



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

ООП/ОПОПТехнологии сжигания природного газа и промышленная теплотехника

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА**

Тема работы
Особенности сжигания угля в составе водоугольной суспензии

УДК 662.66:662.61:662.758.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Тамашевич Максим Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Сыродой Семен Владимирович	д.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент НОЦ И.Н. Бутакова	Малышев Дмитрий Юрьевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Максимов Вячеслав Иванович	к.т.н.		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистранта по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен проектировать, методически и консультационно обеспечивать, организовывать и вести учебно-профессиональную, проектную, исследовательскую деятельность обучающихся, в том числе при подготовке выпускной квалификационной работы по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
<b>ПК(У)-2</b>	Способен осуществлять планирование и научное руководство работ в соответствующей области знаний
<b>ПК(У)-3</b>	Способен осуществлять планирование и контроль работ по безопасной эксплуатации и своевременному ремонту оборудования, основываясь на анализе возможности проведения ремонтных и диагностических работ на технологических объектах с учетом режимов работы объектов
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять проектирование и эксплуатацию теплотехнического, тепломеханического, теплообменного основного и вспомогательного оборудования, а также технологических установок, работающих под избыточным давлением, в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве, в теплоэнергетике, газовой, химической и атомной промышленности
<b>ПК(У)-5</b>	Способен осуществлять анализ режимов работы с формулированием предложений по повышению эффективности деятельности и модернизации предприятий с учетом современных инновационных подходов



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»

ООП/ОПОП Технологии сжижения природного газа и промышленная теплотехника

Отделение школы (НОЦ) Научно-исследовательский центр И.Н.Бугакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Максимов В.И.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5БМ14	Тамашевич М.С.

Тема работы:

Особенности сжигания угля в составе водоугольной суспензии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 41-35/с от 10.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2023
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – водоугольное топливо Предмет исследования – времена задержки и содержание выходящих дымовых газов для водоугольных топлив различных составов.
--------------------------	--

Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений научного сообщества в рассматриваемой области. Подготовка водоугольных топлив, а также проведение экспериментальных исследований по его сжиганию. Анализ полученных экспериментальных данных и написание на их основе выводов.
Перечень графического материала	Презентация

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	14.12.2022
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сыродой С.В.	д.т.н.		14.12.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Тамашевич М.С.		14.12.2022



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

ООП/ОПОП Технологии сжигания природного газа и промышленная теплотехника

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5БМ14	Тамашевич Максим Сергеевич

Тема работы:

Особенности сжигания угля в составе водоугольной суспензии
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	31.05.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.09.2021	Титульные листы, реферат, введение,	10
23.12.2021	Аналитическая часть магистерской диссертации	10
08.01.2023	Проектная часть магистерской диссертации, заключение, список использованных источников, приложения	10
05.04.2023	Раздел «Социальная ответственность»	5
31.05.2023	Представление готовой магистерской диссертации	5
14.06.2023	Защита магистерской диссертации	60
	Итого	100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Сыродой С.В.	д.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Максимов В.И.	к.т.н.		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Тамашевич М.С.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя 94 стр., 17 таблиц, 30 рисунков, 44 источника и одно приложение.

**Ключевые слова:** оксиды серы и азота, водоугольное топливо, времена задержки зажигания, дымовые газы, газоанализ.

**Проблема :** На данный момент не существует единой физической теории совместного сжигания угля и биомассы.

**Цель работы:** Экспериментально определить времена задержки зажигания и содержание выходящих дымовых газов для водоугольных топлив, приготовленных из разных марок углей, а также определить влияние добавления древесной биомассы в состав топлива.

### **Задачи:**

1. Аналитический обзор литературы.
2. Приготовление топлив для экспериментов.
3. Проведение экспериментальных исследований по сжиганию водоугольных топлив.
4. Анализ полученных результатов.
5. Написание вывода на основе полученных результатов.

**Научная новизна:** Получены экспериментальные данные для различных водоугольных топлив.

**Практическая значимость результатов:** Полученные экспериментальные данные помогут разработать единую математическую модель горения водоугольных и биоводоугольных топлив. В будущем технология применения ВУТ и БиоВУТ позволит снизить выходящие концентрации оксидов серы и азота, а также позволит эффективно использовать перерабатываемые опилки.

## **Обозначения и сокращения**

ТЭС – тепловая электрическая станция

ГЭС – гидроэлектростанция

АЭС – атомная электрическая станция

СЭС – солнечная электрическая станция

ВЭС – ветряная электрическая станция

ВУТ – водоугольное топливо

БиоВУТ – водоугольное топливо с добавлением биомассы

ДГ – дымовые газы

<b>Содержание</b>	
Введение .....	10
1 Вещества, выделяющиеся с уходящими ДГ и влияние их на человека и окружающую среду.....	15
1.1 Оксиды серы .....	15
1.2 Оксиды азота.....	16
1.3 Бенз(а)пирен.....	16
1.4 Диоксид углерода и пары воды.....	16
2 Водугольное топливо в энергетике .....	17
2.1 Развитие технологии применения ВУТ в России и за рубежом ..	17
2.2 Характер горения водугольного топлива .....	18
2.3 Преимущества и недостатки технологии сжигания ВУТ .....	19
3 Методология проведения экспериментальных исследований .....	20
3.1 Подготовка топлива.....	20
3.2 Описание экспериментального стенда .....	23
3.3 Определение времен задержки зажигания .....	25
3.4 Описание процесса работы газоанализатора .....	26
3 Анализ полученных экспериментальных данных .....	29
3.1 Данные по временам задержки зажигания.....	29
3.2 Результаты газоанализа ВУТ на основе различных марок углей.	31
3.3 Результаты газоанализа ВУТ с добавлением древесной биомассы. .....	34
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	41
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	41
4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	42
4.3 FAST-анализ .....	44
4.4 План проекта.....	48
4.5 Бюджет научно-технического исследования .....	51



4.6 Сравнительная оценка эффективности исследования .....	55
Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....	57
5 Социальная ответственность .....	60
Введение : .....	60
5.1 Производственная безопасность .....	60
5.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении .....	60
5.1.2 Превышение уровней шума .....	61
5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений .....	62
5.1.4 Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; .....	63
5.1.5 Недостаточная освещенность .....	64
5.3 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R <sub>заземления</sub> , СКЗ, СИЗ; .....	68
5.3.1 Поражение электрическим током .....	68
5.4 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации. ....	69
5.5 Экологическая безопасность .....	71
5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	72
Заключение .....	75
Список использованных источников .....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	82

## Введение

Мировое потребление тепловой и электрической энергии растет с каждым годом, в связи с активной индустриализацией мирового сообщества [1]. На данный момент основными источниками выработки электрической энергии являются тепловые электрические станции (ТЭС), гидроэлектростанции (ГЭС), атомные электрические станции (АЭС) и альтернативные источники энергии, например, ветряные электрические станции (ВЭС) и солнечные электрические станции (СЭС).

В 2019 году выработка электроэнергии составила 1080555,4 млн кВт·ч [еэс], в том числе распределение годового объема производства электроэнергии по типам электростанций приведено в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Распределение выработанной электроэнергии по типам электростанций за 2019 год [1].

Тип электростанции	Потребление, млн. кВт·ч.
Тепловые электрические станции	679 881,0
Гидроэлектростанции	190 295,4
Атомные электрические станции	208 773,3
Ветряные электрические станции	320,8
Солнечные электрические станции	1 284,9
Итого	1 080 555,4

Динамика выработки электроэнергии в России в 2019 году по основным типам электростанций представлена на рисунке 1.

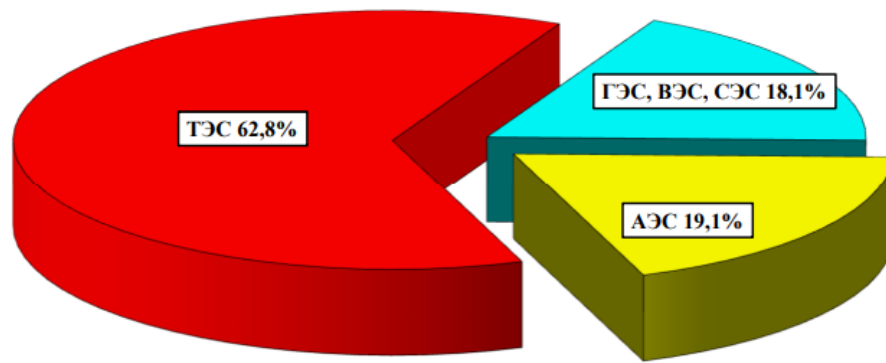


Рисунок 1 – Структура выработки электроэнергии по типам электростанций в Российской Федерации [2]

Как видно из таблицы 1 меньше всего электроэнергии вырабатывается солнечными (0,12%) и ветряными (0,03%) электростанциями, это связано с тем, что данные источники энергии существенно зависят от погоды, времени суток и года. Выработка энергии на ветряных и солнечных электростанциях зависят от погодных условий, от особенностей местности [2]. Кроме того, себестоимость электроэнергии, генерируемой с помощью возобновляемых источников энергии существенно выше, чем, на пример, на тепловых или атомных электростанциях [3]. первоначальная стоимость таких установок довольно велика по сравнению с электроэнергией, которую они вырабатывают [3].

На долю гидроэлектростанций приходится порядка 17,61 % всех генерируемых мощностей [2]. Стоит отметить, что энергия, получаемая на ГЭС, является довольно дешевой по сравнению с другими электростанциями из-за того, что энергия воды в реках является возобновляемым источником энергии. Кроме того, у ГЭС отсутствуют вредные выбросы и можно легко регулировать, а также покрывать пиковые дневные нагрузки [4]. Однако, несмотря на все преимущества ГЭС, количество мест пригодных для строительства таких станций ограничено и, соответственно, дальнейшее введение в эксплуатацию ГЭС затруднено. На настоящее время

энергетический потенциал всех крупных рек уже исчерпан и введение в эксплуатацию новых гидроэлектростанций в связи с этим затруднено [4].

Другим источником энергии являются атомные электрические станции (19,1%) [2]. Главными достоинствами АЭС являются низкая топливная составляющая и отсутствие вредных выбросов в атмосферу (при нормальном функционировании энергоблоков). Стабильность важна в энергетике, а учитывая то, что доказанных запасов урана хватит более чем на 200 лет. Кроме того, в настоящее время ведутся работы по замыканию ядерного цикла, что позволит существенно расширить топливную базу [5].

Однако будущее атомной энергетики не так отчетливо. Череду событий (Чернобыль) авария на Три Майл Айленд, и всеми известная трагедия, произошедшая на АЭС Фокусима, вынудила под давлением общественности постепенно выводить блоки атомных электростанций в развитых странах из эксплуатации. Главной проблемой атомной энергетики является утилизация ядерных отходов. Данные Производственные процессы крайне дорогостоящие и вредные для окружающей среды, также вывод из строя атомных электростанций является дорогим и крайне трудозатратным. Кроме того, при эксплуатации АЭС тяжелые металлы и другие загрязнения могут попасть в окружающую среду с водой, используемой для охлаждения реакторов. После попадания в почву и воду эти отходы остаются в ней ни одну сотню лет [5].

Далее рассмотрим самый распространенный тип электростанций: тепловые электрические станции (62,8 %) [2]. На ТЭС получают энергию путем сжигания различных горючих топлив, например, уголь, газ или мазут.

Мазут является одним из продуктов переработки нефти. Использование мазута в качестве топлива на ТЭС обладает рядом преимуществ: высокая теплота сгорания, низкая зольность, высокая плотность, возможность смешивать мазут с биотопливом. Кроме того, мазут достаточно безопасное горючее потому, что утечка продуктов переработки нефти может привести к возгоранию, однако не создаст угрозу взрыва, как, например, огнеопасные газы.

Мазут является продуктом нефтепереработки и его стоимость существенно зависит от цены на нефть, которая постоянно растёт. С недавнего времени спрос на мазут начал резко расти т.к. при переработке мазута можно получить моторное топливо, применяемое в двигателях внутреннего сгорания, а также дистилляционные масла, которые используются в смазочных материалах и гидравлических жидкостях [6].

Природный газ является относительно дешевым и экологически «чистым» энергетическим ресурсом (при его сжигании образуются диоксид углерода и пары воды ( $\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Наиболее эффективным способом производства электроэнергии из газа является комбинированный парогазовый цикл. Применение данного цикла на ТЭС позволяет получить КПД цикла, который значительно превышает КПД любого из входящих в него циклов, взятых в отдельности (КПД комбинированного 50%, а КПД отдельных циклов составляет максимум 30%). Главным элементом энергоблока с комбинированным парогазовым циклом является газотурбинная установка. Рост температуры газа перед турбиной обеспечивает пропорциональный рост КПД парогазовых установок (так, например, КПД цикла составляет 50% при температуре 1100°C в камере сгорания и 60% при температуре 1500 °C) [7]. В настоящее время активно осуществляется переход угольных ТЭС на природный газ. Но в тоже время стоит отметить, что разведанных запасов газа (при текущем уровне потребления) хватит на 40 – 60 лет [7]. В связи с этим цена на природный газ только возрастает.

В этой связи особую роль занимает угольное топливо. Анализ статистических данных, проведенных British Petroleum [8], указывает на то, что при сохранении нынешнего темпа потребления и при условии того, что не будут открываться новые крупные месторождения, разведанные запасы угля будут исчерпаны через 153 года, природного газа – через 53 года, а нефти – через 51 год [8]. Уголь в отличие нефти и газа является распространенным ресурсом (встречается практически на всех континентах). С учетом данного факта можно сказать, что следующие поколения столкнутся с нехваткой

запасов нефти и газа. Поэтому при всех своих положительных и отрицательных качествах уголь останется основным источником первичной энергии [9].

