анализа конкурентных технических решений сделан вывод о том, что сжигание суспензионного топлива на основе отходов является более предпочтительным вариантом, чем сжигание традиционных топлив.

Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. По итогам выполнения SWOT-анализа выбраны наиболее эффективные стратегии.

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала высокий уровень, который можно дополнительно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта.

В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

При планировании бюджета рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды и затраты на оборудование. Бюджет затрат составил 2477657,5 рублей.

Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект сжигания низкосортного топлива в топке водогрейного котла, является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с существующим аналогом – сжигания традиционного топлива (угля).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ03	Райфегерст Екатерине Ильиничне

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н.Бутова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» Автоматизация теплоэнергетических процессов

Тема ВКР:

Автоматизированная система управления компонентным составом дымовых газов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является процесс создания системы контроля антропогенных выбросов ТЭС при сжигании органомоделюгольных топлив
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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. 	<ul style="list-style-type: none"> – Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»; – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения; – ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ; Конституция РФ.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: отклонение параметров микроклимата; превышение уровня шума; превышение уровня вибрации; недостаточная освещённость рабочей зоны; повышенный уровень электромагнитного излучения. Опасные факторы: повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: антропогенные выбросы при горении топлива. Гидросфера: загрязнение природных источников воды при ее использовании в контуре ТЭС.

	Литосфера: выбросы твердых продуктов сгорания.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: - пандемия; - обрушение здания; - прорыв топливной магистрали; - возникновение пожара. Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2022
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ТПУ	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Райфегерст Екатерина Ильинична		

15 Социальная ответственность

Автоматизация технологических процессов и производств позволяет осуществлять работу производства топлива без непосредственного участия обслуживающего персонала. Задачи оператора АСУ включают: контролирование параметров процесса сжигания топлива, управление и принятие решений в случае возникновения аварийных ситуаций. Большая часть работы оператора АСУ производится с использованием компьютера в закрытом помещении, поэтому важными факторами при работе оператора являются микроклимат помещения, освещение, шум, электромагнитное излучение, рабочая поза. Также необходимо рассмотреть факторы, влияющие на электробезопасность и пожарную безопасность, и рассмотреть вопросы ее организации на производстве топлива.

Рабочая зона представляется собой операторскую комнату, в которой оператор работает за персональным компьютером. В комнате оператора также находится шкаф щита управления. Область применения технологии – тепловые электрические станции малой мощности, котельные.

15.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020) обеспечивает гарантию надлежащих условий труда, соблюдения прав нанимателя и работка и регулирует вопросы, касающиеся трудовых отношений в целом [41]. Конституция Российской Федерации обеспечивает право на труд, безопасность, оплату труда не ниже минимальной, возмещение ущерба в случае производственных травм или профессиональных заболеваний, защиту экологии и т. д. [42].

Рабочие должны проходить регулярные медицинские осмотры, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты [41].

Также согласно ТК РФ должна соблюдаться защита персональных данных сотрудника, продолжительность рабочего времени не должна

превышать 40 часов в неделю, не менее 30 минут каждый рабочий день должно выделяться для отдыха и приема пищи [41].

Конструкция щита автоматизации отвечает требованиям эргономики по ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [43], в том числе в плане обеспечения соответствующих размеров оборудования и его составных частей, расположения датчиков, рабочих органов, трудозатрат работника за рабочий день. Поворотные переключатели должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 22613-77 [44], а кнопочные – с ГОСТ 22614-77 [45].

Раз в три месяца оператор АСУ должен проходить инструктаж по технике безопасности, а также соблюдать правила пожарной безопасности. Оператор не должен оставлять АСУ без присмотра и надзора. Предприятие должно обеспечить оператора индивидуальными средствами защиты, такие как спецодежда, спец-обувь и так далее. Остановка работы системы производится в случаях аварии или после получения распоряжения от администрации предприятия. В конце рабочего дня оператор обязан сдать дежурство, сделав отметку в журнале.

15.2. Производственная безопасность

При выборе факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [46]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 44.

Таблица 44 – Опасные и вредные фактора при работе оператора АСУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень шума	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности [68].

Продолжение таблицы 44

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Изготовление	Эксплуатация	
2. Повышенный уровень вибрации		+	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [47]. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [50]
3. Электрический ток и электромагнитное воздействие	+	+	ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [51]. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [52].
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [49].

Вредные и опасные факторы присутствуют в основном на этапе эксплуатации. Необходимо принять меры по предотвращению либо минимизации воздействия вредных и опасных факторов на организм человека и предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций.

15.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

15.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат помещения - состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

Степень физической тяжести работы оператора АСУ определяется как лёгкая категория работ. Главные нагрузки на организм оператора – нервно-

психологические, а также зрительные. Так как основным видом работы оператора АСУ является работа с прикладным программным обеспечением и технической документацией, то потенциальными источниками опасных и вредных факторов являются персональные компьютеры и мониторы.

Поэтому в помещении должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата, которые установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Оптимальными параметрами для данного типа работ является температура воздуха в холодное время года 23–25 °С (в теплое время года – 20–22 °С), относительная влажность 40-60 % и скорость движения потоков воздуха не более 0,1 м/с.

15.2.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Один из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих пространств. На объектах энергетики применяется естественное и искусственное освещение. Недостаточная или неправильная освещённость территории, установок, подходов к аппаратам и лестничных пролётов может привести к утомлению и несчастным случаям. Естественное освещение создается в производственных помещениях через оконные и другие остеклённые проёмы. Искусственное освещение создается светильниками и может быть: общее, предназначенное для освещения всего рабочего помещения, либо местное, которое освещает только рабочее место.

Нормирование естественного освещения промышленных зданий сводится к нормированию коэффициента естественного освещения. По СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [41].

Для работ, выполняемых в лабораториях и относящимся к точным работам, при боковом освещении коэффициент естественной освещенности должен быть не менее 1,5 %.

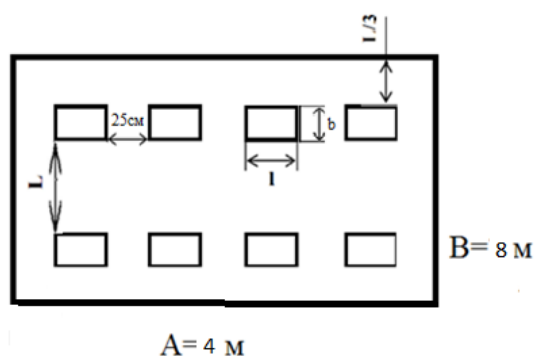
Искусственное освещение нормируется в единицах освещенности – люксах (лк).