Технологии сжигания угля хорошо отработаны, возведение ТЭС осуществляется в относительно короткие сроки. На данный момент наиболее эффективной технологией производства электроэнергии на основе угольного топлива являются энергоблоки на сверхкритических параметрах пара КПД, которых достигает приблизительно 45%, при этом дальнейший рост температуры перегрева пара приводит к увеличению КПД на 1% за каждые 20°C. Рост эффективности применения угольных энергоблоков связан с достижениями современной науки в создании соответствующего технологического оборудования, а именно паровых турбин, парогенераторов с циркулирующим кипящим слоем, рассчитанных на сверхвысокие параметры пара.

Однако в угольном топливе содержится практически вся таблица Менделеева и его сжигание сопровождается существенным загрязнением окружающей среды. Для очистки дымовых газов применяются различные установки, но это в свою очередь значительно удорожает строительство тепловых электростанций и росту затрат во время эксплуатации ТЭС, работающих на угле и, как следствие, ведет к увеличению стоимости отпускаемой энергии. В этой связи возникает потребность разработки новых технологий сжигания угля.

Одним из наиболее перспективных способов сжигания угля, по мнению ученых [10-12], является сжигание угля в составе водоугольных суспензий. Водоугольное топливо (ВУТ) представляет собой высококонцентрированную суспензий, состоящую из угля (50-69% по массе), воды (30-49%) и присадок пластификаторов (до 1%) [12]. Установлено, что при сжигании ВУТ, по сравнению с углем существенно снижаются выбросы антропогенных газов, таких, как оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) и серы.

## **1 Вещества, выделяющиеся с уходящими ДГ и влияние их на человека и окружающую среду.**

Оксиды азота, серы, а также зола и другие составляющие выходящих дымовых газов являются вредными веществами, превышение концентрации которых над санитарными нормами в воздухе недопустимо.

По степени опасности продукты сгорания делятся на [13]:

- 1) Чрезвычайно опасные (Бензапирен);
- 2) Высокоопасные ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , летучая зола при содержании  $\text{CaO} > 35\%$ );
- 3) Умеренно опасные ( $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , летучая зола при содержании  $\text{CaO} < 35\%$ );
- 4) Малоопасные вещества ( $\text{CO}$ );
- 5) Безопасные вещества ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

### **1.1 Оксиды серы**

Все твердые горючие ископаемые содержат небольшие количества серы: торф 0,2-0,6%, бурый уголь 0,6-7,0%, каменные угли до 4%. Обычно серы в углях находится в форме различных соединений. Сера в углях встречается в трех формах:

1. Органическая сера (находится в виде органических соединений)
2. Пиритная сера ( $\text{FeS}_2$ )
3. Сульфатная сера ( $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ )

Вся сера углей, способная взаимодействовать с кислородом, называется горючей серой (пиритная и органическая сера). Сульфатная сера не взаимодействует с кислородом, следовательно, является негорючей серой. При сгорании сера переходит в диоксид серы (ПДК<sub>м.р.</sub>=0,5 мг/м<sup>3</sup>). Во влаге (на листьях или в воздухе) диоксид растворяется с образованием сернистой кислоты, которая затем окисляется до серной. В итоге серная кислота выпадает в виде кислотных дождей, которые в свою очередь приводят к гибели растительности [14].

При вдыхании небольшого количества диоксида серы (до 20 мг/м<sup>3</sup>) человек испытывает боль в горле и кашель. Однако при попадании в организм слишком больших концентраций этого газа (200 мг/м<sup>3</sup>), человек начинает испытывать удушье, тошноту и отёк лёгких [15].

### **1.2 Оксиды азота**

Источниками образования оксидов азота при сжигании твердых топлив являются:

- Азот содержащийся в топливе
- Высокие температуры (при высоких температурах азот, содержащийся в воздухе взаимодействует с кислородом).
- Окисление азота во фронте пламени.

Часть азота переходит в диоксид азота (NO<sub>2</sub>) 15 %, а оставшаяся часть переходит в NO 85 %.

Оксид азота не имеет запаха, однако при вдыхании может связываться с гемоглобином, переводя его в форму, не способную переносить кислород. Диоксид азота при высоких концентрациях (около 60 мг/м<sup>3</sup>) вызывает раздражение лёгких и может привести воспалению и астматическим процессам. Длительное воздействие низких концентраций этого вещества вызывает у человека головную боль, проблемы с пищеварением и кашель [16].

### **1.3 Бенз(а)пирен**

Бенз(а)пирен (C<sub>20</sub>H<sub>16</sub>) образуется в дымовых газах в результате сложных реакций в диапазоне температур 700-800 С при недостаточном количестве кислорода, подаваемого в зону горения. Бенз(а)пирен в дымовых газах находится в аэрозольном состоянии. Бенз(а)пирен обладает канцерогенными свойствами т.е. при воздействии на человека может вызвать рак и другие опухоли [17].

### **1.4 Диоксид углерода и пары воды**

Диоксид углерода и пары воды относятся к безопасному классу т.к. при попадании в атмосферу, углекислый газ поглощается растительностью в



процессе синтеза кислорода, а водяные пары выпадают на землю в виде дождя. Однако чрезмерное количество  $\text{CO}_2$  в атмосфере может вызвать глобальное потепление, из-за его способности поглощать инфракрасные лучи.

## **2 Водоугольное топливо в энергетике**

### **2.1 Развитие технологии применения ВУТ в России и за рубежом**

В конце 50-х – начале 70-х годов начались исследования по применению суспензий на основе угля в энергетике [18]. В этот период развивались идеи об эффективных условиях сжигания водоугольных топлив. Параллельно с этим изучалась возможность транспортировки ВУТ на большие расстояния (например, строительство трубопроводов для прокачки ВУТ [19]). С 70-х по 90ые годы активно проводились эксперименты по газификации, распылению и сжиганию в кипящем слое данного топлива [19]. Также исследовалась перспектива применения водоугольного топлива в двигателях внутреннего сгорания [20].

В СССР также были попытки реализации проектов, связанных с водоугольным топливом. Самым крупным из них стал проект углепровода Белово-Новосибирск протяжённостью 262 км, по которому транспортировалось ВУТ для сжигания на Новосибирской ТЭЦ-5. Данный проект использовался с 1989-1993 гг. Однако в 1993 году данный проект закрыли из-за его убыточности. После этого ввиду низких цен на газ, развитие ВУТ на территории постсоветского пространства было практически полностью приостановлено [21]. Но, стоит отметить, что Последние 25 лет в зарубежных странах активно развиваются технологии транспортировки и сжигания ВУТ. Наибольших успехов в данной области добилась Китайская компания Sino Clean Energy. Если в 2001 г. в Китае ежегодно производилось и потреблялось 2 млн. тонн ВУТ, то в 2006 г. уже 15 млн. тонн [22], а уже к 2020 г. потребление и производство достигло 100 млн. тонн [23]. В Японии на энергоустановках ежегодно сжигается приблизительно 800 тыс. тонн ВУТ в год [24]. В России технологии применения водоугольного топлива не

получили такого развития, несмотря на многочисленные исследования советских и российских ученых в данной области.

## **2.2 Характер горения водоугольного топлива**

Воспламенение частиц ВУТ сопоставимо с зажиганием жидких топлив (мазут, спирт и др.). В результате исследований [25-27] выделены основные стадии термической подготовки, предшествующие зажиганию частицы водоугольного топлива:

1. Инертный нагрев капли водоугольного топлива до температуры насыщения воды.
2. Испарение влаги с поверхности частицы и движение фронта испарения вглубь частицы.
3. Образование газообразных и твердых продуктов термического разложения органической массы топлива.
4. Воспламенение горючих газов, образовавшихся при пиролизе частицы ВУТ, ведущее к повышению температуры в малой окрестности частицы ВУТ.
5. Прогрев коксового остатка в результате горения летучих и последующее его зажигание.

Использование в составе ВУТ угля с высоким содержанием летучих приводит к более интенсивному пламенному горению парогазовой смеси в окрестности капли, и, как следствие, ускоренному прогреву и зажиганию коксового остатка [28].

При изучении характеристик горения капель ВУТ [24-25] температуры окислителя – источника зажигания составляют, как правило, не менее 1200 К. Данные температуры характерны для режимов работы топок котельных установок. Однако результаты исследований [29-30] показали, что угольная энергетика имеет перспективы развития в направлении низкотемпературного (менее 1000 К) сжигания топлива [31] т.к. низкотемпературное сжигание позволяет снизить образование оксидов азота.

### **2.3 Преимущества и недостатки технологии сжигания ВУТ**

Водоугольное топливо обладает рядом преимуществ, которые делают его привлекательным для использования в энергетических котлоагрегатах.

Во-первых, благодаря своей взрывобезопасности, использование ВУТ позволяет исключить возможность взрывов и хлопков в системах топливоподачи, что значительно повышает надежность котлоагрегатов и исключает возможность появления чрезвычайных ситуаций.

Во-вторых, нет необходимости в сложных ступенчатых системах для сжигания пыли, призванных снизить количество образующихся оксидов азота, из-за высокого содержания воды в топливе. Это значительно удешевляет стоимость и упрощает эксплуатацию энергоустановки. Водоугольное и искусственное композиционное жидкое топлива являются более экологически чистыми, чем традиционные топлива, и минимизируют отрицательное воздействие на окружающую среду [32].

Но стоит отметить, что практическое использование ВУТ на объектах энергетики затруднено в связи с тем, что в его составе имеется до 50 % воды, это в свою очередь приводит к росту периода термической подготовки топлива (большие затраты энергии на испарение влаги) который может достигать несколько десятков секунд [24]. Для решения данной проблемы могут применяться различные ускоряющие процесс зажигания добавки, например, спирты [33], углеводороды [34], биомасса [35].

Наиболее перспективной добавкой, с точки зрения экономической и энергетической составляющей является биомасса. В качестве древесной биомассы используются опилки, которые являются отходами деревообрабатывающей промышленности [36]. Также известно, что при сжигании древесины образуются меньшие объемы антропогенных газов, чем при сжигании угля. На основании этого можно предположить, что добавление опилок в состав водоугольного топлива, также приведет к снижению вредных выбросов.

### 3 Методология проведения экспериментальных исследований

#### 3.1 Подготовка топлива

Водоугольное топливо представляет собой смесь угля и воды в заданных пропорциях. Для проведения экспериментальных исследований были выбраны угли различных марок существенно отличных друг от друга по своим характеристикам: длиннопламенный (Д) шахта «Инская» Кемеровская обл., тощий (Т) шахта «Алардинская» Кемеровской обл. и бурый (2Б) разрез «Бородинский» Красноярского края. Технический и элементный анализ выбранных для эксперимента углей представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика углей [37]

Компонент	Технический анализ			Элементный анализ				
	$A^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$Q_{s,v}^a$ , МДж/кг	$C^{daf}$ , %	$H^{daf}$ , %	$N^{daf}$ , %	$S_t^d$ , %	$O^{daf}$ , %
2Б	4,13	47,64	22,81	73,15	6,62	0,81	0,43	18,99
Д	8,53	40,18	24,83	77,47	6,25	2,27	0,35	13,64
Уголь «Т»	14,65	15,9	25,12	79,31	4,49	1,84	0,87	12,70
Хвоя Лиственницы	1,61	83,39	18,59	52,33	6,40	0,24	0,02	40,69
Опилки Лиственницы	0,29	80,29	21,72	58,89	6,89	0,01	0,02	34,22

Главным достоинством бурых углей является высокое содержание в их составе горючих газов, однако с ростом содержания углерода в углях, количество горючих снижается (у каменных углей выход летучих газов не больше 37 %). Марка угля влияет на теплофизические характеристики. Так, например, у углей Т и антрацитов теплоемкость падает по сравнению с углями марки Б, а теплопроводность наоборот растет [38].

Для подготовки топлива осуществлялся ряд технологических операций, включающих в себя:

- Измельчение кускового угля размером 10-15 см в щековой дробилке до фракции 2 – 3 мм.

- Доизмельчение угля в планетарной мономельнице до пылевидного состояния. Для измельчения угля до необходимых размеров (менее 100 мкм) в шаровую мельницу [39], представленную на рисунке 2, помещался уголь вместе со специальными металлическими шариками. При включении центрифуги шарики за счет вибрации перемалывали уголь. Мельница работала 5 минут с частотой вращения 500 оборотов в секунду.

- Далее угольная пыль направлялась в вибросито (рисунок 3), где просеивалась через сито с размером 90 мкм, получившаяся фракция с размером менее 90 мкм использовалась для приготовления топлива.

Древесная биомасса также подготавливалась в несколько стадий:

- Опилки/хвоя поступали на сушку в сушильный шкаф, представленный на рисунке 3. Биомасса находилась в шкафу 2 часа при температуре 373 К. Влажность после сушки составляла приблизительно 5 %.

- Измельчение древесной биомассы.

- Просеивание получившегося жмыха через вибросито с размером ячейки 90 мкм.

Конечной стадией было смешение опилок/хвои с угольной пылью и водой для получения водоугольного топлива. Измерение массы проводилось при помощи весов aczet [40], представленных на рисунке 4, с точностью 0,001 грамма.