Выбор освещенности производится в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Расчёт искусственного освещения

Имеется помещение с размерами - длина $A = 4$ м, ширина $B = 8$ м, высота $H = 3$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,7$ м. Требуется создать освещенность $E = 300$ лк. Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_n = 50 \%$.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.



Выбираем светильники типа ОД, по табл. 6 [48] $\lambda = 1,4$ м.

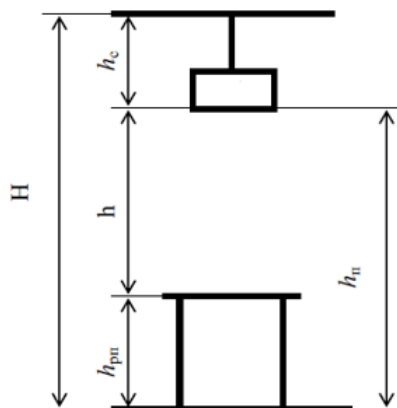
Приняв $h_c = 0,5$ м, получаем

$$h = H - h_{рп} - h_c = 3 - 0,7 - 0,5 = 1,8 \text{ м,}$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,8 = 2,52 \text{ м,}$$

$$\frac{L}{3} = \frac{2,52}{3} = 0,84 \text{ м.}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной $l = 1,230$ м; шириной $b = 0,265$ м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 25 см.



Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$.

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{8 \cdot 4}{1,8 \cdot (4+8)} = 1,48 \approx 1,5.$$

По таблице 12 [48] определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 52 \% \quad \text{или} \quad \eta = 0,52.$$

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta},$$

где K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равен 1,5; Z – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчетах берется равным 1,1.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,52} = 651,3 \text{ Лм.}$$

По таблице 1 [48] выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 15 Вт с потоком 700 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \% \leq \frac{\Phi_{\text{станд.}} - \Phi_{\text{расч.}}}{\Phi_{\text{станд.}}} \cdot 100 \% \leq +20 \%,$$

$$-10 \% \leq \frac{700 - 651,3}{700} \cdot 100 \% = 6,95 \% \leq +20 \% \text{ - входит в диапазон.}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 40 \cdot 16 = 640 \text{ Вт.}$$

15.2.1.3 Превышение уровня шума

Шум непосредственно связан с вибрацией. Помимо этого, шум создают топливные насосы, дутьевые вентиляторы и другие производственные машины. Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10 – 15 %, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям. Последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других симптомах.

В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких условий, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [49]. По данному документу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБ.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума аппаратов, входящих в состав исследуемой технологии используются [50]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные шлемы и каски.

15.2.1.4 Повышенное воздействие электромагнитного излучения и электрического тока

Источниками электромагнитного излучения на производстве могут являться персональный компьютер, монитор, щит автоматизации, силовой щит и множество других сложных технологических устройств.

Во избежание негативного воздействия от электромагнитного излучения нужно следовать основным нормам, представленным в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [51].

В операторской комнате находится шкаф щита управления, который представляет собой шкаф с приборами, проводами и кабелями повышенной напряженности электрического поля. Требования электробезопасности объекта автоматизации направлены на создание условий эксплуатации оборудования, при которых исключаются образование электрической цепи через тело человека.

Основной фактор безопасности – это заземление оборудования с помощью присоединения его к контуру заземления. Устройство заземления представляет собой один из средств защиты персонала в помещении от

возникновения искры, от напряжения, возникающего на металлических частях оборудования, не находящихся под напряжением, но могущих оказаться под ним в результате повреждения изоляции.

Сооружения установок заземляются от прямых ударов, вторичных проявлений молнии и статического электричества с помощью заземляющих устройств. Все части электроустановки, подлежащие заземлению, присоединяются к сети заземления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий проводник заземляющих частей и электроустановок [52].

15.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

При работе возможно поражение электрическим током, для его предотвращения соблюдаются требования: изоляция проводов, использование знаков безопасности и предупреждающих сигналов, использование персоналом диэлектрических перчаток, инструментов с изолированными рукоятками для работы с электрооборудованием, использование изоляционных дополнительных средств защиты.

Влияние шума можно уменьшить путем гашения в источнике, проведения акустической обработки, шумоизоляции, использования средств индивидуальной защиты (наушники).

Для уменьшения влажности в помещении устанавливается вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно.

15.3. Экологическая безопасность.

Внедрение экологических технологий помогает сберечь энергетические и прочие ресурсы, что в свою очередь влияет на рентабельность производства, продуктивность работы.

15.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Энергетический сектор является одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Одним из основных источников загрязнения атмосферы являются выбросы загрязняющих веществ, которые обусловлены процессами сгорания топлива. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы источника теплоснабжения.

Также при сжигании топлива образуются шлаки, которые являются не перерабатываемыми отходами, которые наносят вред литосфере и гидросфере в результате неправильной утилизации.

15.3.2. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

Процесс приготовления суспензионного топлива включает несколько линий с различными компонентами, которые представляют собой нефтепродукты, угольные шламы, отходы деревообрабатывающей промышленности. При повреждении или сбое системы данные компоненты могут оказать негативное влияние на почву, тем самым уничтожить растительность на прилегающей территории. Разлив жидких компонентов может привести к заражению и загрязнению водостоков и почвенного покрова.

Данные факторы загрязнения окружающей среды представляют наивысшую опасность для экологической обстановки и для человека. Эти воздействия на окружающую среду могут вызвать уничтожение некоторых видов растительности, загрязнение атмосферы и водоемов. Также негативное

влияние оказывается на здоровье человека. Загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

15.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Суспензионное топливо, которое является продуктом данной системы, позволяет снизить количество выбросов в атмосферу. После приготовления топлива должен проводиться анализ, который покажет качество полученного топлива.

Для снижения рисков загрязнения литосферы и гидросферы должен осуществляться контроль хранения компонентов топлива в складских помещениях.

Таким образом, снижение выбросов токсичных веществ в атмосферу и повышение экологической эффективности теплоэнергетики может быть реализовано в несколько направлений, таких как выполнение природоохранных мероприятий, внедрение экологического мониторинга, выполнение мероприятий по энергосбережению, созданию нового топлива, использование научных исследований и новейших научных разработок.

15.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

15.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наибольшую опасность, которую представляет разрабатываемая АСУ, является возникновение очагов возгорания.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние линии топливоподачи путем внешнего осмотра и контроля рабочих параметров в системе. При появлении признаков самовозгорания топлива следует в первую очередь начать подавать готовое топливо в котел с последующим перекрытием линии подачи топлива, при этом контролировать отсутствие очагов огня во избежание пожара.