Рисунок 2 – Планетарная мономельница PULVERISETTE 6 [39]



Рисунок 3 – Вибрационный грохот FRITSCH ANALYSETTE 3  
SPARTAN [40]

Далее уголь смешивался с водой в соотношении 50 на 50. Измерение массы проводилось при помощи весов асзет, представленных на рисунке 4, с точностью 0,001 грамма.



Рисунок 4 – Весы Aczet CY 1003 [41]

Состав исследуемых топливных композиций представлен в таблице 3

Таблица 3 – Состав водоугольных топлив

№	Уголь		Добавка		Вода
	Марка	Содержание, %	Вид биомассы	Содержание, %	Содержание, %
1	Уголь Д	50	-	-	50
2	Уголь Т				
3	Уголь Б				
4	Уголь Т	44	Лиственница опилки	6	
5		46		4	
6		48		2	
7	Уголь Т	44	Лиственница хвоя	6	
8		46		4	
9		48		2	

### 3.2 Описание экспериментального стенда

Экспериментальные исследования процесса зажигания и горения одиночных капель (в начальный момент времени), а затем частиц (после испарения влаги из приповерхностного слоя) ВУТ проводились на стенде, изображенном на рисунке 5. Эксперименты проходили по следующей схеме: на металлический держатель (1) наносили каплю ВУТ (2), воздух внутри трубчатой печи Carbolite Gero (3) (рисунок 6) [42] нагревался до высоких температур (до  $T_{max}=1273$  К). Температура воздуха в канале цилиндра регулировалась при помощи блока управления печью (4). Вся нагревательная система находилась на подвижной платформе (5), которая в свою очередь двигалась по направляющим рейкам (6). Весь процесс теплового воздействия на частицу ВУТ фиксировался высокоскоростной камерой (7) [43]. Часть дымовых газов отбирались газоанализатором Тэст 1 Бонэр [44] для установления содержания угарного газа (CO), углекислого газа (CO<sub>2</sub>), а также оксидов серы и азота (8). Перед подачей в газоанализатор ДГ предварительно охлаждаются системой труб (9). Данные о содержании дымовых газов, а также о временах задержки зажигания поступали на компьютер (10). Часть газов, не попавших в газоанализатор, удалялась при из помещения при помощи вытяжной вентиляции (11).

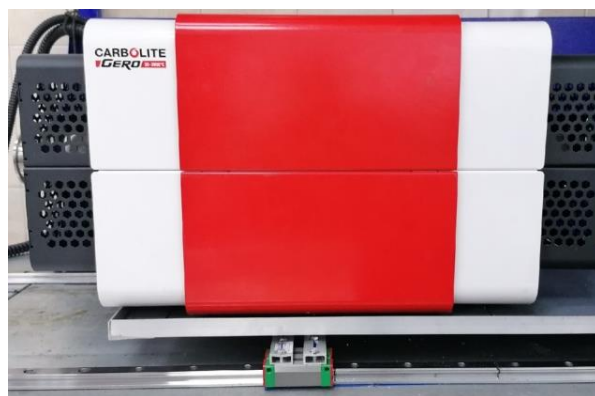


Рисунок 5 – Экспериментальный стенд





А.



Б.

Рисунок 6 – Трубчатая печь Carbolite Gero [42]

А- Блок управления, Б – Трубчатая печь

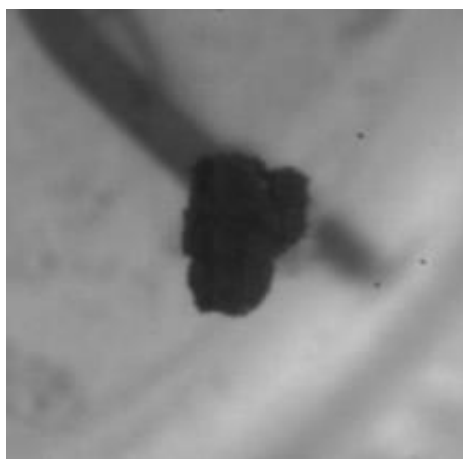
### 2.3 Определение времен задержки зажигания

Процесс определения времен задержки зажигания проходил по следующей схеме: в начальный момент времени вся нагревательная система начинала двигаться по направлению к закрепленной на игле-держателе капле водоугольного топлива. После чего капля ВУТ оказывалась в центре цилиндра (зона наибольшего теплового воздействия).

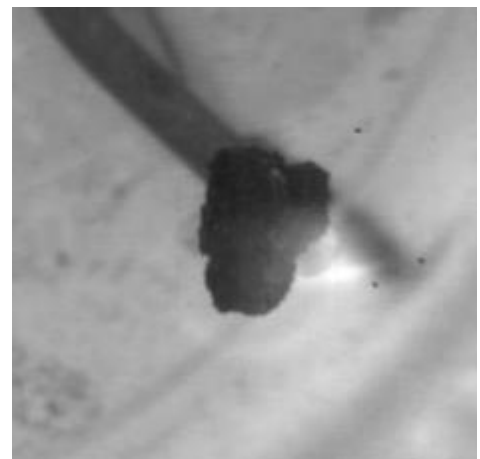
За начальный момент времени принимался кадр начала теплового воздействия на частицу водоугольного топлива, а за этап начала горения принимался кадр появления первых очагов пламени, представленный на рисунке 8. Размер частиц определялся при помощи линейки, встроенной в программное обеспечение камеры. Скорость съемки варьировалась в зависимости от длительности процесса зажигания от 100 кадров в секунду на температуре 873 К и доходила до 1000 кадров в секунду при температуре в печи 1273 К.



Рисунок 7 – Высокоскоростная камера Evercam HS 1000-32-M [43]



а



б

Рисунок 8 – Кадры зажигания ВУТ на основе угля марки Т

а - момент начала теплового воздействия, б – момент появления первых очагов пламени

## 2.4 Описание процесса работы газоанализатора

Схема системы газоанализа представлена на рисунке 9 и состоит из блока осушки (1), блока газоанализатора (2) с группами датчиков для определения состава поступающей газовой смеси (3), силиконовых трубок и системы фильтров (4 – грубой очистки, 5 – Фильтр очистки атмосферного

воздуха ФР 500 [44] – Фильтр предназначен для удаления из атмосферного воздуха, анализируемых проб, подаваемых на газоанализатор, пыли, механических примесей, 6 – фильтр тонкой очистки).

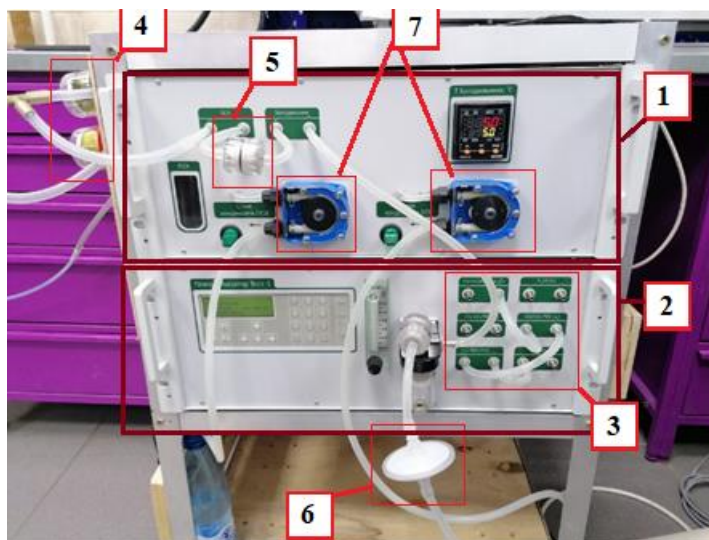


Рисунок 9 – Газоанализатор Тест 1 Бонэр [44]

1 - блок осушки, 2 – блок газоанализатора, 3 – Датчики, 4 – фильтры грубой очистки, 5 – фильтр средней очистки, 6 – фильтр тонкой очистки, 7 – насосы для откачки влаги

Продукты сгорания поступает на систему фильтров грубой очистки, далее идет блок осушки, предназначенный для охлаждения газа до заданной температуры и сепарации влаги. Данный блок оборудован двумя последовательными резервуарами для сбора сконденсировавшейся влаги. Влагу удаляют 2 насоса малой мощности (7), расположенных на лицевой стороне блока. Далее идет фильтр, расположенный передней панели газоанализатора, который представляет собой пластиковый цилиндр, заполненный специальным фильтрующим волокном. Перед группой датчиков расположен мелкодисперсный фильтр и он предназначен для самой глубокой степени очистки газов от зольных примесей.

Поступающая проба, пройдя все фильтры, поступает на группу оптических и электрохимических датчиков. Оптические датчики измеряют процентное содержание газов, например, содержание углекислого газа,

азота и кислорода. Электрохимические датчики более точные и измеряют содержание газов в миллиграммах на м<sup>3</sup>. В итоге данные с газоанализатора поступают на персональный компьютер, где отображаются в программе «Тест-1», изображенном на рисунке 10.

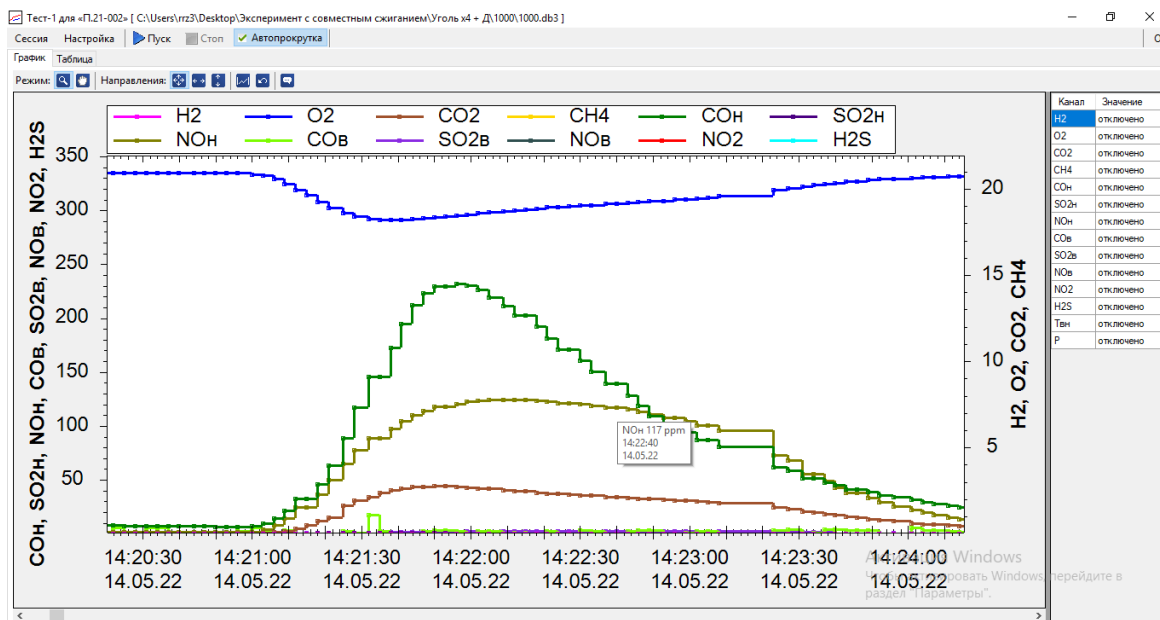


Рисунок 10 – Пример работы программы Тест 1

### 3 Анализ полученных экспериментальных данных

#### 3.1 Данные по временам задержки зажигания

Эксперименты по определению времен задержки зажигания проходили при температурах 873, 973, 1073, 1173 и 1273 К. На рисунке 11 представлены результаты для ВУТ без добавления биомассы, изготовленных из углей марок Т, Б и Д.

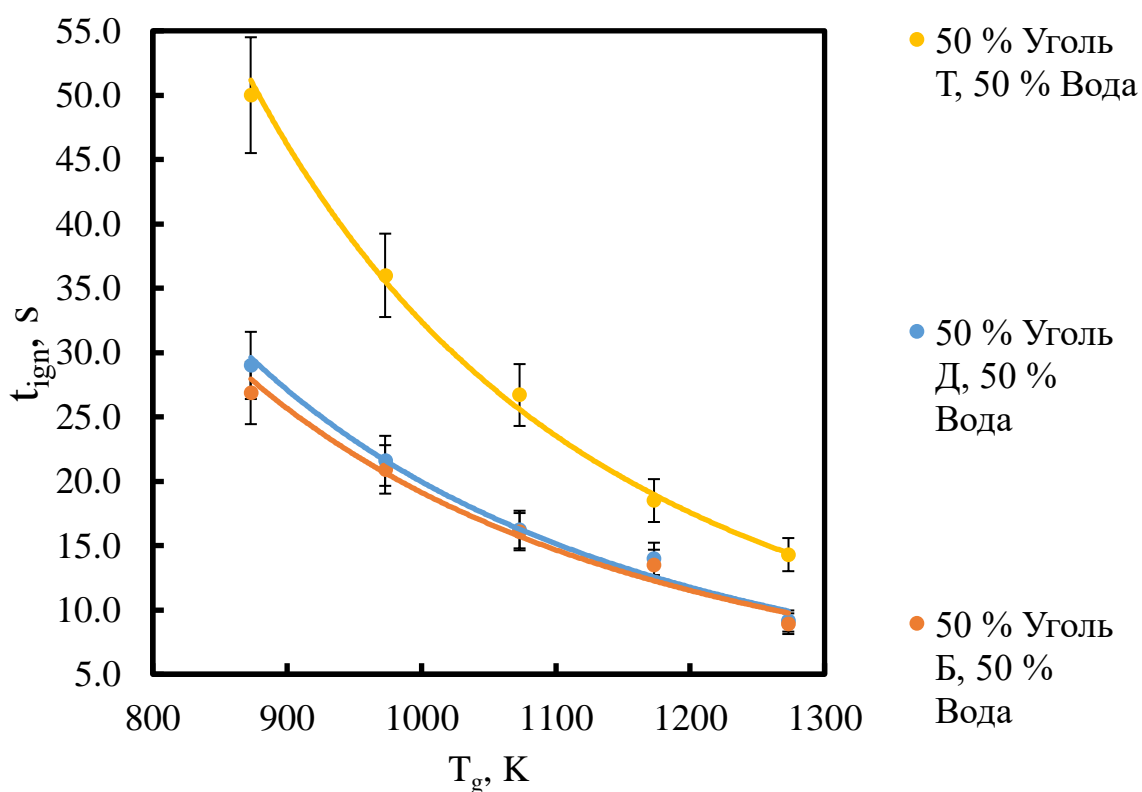


Рисунок 11 – Зависимость времен задержки зажигания от температуры для ВУТ, изготовленных из углей различных марок

На рисунке 11 видно, что водоугольная суспензия на основе угля Т зажигается значительно дольше углей Б и Д. Особенно сильно эту разницу можно увидеть на относительно невысоких температурах (до 1073К). Это связано с тем, что изначально происходит газофазное зажигание в малой окрестности вблизи частицы. Чем выше количество летучих газов в топливе, тем выше скорость его зажигания, а так как уголь Т имеет наименьший процент содержания летучих веществ (12%) среди исследуемых топлив, то и зажигается он дольше остальных марок угля.

На рисунке 12 представлена зависимость времен задержки зажигания от температуры для ВУТ с добавлением различного количества опилок лиственницы, а на рисунке 13 приведена зависимость, схожая с рисунком 12, однако в качестве биомассы выбрана хвоя лиственницы.

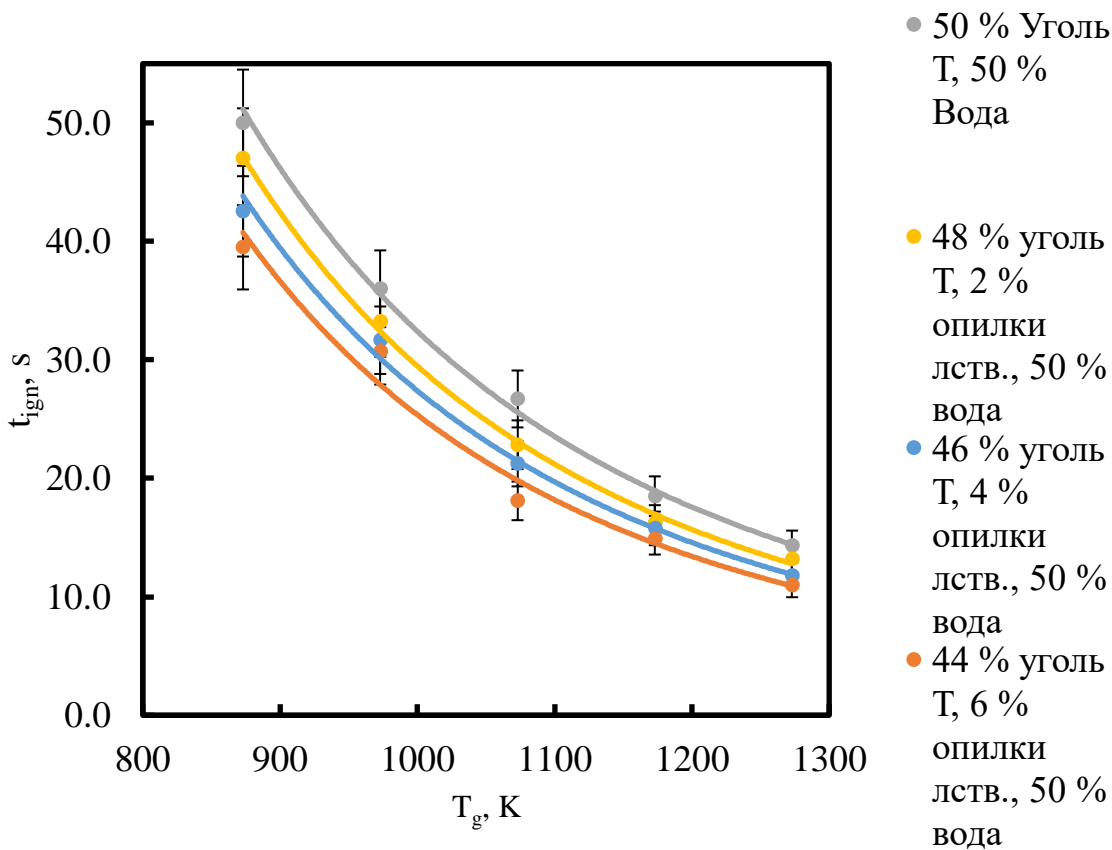


Рисунок 12 – Зависимость времен задержки зажигания от температуры для ВУТ с добавлением различного количества опилок лиственницы

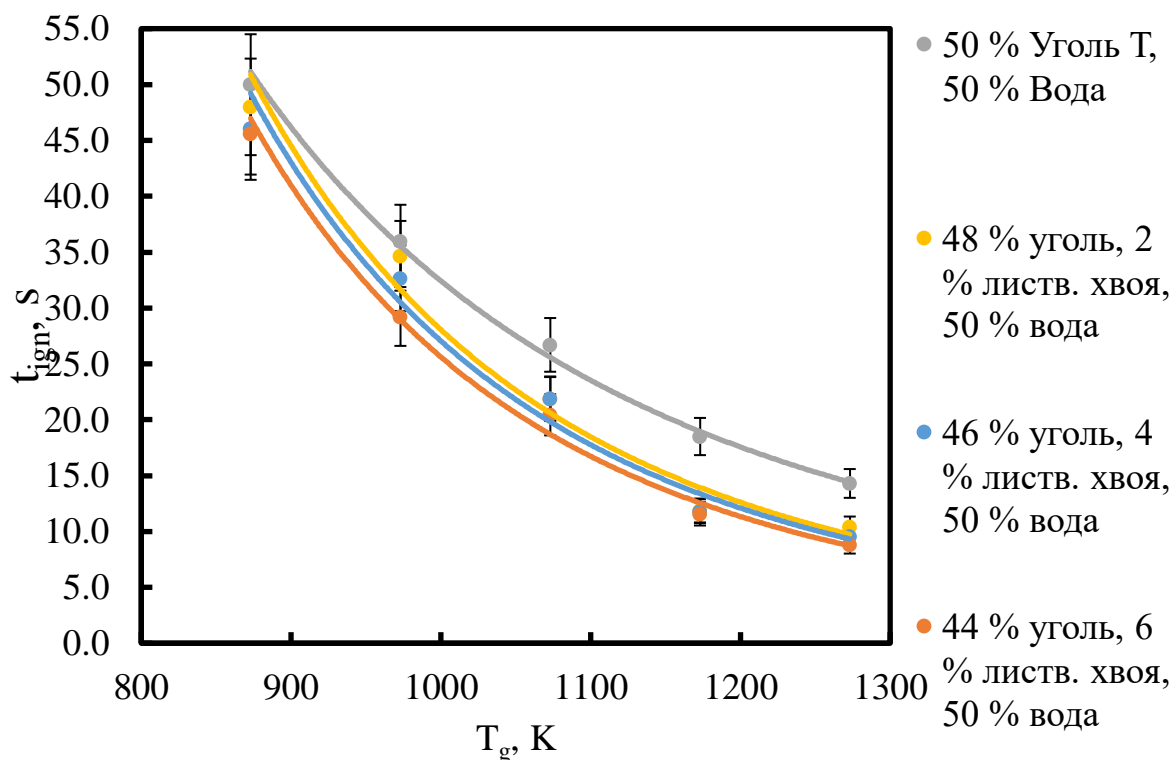


Рисунок 13 – Зависимость времен задержки зажигания от температуры для ВУТ с различным содержанием хвои лиственницы

Из рисунков 12 и 13 видно, что рост содержания биомассы в топливе ведет к снижению времен задержки зажигания. Это связано с тем, что температура зажигания опилок и хвои значительно ниже таковой температуры у угля, следовательно, добавление их в состав ВУТ также приводит к снижению температуры воспламенения последнего.

### 3.2 Результаты газоанализа ВУТ на основе различных марок углей.

На рисунке 15 представлен график зависимости содержания углекислого газа ( $CO_2$ ) от температуры для ВУТ с разными марками углей в его составе.

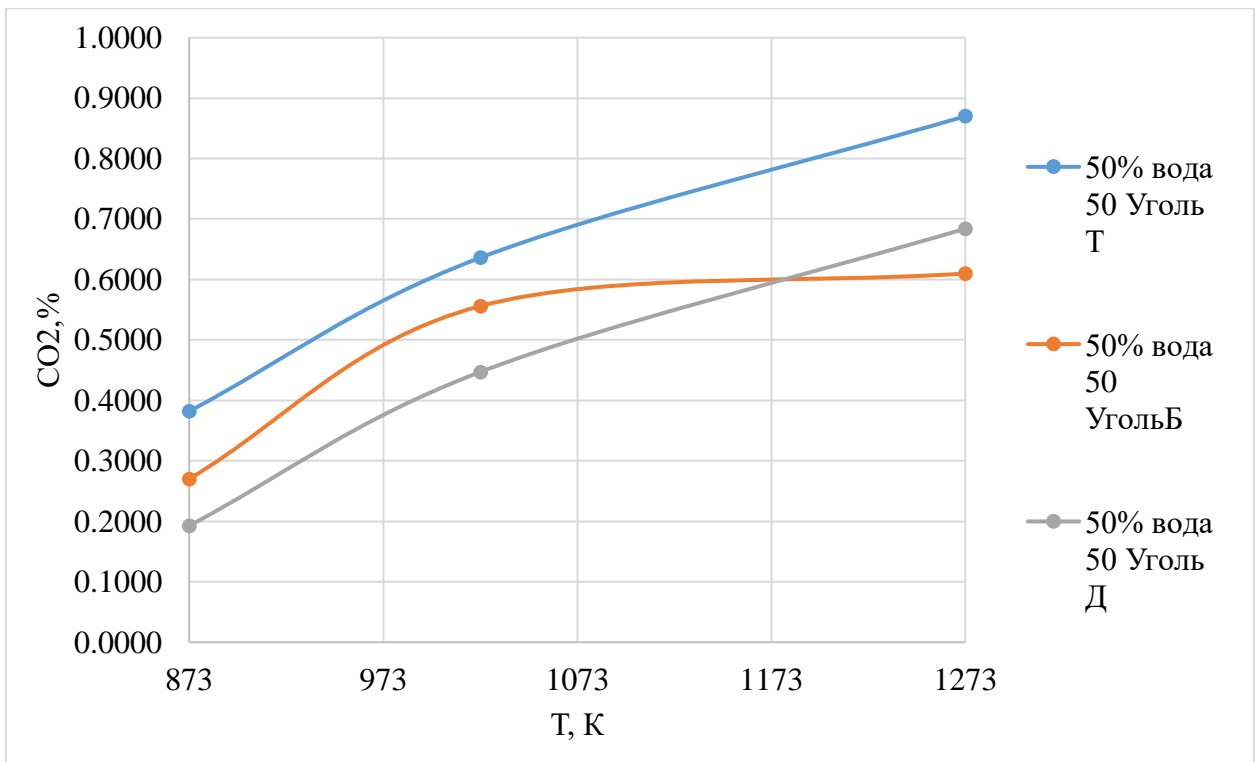


Рисунок 15 - Зависимость содержания углекислого газа (CO<sub>2</sub>) от температуры для ВУТ с разными марками углей

На рисунке 16 представлен график зависимости содержания угарного газа (CO) от температуры для ВУТ с разными марками углей в его составе.