Распространённая причина возникновения пожара в объектах теплоэнергетики — это нарушение противопожарных правил, поэтому обслуживающий персонал должен их знать и выполнять.

15.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований

При установке оборудования автоматизации особое требование предъявляется к качеству монтажа технических средств. Некачественный монтаж может привести к утечке горячего топлива или воздуха, что может стать причиной возгорания. Поэтому такой монтаж производят слесари КИПиА с разрядом не ниже 4, так как от их квалификации и качества выполнения монтажных работ зависят жизни людей. Помимо риска обслуживающего персонала, существует риск аварий в зимний период, и тогда потребители останутся без тепло- и электроснабжения.

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

К возникновению пожара приводят неисправная электропроводка на объекте теплоэнергетики, 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. Поэтому необходимо осуществлять качественный электромонтаж всего оборудования, содержать в частоте нагретые поверхности в котельном цехе, а также поддерживать работоспособное состояние всех автоматических и автоматизированных устройств оповещения о ЧС. В случае возникновения ЧС необходимо покинуть помещение, используя лестницу. Также необходимо оповестить чрезвычайные службы по номеру 112. Кроме того, если не сработала система автоматического оповещения, необходимо активировать ее вручную при помощи соответствующих устройств.

Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Результатом анализа социальной ответственности разрабатываемой технологии стали ряд мероприятий по снижению вредных и опасных факторов технологического процесса, усовершенствование как конструкции аппаратов, так и помещения, в котором планируется проводить технологический процесс. Проанализировано влияние на экологию в целом и возможное негативное влияние непосредственно на сотрудника, принято решение о необходимых средствах индивидуальной защиты. Социальная роль разрабатываемой АСУ состоит в том, что при использовании суспензионного топлива уменьшится количество выбросов и отходов.

Проблема деградации окружающей среды в настоящее время стоит очень остро, это связано с тем, что многие предприятия используют традиционное топливо, которое имеет высокие показатели антропогенных выбросов и большое количество отходов. Выбросы и отходы негативно влияют на окружающий мир и здоровье человека. Данная система позволит снизить влияние на атмосферу и литосферу.

Заключение

В рамках магистерской диссертации разработана автоматизированная система управления состава дымовых газов при сжигании низкосортного топлива в топке водогрейного котла на основе современной микропроцессорной техники. Для этого был создан набор проектной документации, включающий в себя структурную и функциональную схемы разрабатываемой системы, схему внешних проводок, схему электрическую соединений и сборочный чертеж щита управления. Был произведен выбор оборудования и составлена заказная спецификация на средства автоматизации. Для удобства пользования данной системой, оператором была разработана мнемосхема данной АСУ ТП в среде CODESYS.

Также в рамках диссертации проведены исследования, направленные на определение экологических характеристик горения низкосортных топлив. Выполненные исследования демонстрируют достаточно высокую эффективность сжигания низкосортного топлива. Данные топлива представляют интерес с экологической, экономической энергетической и социальной точек зрения. Выгода с экологической точки зрения заключается в том, что данные топлива содержат в своем составе воду, присутствие которой снижает количество оксидов серы и азота, выбрасываемых с дымовыми газами в атмосферу. С экономической точки зрения выгода заключается в том, что топливные компоненты, используемые для приготовления данных топлив, имеют низкую стоимость, что положительно сказывается на стоимости итогового топлива. С энергетической точки зрения использование данных топлив представляет интерес из-за расширения топливной и сырьевой базы данной отрасли. Социальный эффект заключается в том, что использование суспензионных топлив может снизить воздействие угольных электростанций на здоровье людей, смертность и состояние окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Feng L., Tao L., Li P., Fei W. Influencing factors of public support for modern coal-fired power plant projects: An empirical study from China // *Energy Policy*. – 2017. – V. 105. – P. 398–406
2. Li H., Yang S., Zhang J., Qian Y. Coal-based synthetic natural gas (SNG) for municipal heating in China: analysis of haze pollutants and greenhouse gases (GHGs) emissions // *J. Cleaner Prod.* – 2016. – V. 112. – P. 1350–1359
3. Guttikunda S.K., Jawahar P. Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India // *Atmospheric Environment*. – 2014. – V. 92. – P. 449–460
4. Chao Z., Kunli L. Sulfur, arsenic, fluorine and mercury emissions resulting from coal-washing byproducts: A critical component of China's emission inventory // *Atmospheric Environment*. – 2017. – V. 152. – P. 270–278
5. Вершинина К.Ю. Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Отличия характеристик зажигания водоугольных суспензий и композиционного жидкого топлива // *Химия твердого топлива*. – 2016. – № 2. – С.1–21.
6. Вершинина К.Ю., Стрижак П.А., Лырщиков С.Ю. Зажигание топливных суспензий, приготовленных на основе отходов обогащения угля и нефтепродуктов // *Физика горения и взрыва*. – 2018. – Т. 54, № 3. – С. 137–148.
7. Vershinina, K.Y., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Promising components of waste-derived slurry fuels // *Journal of the Energy Institute*. – 2020. – V. 93. I.5. – P. 2044–2054.
8. Делягин, Г.Н. Лебедев Г.Н., Пермяков Б.А. Теплогенерирующие установки: Учебник для вузов. – 559 с.
9. Померанцев, В.В., Арефьев К.М., Ахметов Д.Б. Основы практической теории горения: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва: Энергия. – 1973. – 262 с.

10. Журавлева, Н.В., Мурко В.И., Федяев В.И, Дзюба Д.А., Сенчурова Ю.А., Заостровский Д.А. Вихревая технология сжигания суспензионного водоугольного топлива: Экологические аспекты // Экология и промышленность России. – 2009. – №1. – С. 6–9.
11. Sung, Y., Choi M., Lee S., Lee G., Shin M., Choi G., Kim D. Shin Generation mechanisms of tube vortex in methane-assisted pulverized coal swirling flames // Fuel Processing Technology. – 2017. – V. 156. – P. 228–234.
12. Nabertherm. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eco-analytika.com/laboratornoe-oborudovanie/laboratornie-trubchatie-pechi> свободный. – Загл. с экрана.
13. Testo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-885-2/p/0563-0885-V2> свободный. – Загл. с экрана.
14. Vibra. Measure the future. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vibra.ru/products/vibra_ht/свободный. – Загл. с экрана.
15. Вершинина, К.Ю. Низкотемпературное зажигание отходов переработки угля в виде органоводоугольных топливных композиций: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: 01.04.17 / Вершинина Ксения Юрьевна. Томск, – 2016. – 191 с.
16. Wang H., Jiang X., Zhang M., Ma Y., Liu H., Wu S. A new fluidization-suspension combustion technology for coal water slurry // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – 2010. – V. 49. – P. 1017–1024.
17. ГОСТ Р 50831-95. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования
18. РД 34.02.305-98. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС.
19. РД 153-34.02.303-98. Инструкция по инвентаризации выбросов в атмосферу загрязняющих веществ ТЭС и котельных. СПО ОРГРЭС, М., 1998 г.