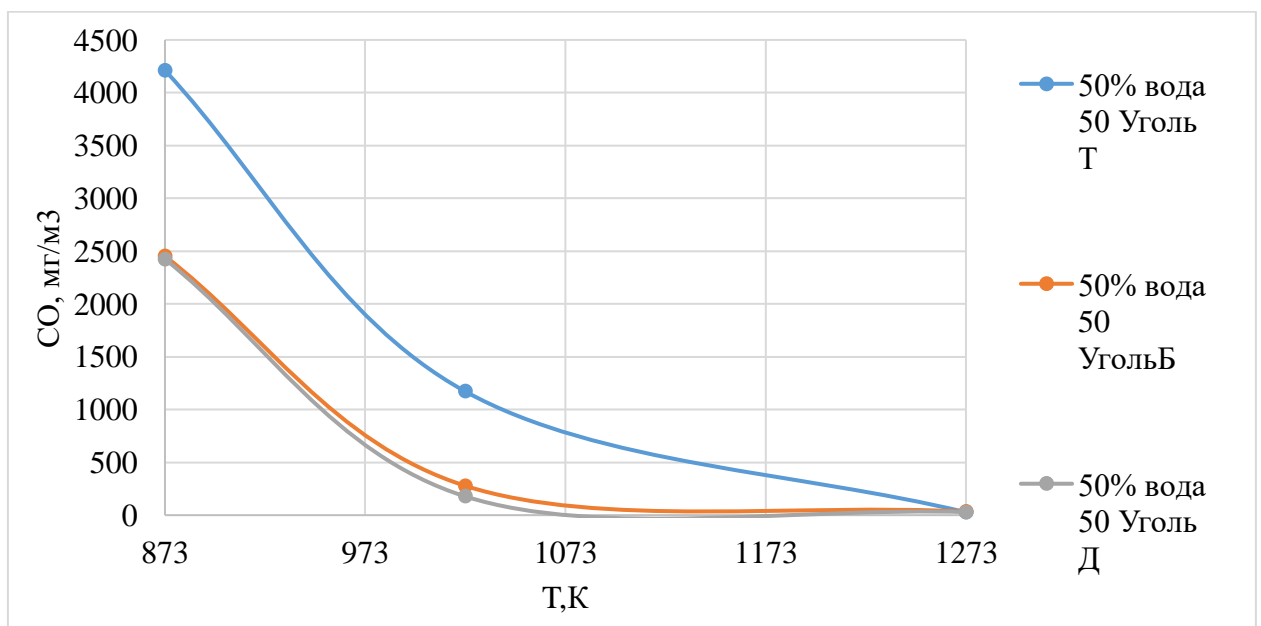


Рисунок 16 - график зависимости содержания угарного газа (CO) от температуры для ВУТ с разными марками углей в его составе



При росте температуры (см. рисунки 16 и 17) концентрация углекислого газа растет, а концентрация угарного газа падает. Это связано с тем, что с ростом температуры угарный газ “догорает” до углекислого газа ( $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ ), т.к. температура горения угарного газа составляет  $810^\circ\text{C}$ .

Максимальный выброс угарного и углекислого газа наблюдаются у ВУТ с добавлением угля Т из-за высокого содержания углерода в его составе.

На рисунке 17 представлен график зависимости содержания в смеси оксида азота от температуры для ВУТ на основе различных типов углей.

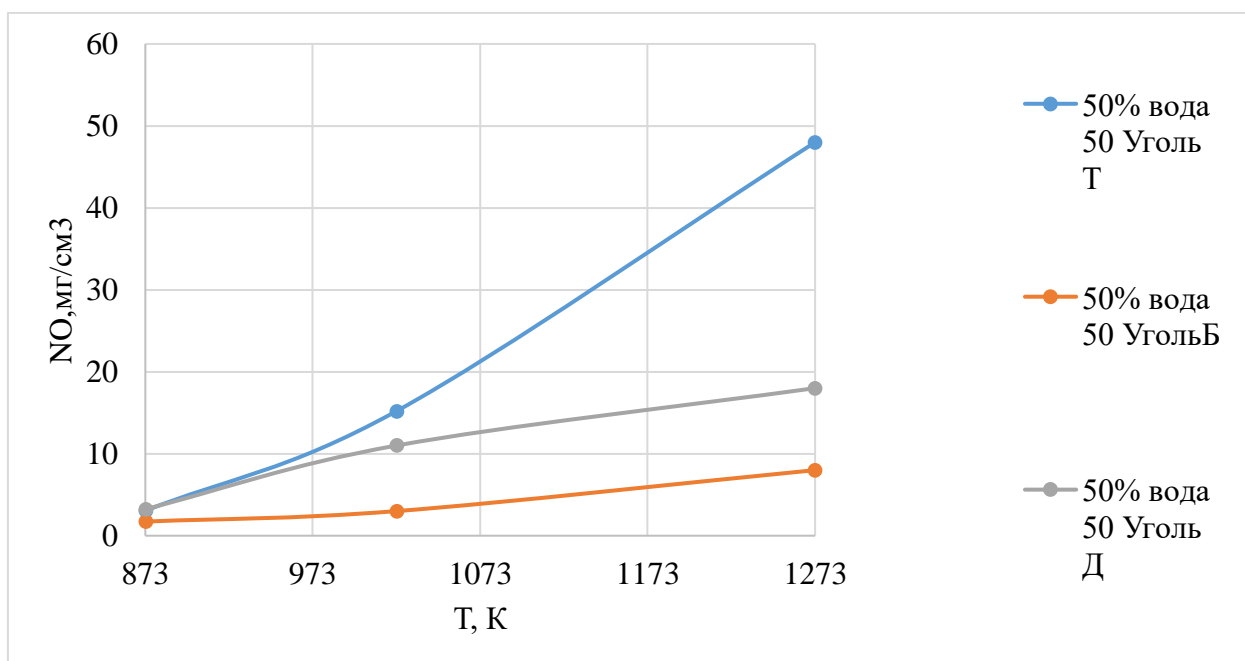


Рисунок 17 - Зависимость содержания в смеси оксида азота от температуры для ВУТ на основе различных типов углей

Из графика (рисунок 17) видно, что с ростом температуры растет и содержание оксида азота. Такой рост концентрации обусловлен тем, что при высоких температурах азот, содержащийся в воздухе, начинает взаимодействовать с кислородом ( $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ ) [16]. Также можно заметить, что при горении ВУТ на основе угля марки Т выделяется больше оксидов азота, чем у ВУТ на основе углей марки Б и Д. Это связано с высокой теплотой сгорания угля, которая ведет к росту температуры пламени и, соответственно, к росту концентрации оксида азота.

На рисунке 18 представлены зависимости выбросов серы от температуры в печи.

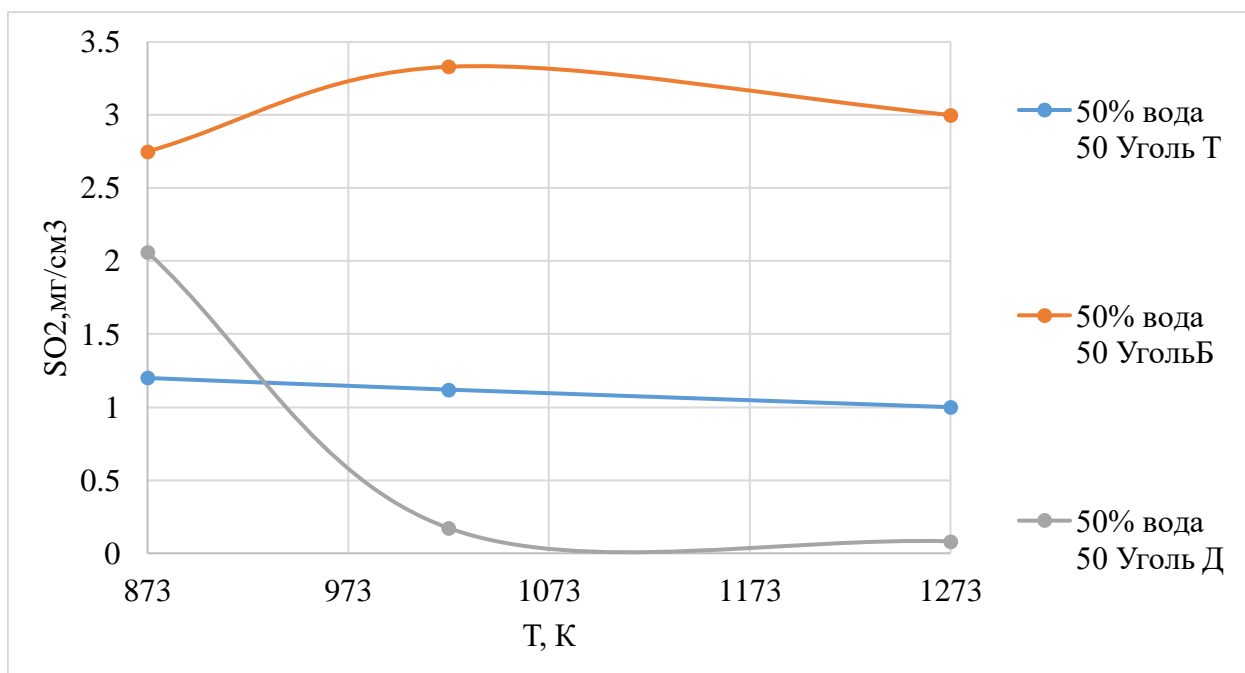


Рисунок 18 - Зависимость содержания в смеси диоксида серы от температуры для ВУТ на основе различных типов углей

Значения диоксида серы не превышали  $4 \text{ мг/см}^3$ . Это связано с тем, что ВУТ на 50% состоит из воды и при горении вода переходит в пар, который попадает в газовый тракт отбора пробы. Далее, охлаждаясь, пар снова конденсируется и взаимодействует с диоксидом серы, образуя кислоту, которая удаляется на этапе осушки вместе с водой ( $H_2O + SO_2 \rightarrow H_2SO_3$ ) [15].

### 3.3 Результаты газоанализа ВУТ с добавлением древесной биомассы.

На рисунках 19-21 представлены графики зависимости содержания антропогенных газов от температуры для водоугольных топлив на основе угля Т с добавлением в его состав различного количества опилок лиственницы.

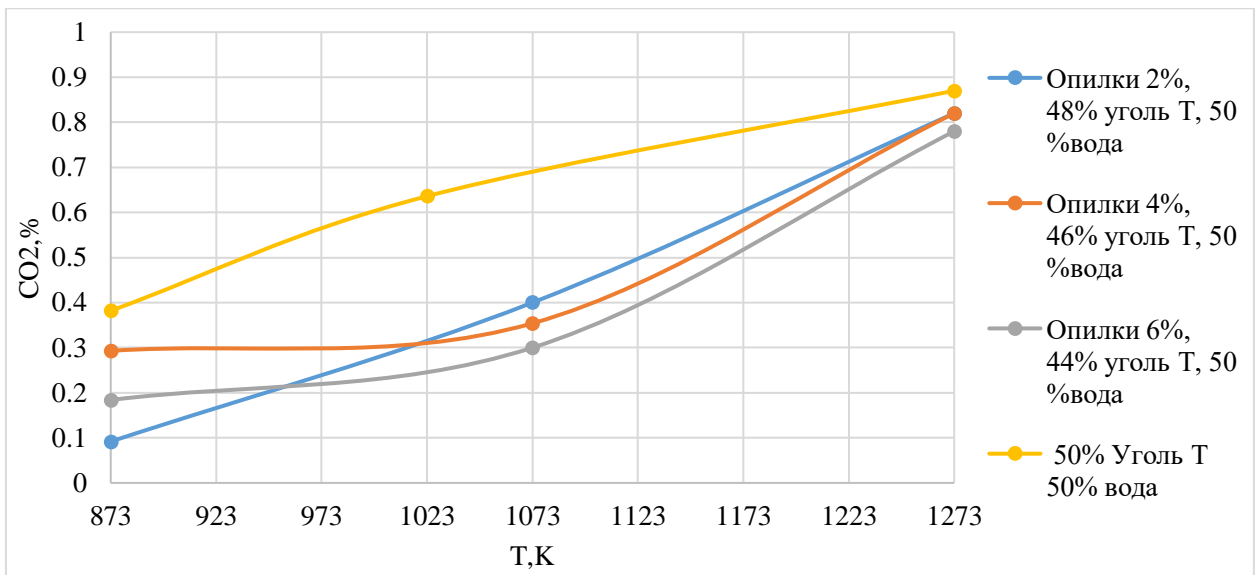


Рисунок 19 - Зависимость содержания в смеси углекислого газа от температуры для ВУТ с добавлением опилок лиственницы

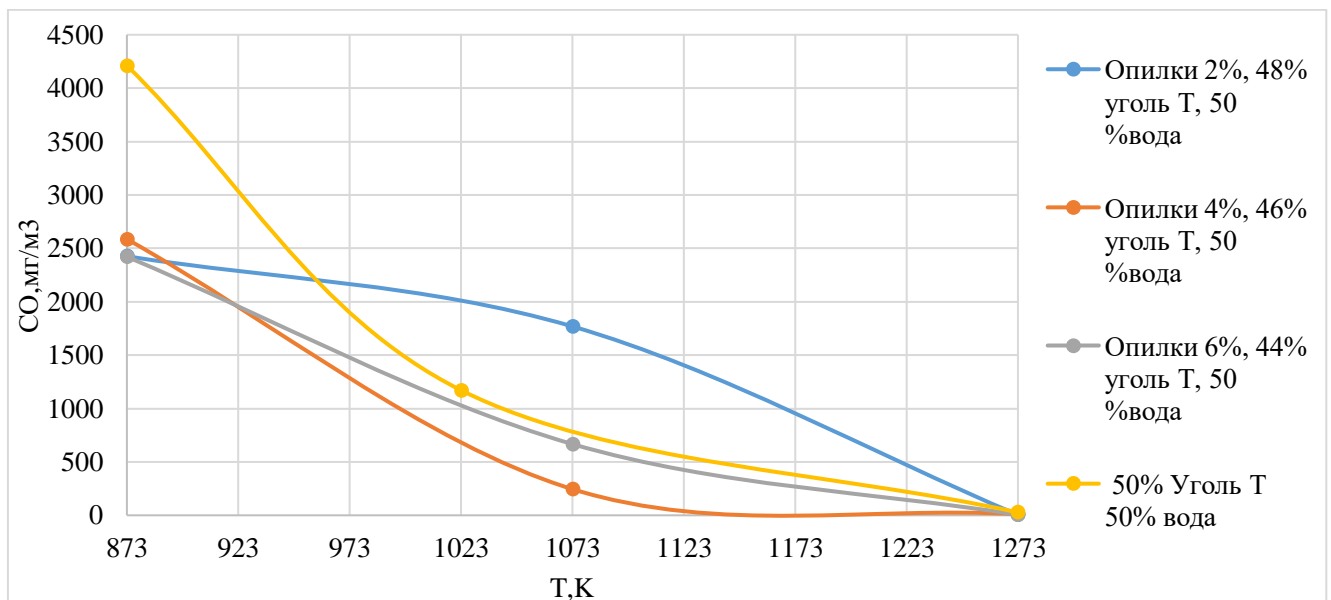


Рисунок 20 - Зависимость содержания в смеси угарного газа от температуры для ВУТ с добавлением опилок лиственницы

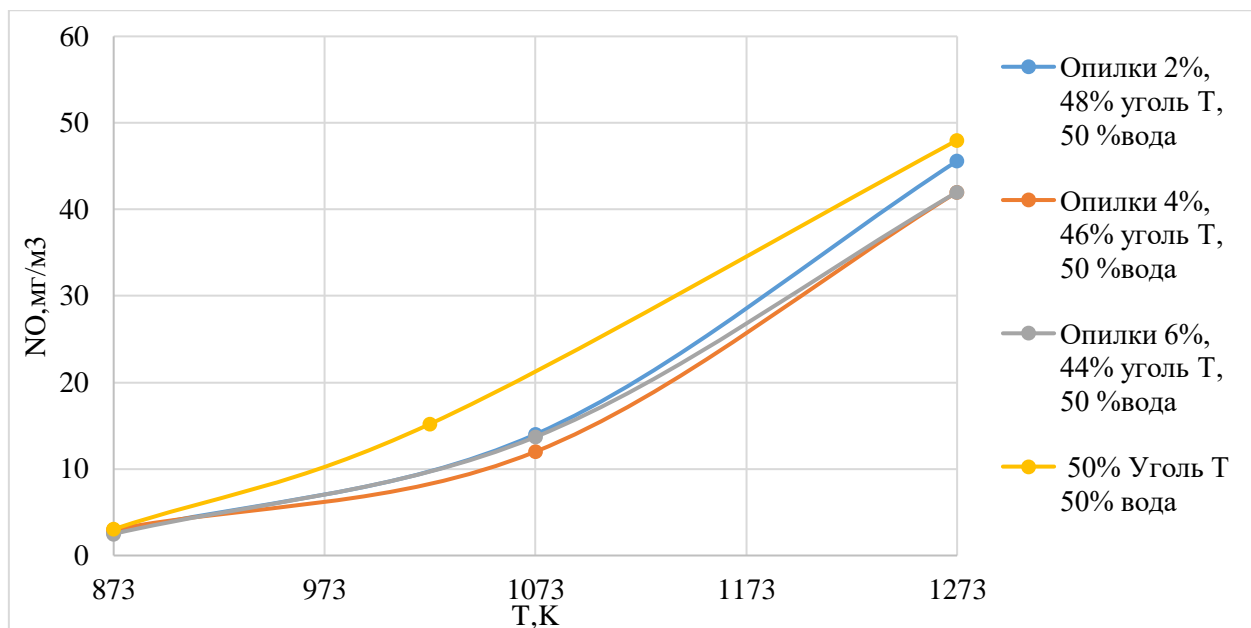


Рисунок 21 - Зависимость содержания в смеси оксида азота от температуры для ВУТ с добавлением опилок лиственницы

Исходя из графиков, можно сделать вывод: при увеличении концентрации опилок лиственницы в составе ВУТ содержание в дымовых газах  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{NO}$  снижалось из-за того, что концентрация азота и углерода в опилках ниже, чем в угле.

На рисунках 22-24 представлены графики зависимости содержания антропогенных газов от температуры для водоугольных топлив на основе угля Т с добавлением в его состав различного количества хвои лиственницы.

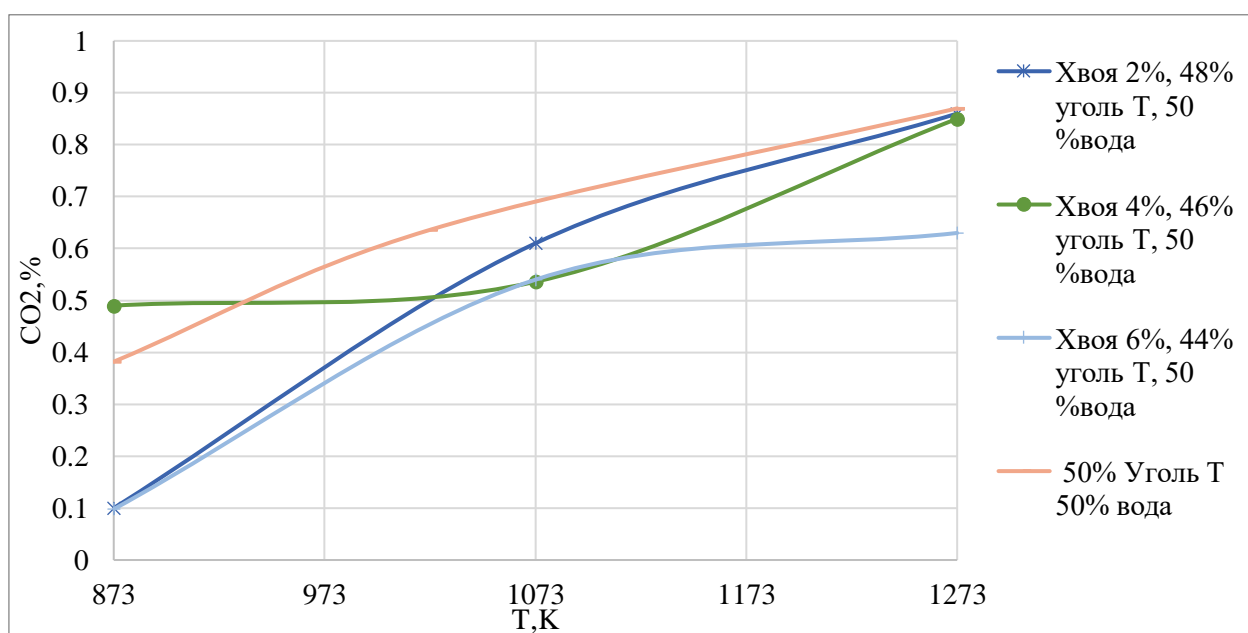


Рисунок 22 - Зависимость содержания в смеси углекислого газа от температуры для ВУТ с добавлением хвои лиственницы

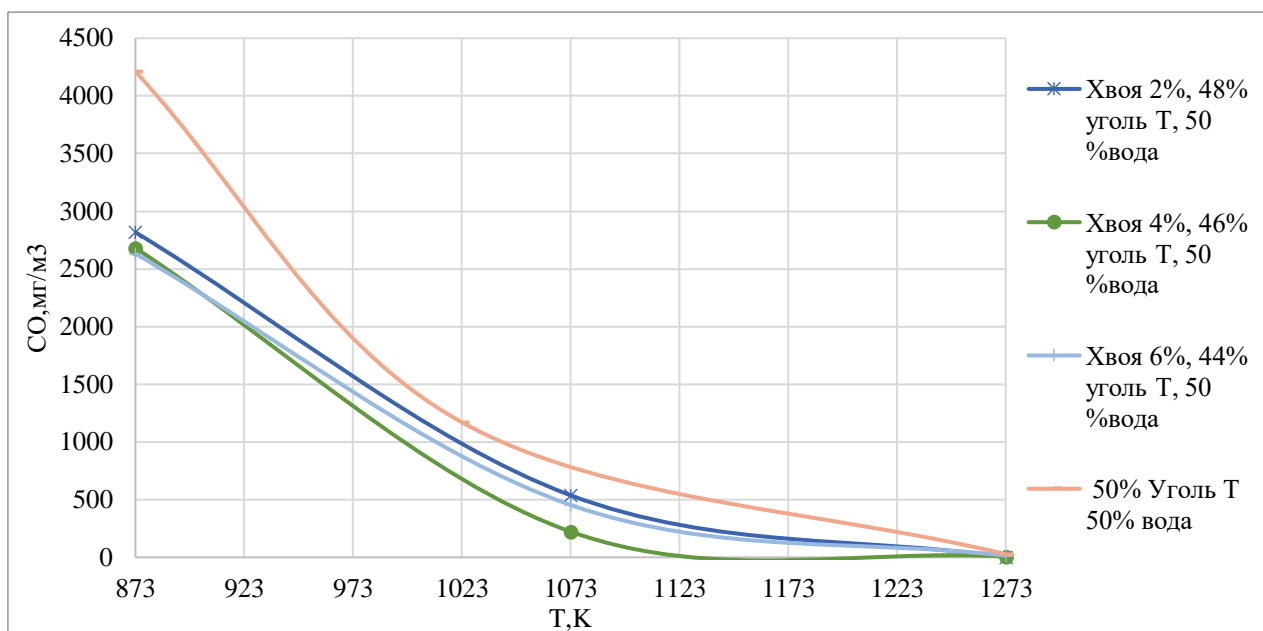


Рисунок 23 - Зависимость содержания в смеси угарного газа от температуры для ВУТ с добавлением хвои лиственницы

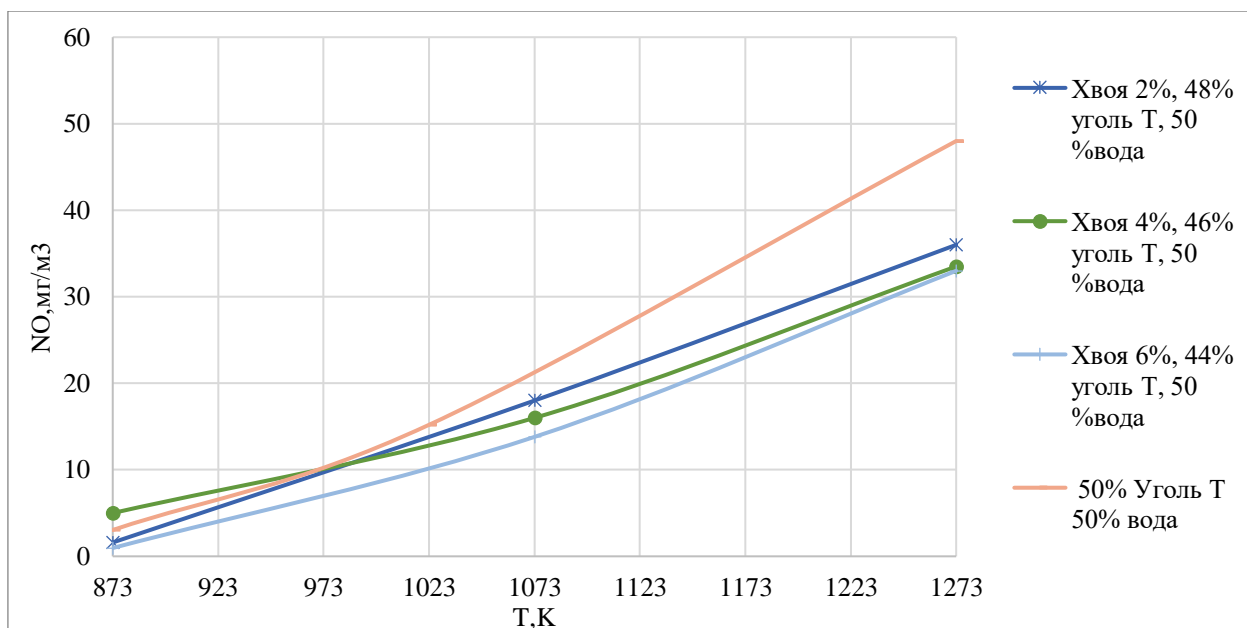


Рисунок 24 - Зависимость содержания в смеси оксида азота от температуры для ВУТ с добавлением хвои лиственницы

Также, как и для ВУТ с добавлением опилок, у водоугольного топлива с добавлением хвои лиственницы при увеличении концентрации биомассы снижаются выбросы исследуемых газов по сравнению с чистым ВУТ.

Далее на рисунках 25-27 представлены зависимости концентрации исследуемых антропогенных газов для ВУТ с добавлением 4% опилок лиственницы и ВУТ с добавлением 4% хвои лиственницы от температуры.

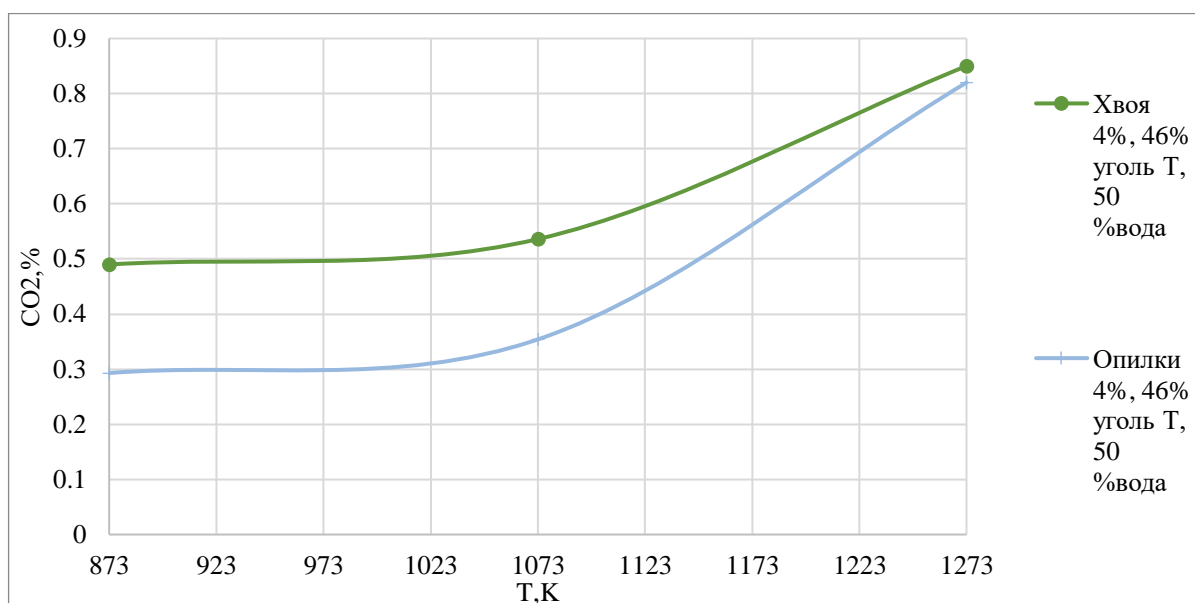


Рисунок 25 - Зависимость содержания в смеси углекислого газа от температуры для ВУТ с добавлением хвои и опилок лиственницы

На рисунке 25 видно, что концентрация углекислого газа ВУТ с добавлением хвои больше, чем у ВУТ с добавлением опилок потому, что у хвои, в сравнении с опилками, содержание углерода больше.