20. Nyashina G.S., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Effects of plant additives on the concentration of sulfur and nitrogen oxides in the combustion products of coal-water slurries containing petrochemicals // Environmental Pollution. – 2020. - V.258. – Article number 113682.
21. Волощенко А.В., Медведев В.В. Технические измерения, приборы и средства автоматизации. Курсовое проектирование. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 100 с.
22. Волощенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 104 с.
23. ОВЕН. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://owen.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
24. Каталог продукции ОАО «Endress+Hauser». – М.: Изд-во «Endress+Hauser», 2013. – 215 с.
25. Расходомер ультразвуковой US-800. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.us800.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
26. Расходомер электромагнитный ЭМИС-МАГ 270. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tp-vostok.narod.ru/tp-v_emis-mag-270.pdf#:~:text=Электромагнитные%20расходомеры%20ЭМИСМАГ%20270%20предназначены,минимальной%20удельной%20электропроводимостью%205.10-4%20См%2Fм /свободный. – Загл. с экрана.
27. Emerson. Каталог продукции 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-305pr-ru-ru> свободный. – Загл. с экрана.
28. Siemens. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/Catalog/Product/?mlfb=7ME372> свободный. – Загл. с экрана.
29. ИСТОК 20-2П/10 (ГосРеестр). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mirvesov.ru/avtomobilnye-vesy-perenosnye/9843.htm> свободный. – Загл. с экрана

30. Весы автомобильные передвижные «Невские весы». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://deltainzhiniring.ru/sklad/avtomobilnyie-vesyi/vsa-s-vuoksa-30000-3-1-m.html> свободный. – Загл. с экрана
31. Testo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-340/p/0632-3340> свободный. – Загл. с экрана
32. Gazoanalizators. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gazoanalizators.ru/POLAR-PRO.html> свободный. – Загл. с экрана.
33. Каталог продукции «Овен Пром». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen-prom.ru/products/plk63-kontroller-s-hmi-dlya-lokalnykh-sistem-v-korpuse-na-din-reyku-s-ai-di-do-ao/> свободный. – Загл. с экрана.
34. ВЭСТ-02 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npowest.ru/html> свободный. – Загл. с экрана.
35. ЭлеСи. Каталог продукции 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru> свободный. – Загл. с экрана.
36. Ключев А.С., Глазов Б.В., Миндин М.Б., Ключев С.А. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
37. Проектирование электрических и трубных проводок. РМ 4-6-92 ч. 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ani-https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293851/4293851760.htm>, – Загл. с экрана.
38. Ключев А.С., Глазов Б.В. Дубровский А.Х., Ключев А.А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
39. Компактные системные шкафы Rittal CM 5114.500. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://euroavtomatika.ru/upload/iblock/890/o_863073.pdf. – Загл. с экрана.
40. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Шаповалова Н.В. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и

ресурсосбережение: учебно-методическое пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

41. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020) [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 10.03.2021).

42. Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/ (дата обращения: 10.03.2021).

43. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.

44. ГОСТ 22613-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 6 с.

45. ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 10 с.

46. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные факторы. Классификация». – М.: Стандартинформ, 2016. – 11 с.

47. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*

48. МУ Расчет искусственного освещения [Электронный ресурс] // Stud.lms.tpu.ru – Режим доступа: https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1246294/mod_resource/content/1/МУ%20Расчет%20искусственного%20освещения.pdf (дата обращения 15.05.2021)

49. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – М.: Стандартиформ, 2015. – 4 с.

50. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 6 с.

51. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Деан, 2003. – 56 с

52. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: Стандартиформ, 2018. – 12 с.

Приложение А
(справочное)

«Regulation of emissions from combustion of conventional and suspension fuels»

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Райфегерст Екатерина Ильинична		

Руководитель ВКР

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин А.С.	к.ф.н.		

A.1 Description of the experimental data

When fuels are burned, NO_x and SO_x oxides present the greatest danger. Studies of suspension fuel combustion have shown environmental advantages over conventional boiler fuels.

Research was carried out on an experimental stand as shown in figure 1. The setup featured an electric tubular muffle furnace, gas analyzers, a positioning mechanism, a workstation, and a balance. The supplementary equipment included holders, meshes, filters, a sample preparation unit, and a dispenser. The experiments were carried out using a Nabertherm R 50/250/13 furnace with a temperature range of 20–1300 °C. The temperature range in the experiments was 700–900 °C. Before each experiment, the furnace was preheated to a specified temperature: 700 °C, 800 °C, 900 °C. The necessary heating temperature in the furnace was set and monitored by the integrated regulator and a type S (Pt+Rh)-Pt thermocouple (maximum temperature 1350 °C, maximum allowable deviation ±1 °C). The temperature in the furnace was set using control buttons and a digital display located on the furnace panel. At these temperatures, the fuels went through all the typical ignition and combustion stages, and the gaseous emission dynamics allowed us to detect the concentrations of harmful gases (SO₂, NO_x). The gas composition and concentration were determined using two gas analyzers: Testo-340 and Test 1 (Table 1, Supplementary Information). The use of two analyzers provided the high accuracy of the experiments. Together with gas analyzers, we used a modular probe for gas sampling from the combustion chamber and supplying it to the gas analyzer sensors, disposable particulate filters, as well as a sample preparation unit to cool the flue gases and reduce the moisture content.