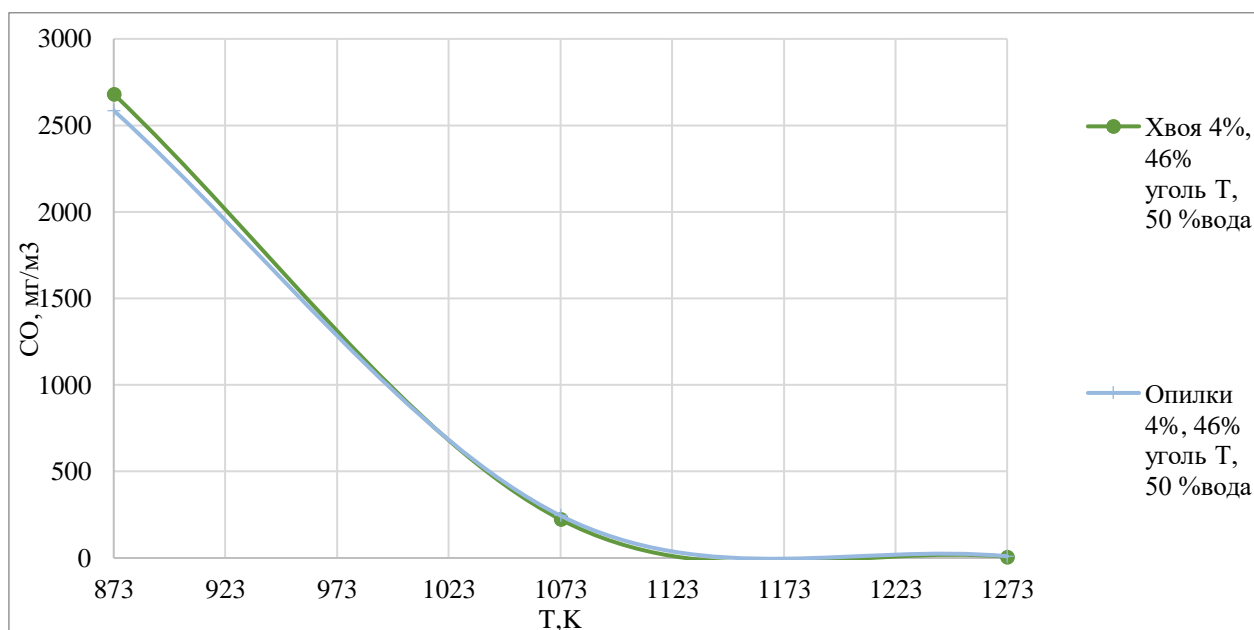


Рисунок 26 - Зависимость содержания в смеси угарного газа от температуры для ВУТ с добавлением хвои и опилок лиственницы

На рисунках 25-26 видно, что количество угарного газа для ВУТ с добавлением опилок и ВУТ с добавлением хвои практически одинаково.

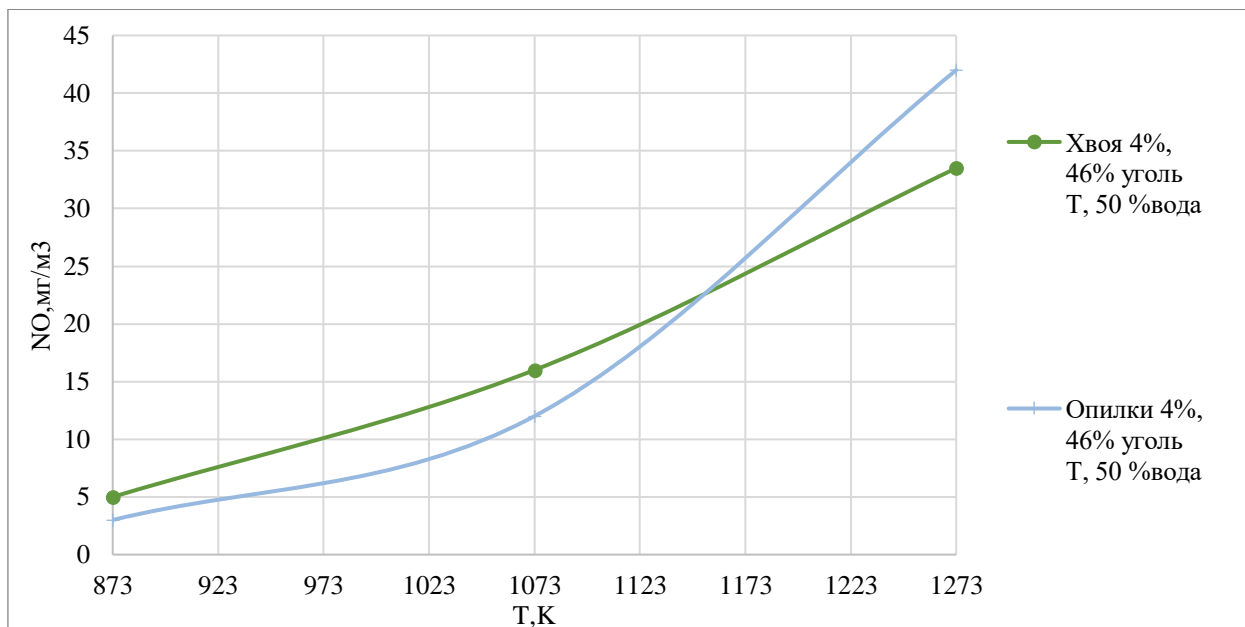


Рисунок 27 - Зависимость содержания в смеси оксида азота от температуры для ВУТ с добавлением хвои и опилок лиственницы

На рисунке 27 видно, что количество оксида азота образующихся при температурах до 873К больше у хвои лиственницы, однако при температуре 1273К концентрация NO у опилок больше чем у хвои. Это связано с тем, что у хвои внутритопливного азота больше. Однако при температурах свыше 1273К азот, содержащийся в воздухе начинает вступать в реакцию с кислородом [16], а так как теплота сгорания у опилок больше, чем у хвои, то и температура пламени у опилок выше.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ14	Тамашевич Максим Сергеевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Научно-образовательный центр И.Н. Бугакова
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/ООП/ОПОП</b>	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника/Технологии сжижения природного газа и промышленная теплотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 20%;
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды : для руководителя и инженера – 30,2%.

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

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

**Перечень графического материала:**

1. Карта сегментирования
2. FAST - анализ,
3. План-график реализации проекта

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	01.03.2023
--	------------

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ14	Тамашевич Максим Сергеевич		



## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела является анализ конкурентоспособности технологии по применению водоугольного топлива в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), социальной и экономической эффективности проекта.

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом исследования является процесс сжигания водоугольного топлива. Потенциальными потребителями исследования могут выступать предприятия, сжигающие уголь или мазут для получения тепловой или электрической энергии (ТЭС и различные котельные). Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 5.

Таблица 4 – Карта сегментирования

		Сфера использования	
		ТЭС	Котельные
Размер организации	Крупные	+	+
	Средние	+	+
	Мелкие	+	+

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят и крупные, и средние, и мелкие ТЭС и котельные.

## **4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [22].

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, в которых в качестве топлива будут выступать уголь, мазут и ВУТ:

### **1) Сжигание угля:**

Уголь является самым распространенным видом топливом, сжигаемом на ТЭС т.к. у него относительно высокая теплота сгорания, а также низкая стоимость.

### **2) Сжигание мазута**

Мазут является одним из продуктов переработки нефти. Использование мазута в качестве топлива на ТЭС обладает рядом преимуществ: высокая плотность, возможность смешивать мазут с биотопливом.

### **3) Сжигание водоугольного топлива**

ВУТ представляет суспензию на основе воды и измельченного угля или горючего угольного отхода, а также небольшого количества химических добавок (пластификаторов, стабилизаторов). Преимуществами данного топлива являются: низкая себестоимость и относительная экологичность.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 6. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 12.

Таблица 5 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Эффективность горения	0,2	4	5	3	0,8	1	0,6
2. Простота эксплуатации	0,05	4	3	5	0,8	0,6	1
3. Безопасность	0,1	3	3	5	0,6	0,6	1
4. Экологичность	0,15	3	3	5	0,6	0,6	1
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,25	5	2	4	1	0,4	0,8
2. Цена	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
3. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	3	1	1	0,6	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>4,05</b>	<b>3,15</b>	<b>4,15</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

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

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + \\ + 0,05 \cdot 5 = 4,05.$$

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что топливо под номером 3 является наиболее конкурентоспособным и выгодным.

### **4.3 FAST-анализ**

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

**Стадия 1.** Выбор объекта FAST-анализа.

Объектом FAST-анализа в данном исследовании является процесс горения водоугольного топлива.

**Стадия 2.** Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

В таблице 6 указана классификация функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 6 – Классификация функций, выполняемых объектом

исследования

Наименование детали	Количество изделий	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Водоугольное топливо	–	Сгорает в печи, выделяя теплоту	X		
Муфельная печь	1	Обеспечивает необходимую температуру для горения ВУТ		X	
Штатив	1	Служит для закрепления топлива на нужной высоте			X
Высокоскоростная камера	1	Фиксирует время задержки зажигания ВУТ			X
Газоанализатор	1	Анализирует состав выходящих дымовых газов			X

**Стадия 3.** Определение значимости выполняемых функций объектом.

Таблица 7 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5
Функция 1	=	<	>	>	>
Функция 2	>	=	>	>	>
Функция 3	<	<	=	<	<
Функция 4	<	<	>	=	=
Функция 5	<	<	>	=	=

Таблица 8 – Матрица количественных соотношений

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	ИТОГО
Функция 1	1	0,5	1,5	1,5	1,5	6
Функция 2	1,5	1	1,5	1,5	1,5	7

Продолжение таблицы 8

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	ИТОГО
Функция 3	0,5	0,5	1	0,5	0,5	3
Функция 4	0,5	0,5	1,5	1	1	4,5
Функция 5	0,5	0,5	1,5	1	1	4,5
<i>Примечание: 0,5 при «&lt;»; 1,5 при «&gt;»; 1 при «=»</i>						$\Sigma=25$

Значимость функций:

Для функции 1 относительная значимость равна  $6/25 = 0,24$ ; для функции 2 –  $7/25 = 0,28$ ; для функции 3 –  $0,12$ ; для функции 4 –  $0,18$  и для функции 5 –  $0,18$ .

**Стадия 4.** Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 9 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество изделий	Выполняемая функция	Трудоемкость изделия, нормоч	Стоимость изделия, тыс.руб	Заработная плата, тыс.руб	Себестоимость, тыс.руб
Водоугольное топливо	–	Сгорает в печи, выделяя теплоту	0,5	0,5	0,5	1
Муфельная печь	1	Обеспечивает необходимую температуру для горения ВУТ	30	3000	50	3050
Штатив	1	Служит для закрепления топлива на нужной высоте	0,1	5	0,2	5,2

Высокоскоростная камера	1	Фиксирует время задержки зажигания ВУТ	40	3500	60	3560
-------------------------	---	--	----	------	----	------

Продолжение таблицы 9

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Трудоемкость изделия, норм-ч	Стоимость изделия тыс.руб.	Заработная плата, тыс.руб.	Себестоимость, тыс.руб.
Газоанализатор	1	Анализирует состав выходящих дымовых газов	10	800	40	840
Итого	4	–	80,6	7305,5	150,7	8296,2

Количественная значимость функций:

Для функции 1 и 3 количественная значимость бесконечно мала по сравнению с остальными функциями, поэтому для удобства построения следующих диаграмм примем их значимость = 0. Для функции 2 значимость = 0,368, для 4 функции = 0,43 и для 5 функции 0,202

**Стадия 5.** Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

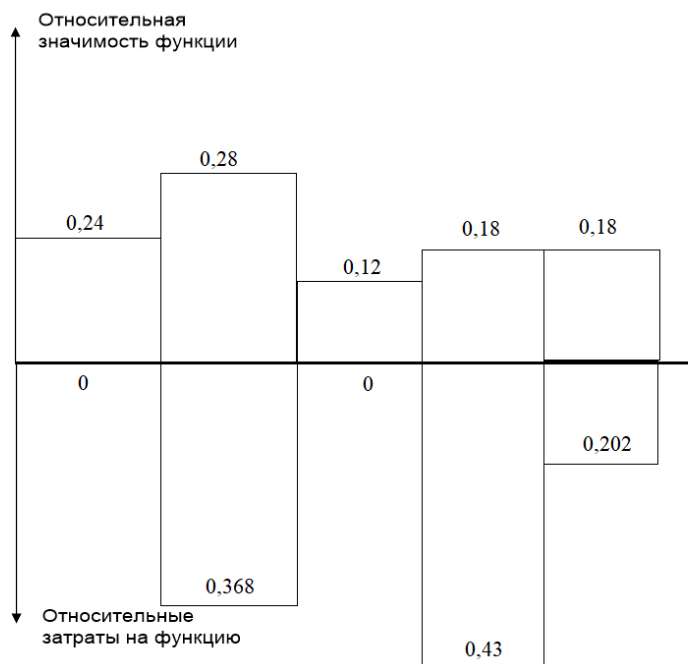


Рисунок 28 - Функционально-стоимостная диаграмма

**Стадия 6.** Оптимизация функций выполняемых объектом.

Для оптимизации процесса проведения исследований по сжиганию ВУТ можно установить более дешевый аналог муфельной печи или более дешевую камеру для фиксации процесса зажигания. Также необходимо постоянно прочищать фильтры газоанализатора, для того, чтобы не забивать его датчики.