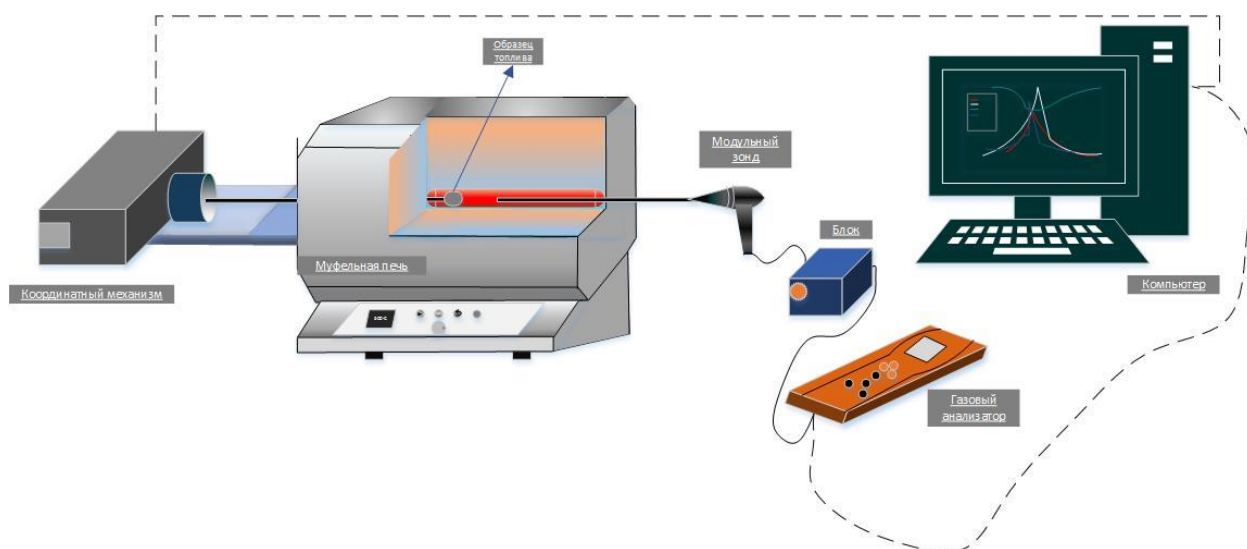


Figure 1 - Scheme of the setup for recording the concentrations of anthropogenic gas emissions

Table 1. Sensor characteristics of used gas analyzers

Gas analyzer	Gas	Sensor type	Measurement range /Accuracy
Testo 340	O ₂ / CO ₂ calculated from O ₂ measurement	Electrochemical sensor	0–25 vol % / ± 0.2 vol%
	CO		0–10,000 ppm / ±5% of value (201–2,000 ppm) or ±10% of value (2,001–10,000 ppm)
	NO _x		0–4,000 ppm / ±5 ppm (0–99 ppm) or ±5% of value (100–1,999 ppm)
	SO ₂		0–5,000 ppm / ±10 ppm (0–99 ppm) or ±10% of value (beyond this range)
Test 1	O ₂	Electrochemical sensor	0–25 об. % / ± 0.2 vol%
	CO		0–40000 ppm / ±5% of value
	NO		0–1000 ppm / ±5% of value
	NO ₂		0–500 ppm / ±7% of value
	SO ₂		0–1000 ppm / ±5% of value
	H ₂ S		0–500 ppm / ±5% of value
	H ₂	Optical sensor	0–5 vol% / ± 0.2 vol%
	CO ₂		0–30 vol% / ±2% of value
CH ₄	0–30 vol% / ±5% of value		

The fuel was introduced into the muffle furnace on a holder attached to the positioning mechanism (Fig. 1). The positioning mechanism move speed was 0.2 m/s. The speed was chosen to hold the sample steady in the combustion chamber.

Liquid slurries were supplied on a stainless-steel holder with 15 rods with fuel droplets suspended on them. The mass of the droplets was 0.03 g in all the experiments. These parameters were controlled using a ViBRA HT 84RCE 2 balance with a measurement resolution of 10^{-5} g and Finnpiquette Novus dispenser with a minimum and maximum dosage volumes of 1 μ l and 10 μ l, respectively, and 0.1 μ l increments. However, it is impossible to supply coal to the chamber like this, so we weighed dry coal dust with a particle size of 100–140 μ m and placed it on a fat holder using a mold and a pair of tweezers. At the beginning of the experiment, fuel on a holder was introduced into the furnace heated to a specified temperature (700, 800, or 900 °C) through an orifice. A gas analyzer probe was inserted through the opposite orifice, so that its tip was near the fuel sample. After that, the orifices were sealed by specialized covers with a high-temperature insulating layer to control oxygen access to the combustion chamber. The excess air factor in the experiments with different fuels was 1.67–1.78. Since the furnace temperatures were very high, the heating and ignition rates of the samples were also high. The heterogeneous ignition delays of fuels varied in the range from 1.5 to 18 s, depending on the slurry composition and the temperature in the chamber. The gas resulting from the combustion was supplied through the probe to the gas analyzer due to the draft of the pump. After that, the sample went to the electrochemical sensors. The principle of operation of an optical CO₂ sensor is based on the absorption of certain wavelengths of radiation (usually in the infrared range) by carbon dioxide, in which case the absorption coefficient is proportional to the gas concentration. The reaction time (delay time) for different sensors varied from 10 to 30 s. This parameter depended on the gas quality (a lot of moisture, tar). More contaminated gases (for example, for a slurry with waste turbine oil) were characterized by a higher sensors reaction time, due to a longer cleaning procedure in filtration and drying systems. However, in most experiments, the sensors reaction time did not exceed 15 s. The variation of the main gaseous products from the combustion was monitored with the help of the easy emission (Testo-340) and test (Test 1) software.

The research featured the following fuels: (i) Coal "D" (ii) 50% of Filter cace "D" and 50% of water; (iii) 50% of Filter cace "D", 45% of water, and 5% of sawdust; and (iv) 50% of Filter cace "D", 45% of water, and 5% of used turbine oil.

Stages of slurry preparation are described in detail in Ref. [1]. The first stage involved drying (at 105 °C for 2.5 h) and pulverizing of all the samples in a Pulverisette 14 rotor mill. The size of a coal, slime, and sawdust particle was about 140 µm. After that, a ZNCLBS-2500 magnetic stirrer was used to mix the solid and liquid components for 20 min at 1500 rpm until homogeneous.

A.2 Experimental results

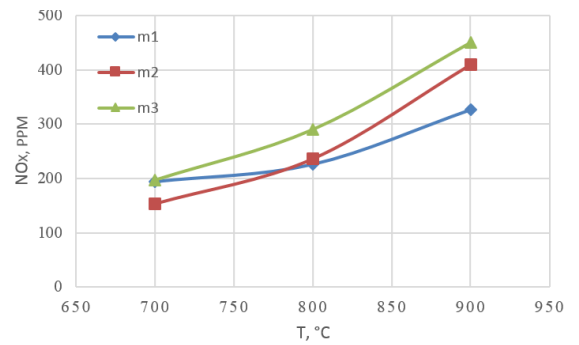
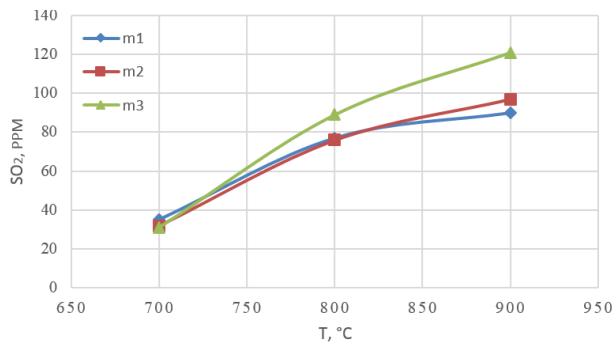
The results of the Nox and Sox concentration experiments during the combustion of fuel samples as suspensions in the muffle furnace are given in table 2.

Table 2. Results of the experiments

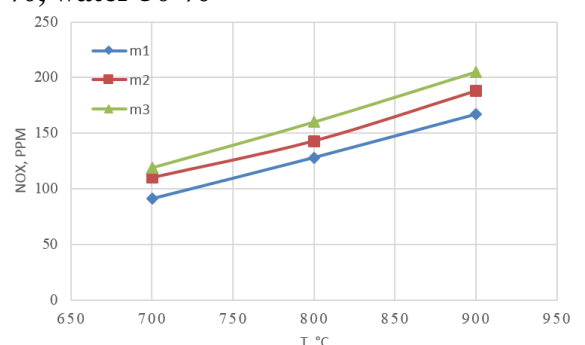
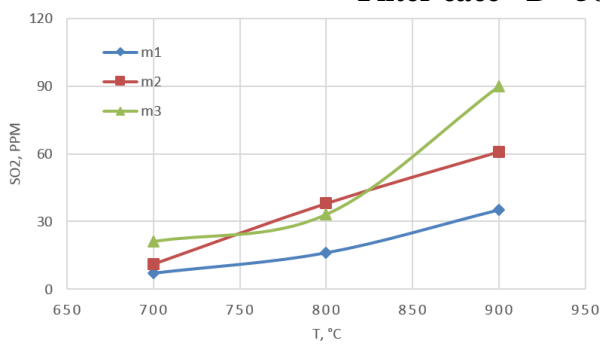
Emissions		SO ₂ ,	NO _x ,	SO ₂ ,	NO _x ,	SO ₂ ,	NO _x ,	SO ₂ ,	NO _x ,
		ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Mass, g	T, °C	Coal "D"		Filter cace "D" 50 %, water 50 %		Filter cace "D" 50 %, water 45 %, sawdust 5 %		Filter cace "D" 50 %, water 45 %, used turbine oil 5 %	
0,15	700	35	194	7	91	4	108	9	93
	800	77	226	16	128	15	165	39	157
	900	90	327	35	167	34	172	50	186
0,3	700	32	153	11	110	6	92	10	106
	800	76	236	38	143	21	145	39	160
	900	97	410	61	188	45	193	63	262
0,45	700	31	197	21	119	13	109	18	127
	800	89	290	33	160	30	144	49	169
	900	121	450	90	205	62	204	92	272

Figure 2 shows the experimental dependences of SO_x, NO_x emission concentrations on temperature for four types of fuel.

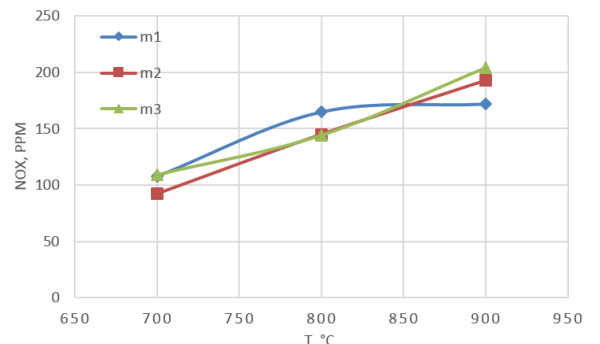
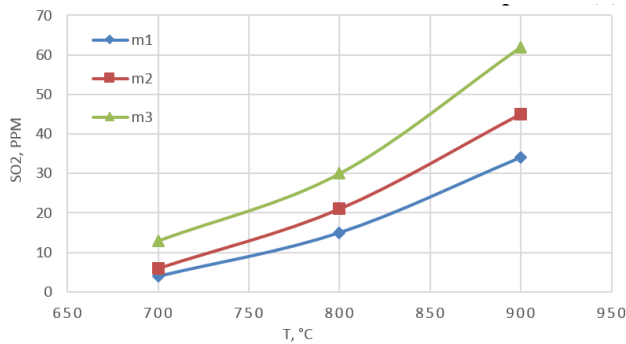
Coal "D"



Filter cake "D" 50 %, water 50 %



Filter cake "D" 50 %, water 45 %, sawdust 5 %



Filter cake "D" 50 %, water 45 %, used turbine oil 5 %

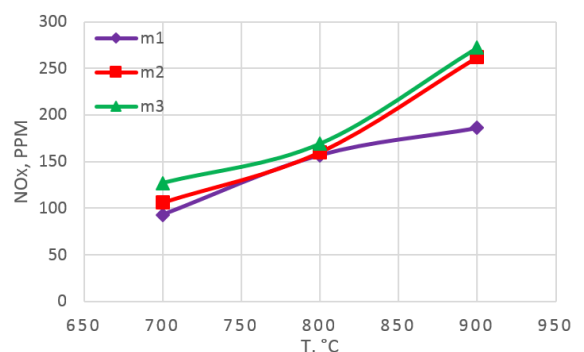
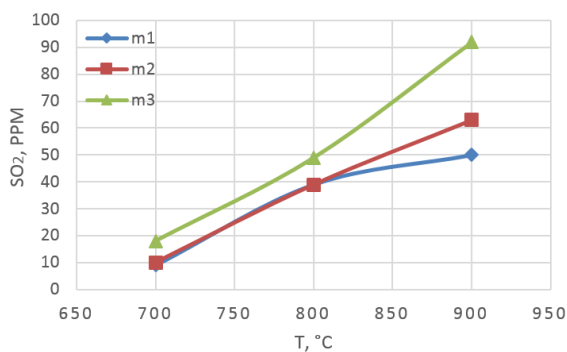


Figure 2 - Experimental dependences of SO_x, NO_x emission concentrations on temperature for four types of fuels

Based on the research results presented in Figure 2, the following conclusions can be drawn.

1. The use of suspension fuels is more environmentally friendly solution in terms of SO_x formation during fuel combustion than the use of coal. The considered liquid fuels demonstrate 1.5 - 3 times less sulfur oxides in combustion products than coal of grade "D". This is due to the availability of water in the fuel components. The lowest concentration of sulphur oxides among all fuel suspensions is associated with sawdust. This is primarily due to the fact that part of the filter-cake of the brand «D» was replaced by wood sawdust having less sulphur in this composition than this waste of coal industry.

2. During the combustion of suspensive fuels, the concentration of nitrogen oxides decreases. This is facilitated primarily by the availability of water in the liquid fuels in question.

It is urgent to draw a conclusion based on experimental data. Firstly, the considered suspension liquid fuels have lower concentrations of SO_x and NO_x in flue gases than traditional fuels.

Secondly, adding wood sawdust greatly improves the environmental performance of the third fuel.

A.3 Normalization with respect to the specific maximum emissions

The maximum emission of pollutants (M_j^{\max} , mg/s) into the atmosphere by boiler units was determined according to Ref. [2]. The maximum gas emissions were given by:

$$M_j^{\max} = C_j^{\max} \cdot V_{dg} \cdot B_i \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

where C_j^{\max} is the measured maximum concentration of a substance in fue gases released from the combustion of the i -th type of fuel under standard conditions (mg/m^3); V_{dg} is the specific volume of dry flue gases produced from the combustion of 1 kg i -th type of fuel at $\alpha=1.4$ (m^3/kg); and B_i refers to the consumption of the i -th type of fuel (kg/s).

The specific volume of dry flue gases was given by:

$$V_{dg} = V_g^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0 - V_{H_2O}^0, \quad (2)$$

where V^0 , V_g^0 and $V_{H_2O}^0$, denote the specific volume of air, flue gases, and water vapor, respectively, produced from the stoichiometric combustion of 1 kg of fuel under normal conditions. (m^3 / kg) and α is the excess air factor.

For solid and liquid fuel, the calculation is based on the chemical composition of the burnt fuel:

$$V^0 = 0.0889 \cdot (C^r + 0.375 \cdot S^r) + 0.265 \cdot H^r - 0.0333 \cdot O^r, \quad (3)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0.111 \cdot H^r + 0.0124 \cdot W^r + 0.0161 \cdot V^0, \quad (4)$$

$$V_g^0 = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}^0 = 1.866 \cdot \frac{C^r + 0.375 \cdot S^r}{100} + 0.79 \cdot V^0 + 0.8 \cdot \frac{N^r}{100} + V_{H_2O}^0, \quad (5)$$

where C^r , S^r , H^r , O^r , and N^r refer to as-fired fuel carbon, organic and pyritic sulfur, hydrogen, oxygen, and nitrogen, respectively (%), and W^r is as-fired fuel moisture content (%).

A.4 Normalization with respect to the specific mass emissions of a pollutant per 1 kg of fuel equivalent (f.e.)

The mass specific emission of a pollutant (M'_j , g/kg f.e.) per 1 kg of fuel equivalent was given by:

$$M'_j = N_j \cdot Q_{f.e.}, \quad (6)$$

where N_j is the specific emission of a pollutant (in terms of heat) per unit heat supplied to the boiler unit furnace (g/ MJ) and $Q_{f.e.}$ is the heating value of fuel equivalent equal to 29.3 MJ/kg f.e.

N_j was given by:

$$N_j = \frac{M_j^{avg}}{B_i \cdot Q_{i.}^r}. \quad (7)$$

where M_j^{avg} denotes the average emission of pollutants into the atmosphere from boiler units (calculated in the same way as maximum emission according to Eq. (1)) (mg/s).

A.5 Calculation results

Table 3 - Initial data for calculation

	Coal "D"	Filter cace "D" 50 %, water 50 %	Filter cace "D" 50 %, water 45 %, sawdust 5 %	Filter cace "D" 50 %, water 45 %, used turbine oil 5 %
W _r , %	5,17	51,50	46,85	46.50
A _r , %	13,18	17,94	18,01	17.94
C _r , %	62,96	22,39	24,79	26.65
H _r , %	4,71	1,50	1,80	2.20
N _r , %	2,14	0,72	0,83	0.73
S _r , %	0,33	0,07	0,07	0.09
O _r , %	11,51	5,89	7,75	5.89
Q_i^r , МДж/кг	24,594	7,251	8,215	9.625
The excess air factor, %	1,71	1,68	2,11	1.73
Mass, kg	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
burning time, c	750	500	500	310
t, °C	900			
Measured concentrations:				
SO_{2max} , мг/м ³	478	281	239	435
NO_{xmax} , мг/м ³	751	316	421	637
$SO_{2cp.}$, мг/м ³	258,00	162,00	120,00	168
$NO_{xcp.}$, мг/м ³	510,00	234,00	239,00	326

The calculation results are presented in Table 4.

Table 4 - Calculation results

Estimated indicators	Coal "D"	Filter cace "D" 50 %, water 50 %	Filter cace "D" 50 %, water 45 %, sawdust 5 %	Filter cace "D" 50 %, water 45 %, used turbine oil 5 %
Consumption of the i-th type of fuel, kg/s	0,0000004	0,0000006	0,0000006	0,0000009
Maximum release SO_2 , mg/s	0,0021	0,0006	0,0006	0,0020
Maximum release NO_x , mg/s	0,0033	0,0007	0,0010	0,0029
Average outlier SO_2 , mg/s	0,0011	0,0004	0,0003	0,0008
Average outlier NO_x , mg/s	0,0023	0,0005	0,0006	0,0015
Specific volume of dry flue gases, m^3/kg	11,0333	3,7584	4,1558	4,6977
Specific air volume, m^3/kg	6,4730	2,1936	2,4250	2,7592
Specific volume of water vapor, m^3/kg	0,6913	0,8401	0,8196	0,8655
Specific volume of flue gases, m^3/kg	6,9992	2,9971	3,2051	3,5490
Average outlier SO_2 , g/MJ	0,1157	0,0840	0,0607	0,0820
Average outlier NO_x , g/MJ	0,2288	0,1213	0,1209	0,1591
Average specific emission SO_2 g/kg f.e.	3,3913	2,4603	1,7787	2,4025
Average specific emission NO_x g/kg f.e.	6,7037	3,5537	3,5425	4,6620

Conclusion

(i) The experiments have shown that coal combustion is notable for the maximum emissions of pollutants irrespective of the fuel mass and temperature in

the combustion chamber. When coal-water slurries are burnt instead of coal, the average concentrations of SO_2 are 24–90 % lower, and those of NO_x go down by 28–60 %.

(ii) The highest specific maximum emissions of pollutants result from coal combustion. At the same time, the difference in the maximum emissions between coal and CWSP with added oil did not exceed 15 %. This result stems from the high content of volatiles in oil. Their release was accompanied by a significant growth in the pollutant concentrations. However, the average specific concentrations for this fuel are much lower, since much less nitrogen, carbon, and sulfur oxides were formed at the char combustion stage than during coal combustion [3].

(iii) The specific pollutant emissions per 1 kg of fuel equivalent and 1 MJ of thermal energy from the combustion of slurry fuels were 28–48 % lower than from the combustion of coal. Due to its high environmental indicators, the slurry based on coal slime and sawdust turned out to be the most promising one.

References

1. Glushkov DO, Lyrshchikov SY, Shevyrev SA, Strizhak PA. Burning Properties of Slurry Based on Coal and Oil Processing Waste. *Energy & Fuels* 2016;30:3441–50. doi:10.1021/acs.energyfuels.5b02881.
2. RD 34.02.305-98. Method for the determination of gross atmospheric emissions of pollutants from boilers of thermal power stations. Russia, Moscow: AOOT VTI; 1998.
3. Nyashina G.S., Dorokhov V.V., Strizhak P.A. Emissions from the combustion of high-potential slurry fuels// RESEARCH ARTICLE.–2021.–p. 17.

Приложение Б
(обязательно)

Опросные листы на используемые средства контроля технологических параметров

Таблица Б1 – Опросный лист на термоэлектрический преобразователь

1	Наименование параметра	Измерение температуры в тракте дымовых газов
2	Место установки	Тракт дымовых газов
3	Позиционное обозначение	1
4	Вид установки	По месту
5	Тип прибора	Термоэлектрический преобразователь
6	Контролируемая среда	Дымовые газы
7	Диапазон измеряемых температур, °С	От -40 до +1250
8	Номинальная статическая характеристика	Нихросил-нисил
9	Наименование чувствительного элемента	Термопара
10	Количество чувствительных элементов, шт	1
11	С индикацией/без индикации*	Без индикации
12	Класс взрывоопасной зоны по ПУЭ	-
13	Класс взрывоопасной зоны по ГОСТ Р 51330.9-99, Федеральному закону от 22.07.2008 г. N123-ФЗ	-
14	Температура окружающей среды, °С	От -40 до +85
15	Общепромышленное исполнение	Общепромышленное исполнение
16	Защищенность от влаги и пыли	IP 65
17	Номинальное значение напряжения питания, В	24
18	Материал защитной арматуры	Сталь (Microbell D)
19	Выходной сигнал	4...20 мА
20	Электрическое подключение	M20x1,5
21	Класс допуска	2
22	Длина монтажной части, мм	120
23	Наличие сертификата об утверждении типа средств измерений (о регистрации в Государственном реестре средств измерений)	Да
24	Наличие разрешения на применение на поднадзорных Ростехнадзору производствах и объектах	Да

Таблица Б2 – Опросный лист на газоанализатор

1	Наименование параметра	Измерение состава дымового газа
2	Место установки	Тракт дымовых газов
3	Позиционное обозначение	4
4	Вид установки	По месту
5	Тип прибора	Газоанализатор
8	Прибор аварийной защиты	Нет
6	Класс зоны	по взрывоопасности Федеральный закон от 22.07.2008г. N123-ФЗ, ГОСТ Р 51330.9-99 (ПУЭ)
7	Контролируемая среда	Д
8	Максимальная температура контролируемой среды, °С	Дымовые газы
9	Диапазон измеряемых концентраций	180
10	Давление рабочей среды, МПа	-
11	Диапазон измерения	Атмосферное
12	Максимальная температура контролируемой среды, °С	-
13	С индикацией/без индикации*	650
14	Материал корпуса	Без индикации
15	Напряжение питания, В/источник	-
16	Выходной сигнал	220 В переменного тока
17	Схема подключения	4...20 мА, RS-485
18	Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254-96	2-х проводная
19	Наличие сертификата об утверждении типа средств измерений (о регистрации в Государственном реестре средств измерений)	Не меньше IP 54
20	Наличие разрешения на применение в поднадзорных Ростехнадзору производствах и объектах	Да

Таблица Б3 – Опросный лист на электромагнитный расходомер

1	Наименование параметра	Расход суспензии
2	Позиционное обозначение	2,3,4
3	Контролируемая среда	Электропроводная жидкость
4	Температура среды, °С	От -40 до +50
5	Диапазон температуры окружающей среды (Т), °С	От 0 до +50
6	Выходной сигнал датчика, мА	4...20 мА
7	Присоединение к трубопроводу	Фланцевое
8	Диаметр датчика, мм	32
9	Основная погрешность, %	До ±0,5
10	Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254-96	Не ниже IP 65

Продолжение таблицы Б3

11	Наличие сертификата об утверждении типа средств измерений (о регистрации в Государственном реестре средств измерений)	Да
12	Наличие разрешения на применение на поднадзорных Ростехнадзору производствах и объектах	Да

Таблица Б4 – Опросный лист на вихреакустический расходомер

1	Назначение прибора	Измерение расхода воздуха
2	Место установки	Воздушный тракт
3	Позиция	11
4	Вид установки	По месту
5	Тип прибора	Вихреакустический расходомер
8	Прибор аварийной защиты	Нет
6	Класс зоны	по взрывоопасности Федеральный закон от 22.07.2008 г. N123-ФЗ, ГОСТ Р 51330.9-99 (ПУЭ)
7	Контролируемая среда	Воздух
8	Диапазон измеряемой скорости газового потока, м/с	От 0 до 50
9	Давление рабочей среды, МПа	Атмосферное
10	Диапазон измерения, м/с	От 0 до 100 м/с
11	С индикацией/без индикации*	Без индикации
12	Материал корпуса	-
13	Напряжение питания, В/источник	Пост. 48/от блока питания 220 В переменного тока
14	Выходной сигнал	4...20 мА
15	Схема подключения	2-х проводная
16	Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254-96	Не меньше IP 54
17	Наличие сертификата об утверждении типа средств измерений (о регистрации в Государственном реестре средств измерений)	Да
18	Наличие разрешения на применение в поднадзорных Ростехнадзору производствах и объектах	Да