#### 4.4 План проекта

В плане работ (таблица 6) отражен список необходимых работ для проведения исследования, количество исполнителей и длительность каждой работы.

Таблица 10 – План проведения работ

№	Наименование работы	Длительность t, дни	Количество исполнителей
1	Выдача технического задания	1	1
2	Составление плана работ	2	2
3	Аналитический обзор литературы	10	2
4	Разработка и сбор экспериментального стенда	30	2
5	Проведение экспериментальных исследований	14	2
6	Анализ полученных данных	7	1
<b>Фин. ответственность</b>			
7	FAST-анализ	3	1
8	Экспертная оценка	2	1
9	Календарный план	2	1
10	Расчет стоимости	2	1
11	Показатели ресурсоэффективности	2	1
<b>Соц. ответственность</b>			
12	Производственная и экологическая безопасность	6	1
13	Безопасность при чрезвычайных ситуациях	2	1
14	Оформление	3	1



Ожидаемая продолжительность работ оценивается с помощью опытно-статистического метода. Для расчета ожидаемой продолжительности работ воспользуемся экспертным способом, для этого воспользуемся следующей формулой:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}, \quad (7.1)$$

где  $t_{\text{min}}$  – минимальное значение продолжительности работ, дн.;

$t_{\text{max}}$  – максимальное значение продолжительности работ, дн.

Расчет длительности в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (7.2)$$

где  $t_{\text{ож}}$  – вероятное (ожидаемое) значение продолжительности работ, дн.;

$K_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающих влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, принимаем равным 1;

$K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных издержек и согласование работ, принимаем равным 1.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле [26]:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (7.3)$$

где  $T_{\text{к}}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}, \quad (7.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни (365);

$$T_k = \frac{365}{365-66} = 1,22.$$

Таблица 11 – Диаграмма Ганта

Номер этапа	Этап работы	Исполнители	T <sub>кд</sub>	Продолжительность выполнения работ										
				Февраль			Март			Апрель			Май	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выдача технического задания	НР	1											
2	Анализ литературы	НР	2											
		И	8											
3	Разработка и сбор экспериментального стенда	И	10											
		И	20											
4	Проведение экспериментальных исследований	НР	4											
		И	10											
5	Анализ полученных результатов	НР	3											
		И	4											
6	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	И	11											
7	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	И	8											
8	Оформление пояснительной записки ВКР	И	3											

Итого: научный руководитель – 10 дней, инженер – 74 дня.

#### 4.5 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В данном случае смета проекта отражает издержки на выполнение научно-исследовательской работы.

##### Амортизация оборудования

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{об}}}{T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{сл}}}, \quad (6)$$

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

##### Амортизация муфельной печи

$$K_{\text{ам.тп.}} = \frac{110 \cdot 3000000}{365 \cdot 10} = 90\,411 \text{ руб./год.}$$

##### Амортизация высокоскоростной камеры

$$K_{\text{ам.тп.}} = \frac{110 \cdot 3500000}{365 \cdot 8} = 131\,850 \text{ руб./год.}$$

##### Амортизация газоанализатора

$$K_{\text{ам.тп.}} = \frac{110 \cdot 800000}{365 \cdot 6} = 40\,182 \text{ руб./год}$$

Таблица 12 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Стоимость, руб.	Амортизация, руб.
Муфельная печь	3 000 000	90 411
Газоанализатор	800 000	40182
Высокоскоростная камера	3 500 000	131850
Итого	7 300 000	222 265

##### Количество потребленной электроэнергии

$$\mathcal{E} = N \cdot t = 700 \cdot 600 = 420 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $N$  – мощность оборудования (700 Вт);

$t$  – время работы оборудования (ч)

Тогда стоимость электроэнергии при тарифе 3,5 руб за кВт · ч, составляет

$$\mathcal{Z}_3 = 3,5 \cdot 420 = 1470 \text{ руб.}$$

Далее рассчитаем основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [23]:

$$\mathcal{Z}_{\text{зп}} = \mathcal{Z}_{\text{осн}} + \mathcal{Z}_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где  $\mathcal{Z}_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;  $\mathcal{Z}_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20% от  $\mathcal{Z}_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $\mathcal{Z}_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [23]:

$$\mathcal{Z}_{\text{осн}} = \mathcal{Z}_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (8)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [23]:

$$\mathcal{Z}_{\text{дн}} = \frac{\mathcal{Z}_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

где  $\mathcal{Z}_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня  $M=11,1$  месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная рабочая неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника [23]:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (10)$$

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

Месячный должностной оклад сотрудников:

$$Z_M^{рук} = Z_{TC}^{рук} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 39\,300 \cdot 1,3 = 51090 \text{ руб.},$$

$$Z_M^и = Z_{TC}^и \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16\,300 \cdot 1,3 = 21190 \text{ руб.},$$

Среднедневная заработная плата сотрудников:

$$Z_{дн}^{рук} = \frac{Z_M^{рук} \cdot M}{F_d} = \frac{51090 \cdot 10,1}{243} = 2123 \text{ руб.},$$

$$Z_{дн}^с = \frac{Z_M^и \cdot M}{F_d} = \frac{21190 \cdot 10,1}{243} = 881 \text{ руб.},$$

Основная заработная плата сотрудников:

$$Z_{осн}^{рук} = Z_{дн}^{рук} \cdot T_p = 2123 \cdot 8 = 16984 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн}^и = Z_{дн}^и \cdot T_p = 881 \cdot 44 = 38764 \text{ руб.},$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{TC}$ , руб.	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный Руководитель	39300	1,3	51090	2123	10	21230
Исполнитель	16300	1,3	21190	881	74	65194

Далее необходимо рассчитать дополнительную заработную плату исполнителей темы. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [23].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [23]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (11)$$

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

$$Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} = 0,12 \cdot 21230 = 2548 \text{ руб,}$$

$$Z_{\text{доп}}^{\text{и}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{и}} = 0,12 \cdot 65194 = 7824 \text{ руб,}$$

Расчет отчислений во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [23].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [23]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году коэффициент отчислений составил 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды сотрудников:

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} + Z_{\text{доп}}^{\text{рук}}) = 0,302 \cdot (21230 + 2548) = 7181 \text{ руб,}$$

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{и}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{и}} + Z_{\text{доп}}^{\text{и}}) = 0,302 \cdot (65194 + 7824) = 22\,051 \text{ руб}$$

## Услуги сторонних организаций

Оплата услуги, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [23].

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

$$Z_{\text{контр}} = 950 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 16% от суммы всех затрат

$$Z_{\text{накл}} = 350713 \cdot 0,16 = 56\,114 \text{ руб.}$$

Итоговый бюджет затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Амортизационные отчисления	222 265
2. Затраты на электроэнергию	1470
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	86424
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10372
5. Отчисления во внебюджетные фонды	29232
6. Услуги сторонних организаций	950
7. Накладные расходы	56114
8. Бюджет затрат НИИ	406827 руб.

## 4.6 Сравнительная оценка эффективности исследования

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (7.10)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для проведения сравнительной оценки рассмотрим три варианта эффективного сжигания угля на ТЭС и котельных:

- Сжигание в вихревой камере – исп. 1;
- Сжигание в слоевой топке (конкурирующий проект) - исп. 2;
- Сжигание в камерной топке (конкурирующий проект) – исп. 3.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 16

Таблица 16– Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп. 2	Исп. 3
1.Снижение содержания токсичных оксидов азота и серы в выходящих дымовых газах	0,35	5	2	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителям)	0,25	5	4	4
3. Материалоемкость	0,2	5	3	3
4. Надежность	0,1	3	5	4
5. Энергосбережение	0,1	2	4	4
Итого:	1,00	4,5	3,2	3,45

Пример расчета для 1ого интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 = 4,5.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта 1 имеет максимальное значение (по 5–бальной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.



## **Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В данном разделе оценены экономические аспекты исследуемого подхода к сжиганию водоугольного топлива:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка может быть применена на ТЭС и котельных.
2. Проведен анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
3. Проведен FAST-анализ для оценки затрат, связанных с исследованием ВУТ.
4. Составлена диаграмма Ганта
5. Рассчитан бюджет научно-технического исследования
6. Проведена сравнительная оценка эффективности проекта

В итоге исследование экономически оправдано и выгодно т.к. разработка снижает стоимость затрат на очистку дымовых газов.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ14	Тамашевич Максим Сергеевич

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Особенности сжигания угля в составе водоугольной суспензии**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объект исследования: водоугольное топливо.  
Область применения: использование водоугольного топлива, как альтернативы углю и мазуту, при сжигании в топках котлов на ТЭС.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

**1. Производственная безопасность**

1.1. Анализ выявленных вредных факторов

- Природа воздействия
- Действие на организм человека
- Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов)
- СЗ коллективные и индивидуальные

1.2. Анализ выявленных опасных факторов :

- Термические источники опасности
- Электробезопасность
- Пожаробезопасности

1. Вредные факторы:

- 1.1 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;
  - 1.2 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;
  - 1.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;
  - 1.4 Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;
  - 1.5 Недостаточная освещенность. Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ;
2. Опасные факторы:
- 2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R<sub>заземления</sub>, СКЗ, СИЗ;

	2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
<b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Выбросы в окружающую среду</li> <li>Решения по обеспечению экологической безопасности</li> </ul>	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>  1.перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 2.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3.разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
<b>4. Перечень нормативно-технической документации.</b>	– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2023 г.
--	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		01.03.2023 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Тамашевич Максим Сергеевич		01.03.2023 г.

Тамашевич Максим Сергеевич <mst15@tpu.ru>

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение :**

Социальная ответственность - ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В ходе данной работы проводились экспериментальные исследования по сжиганию водоугольного топлива в муфельной печи. Работа выполнялась в лабораторной аудитории №18 4 корпуса НИТПУ. Все работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

### **5.1 Производственная безопасность**

#### **5.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 1 и 2

Общая площадь рабочего помещения составляет  $36 \text{ м}^2$ , объем составляет  $144 \text{ м}^3$ . По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют  $6,5 \text{ м}^2$  и  $20 \text{ м}^3$  объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется вынужденная вентиляция посредством наличия отдельного вытяжного вентилятора, который забирает воздух из помещения, а приток воздуха осуществляется за счет естественной вентиляции, а точнее при помощи окна. Основным недостатком - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м<sup>3</sup>[1]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 72 м<sup>3</sup>, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [2]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [3].

### **5.1.2 Превышение уровней шума**

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается вентиляционным и рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [4].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

1. устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов, например любой пористый материал – шамотный кирпич, микропористая резина, поролон и др.);
3. применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

1. применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

### **5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ, газоанализатор, а также высокоскоростная камера. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [1]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [1].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП

характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) облучения (по ОСТ 54 30013-83):

а) до 10 мкВт/см<sup>2</sup> , время работы (8 часов);

б) от 10 до 100 мкВт/см<sup>2</sup> , время работы не более 2 часов;

в) от 100 до 1000 мкВт/см<sup>2</sup> , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;

г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см<sup>2</sup>.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

**СКЗ**

1. защита временем;

2. защита расстоянием;

3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;

4. заземление экрана вокруг источника;

5. защита рабочего места от излучения;

**СИЗ**

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO<sub>2</sub>).

**5.1.4 Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;**

Нормативы распространяются на рабочие места, независимо от их расположения (в производственных помещениях, в горных выработках, на открытых площадках, транспортных средствах и т.п.).

Нормативы используются при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования и вентиляции, для обеспечения производственного контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих вредных химических веществ.

Нормативы установлены на основании комплексных токсиколого-гигиенических и эпидемиологических исследований с учетом международного опыта.

В данном исследовании используется водоугольное топливо, которое при сжигании образует дымовые газы. Основными вредными веществами являются бенз(а)пирен ПДК=0,1 мг/м<sup>3</sup>, диоксид азота NO<sub>2</sub> ПДК=0,2 мг/м<sup>3</sup>, диоксид серы SO<sub>2</sub> ПДК=0,5 мг/м<sup>3</sup>, зола ПДК=0,5 мг/м<sup>3</sup>, а также угарный газ СО ПДК=5 мг/м<sup>3</sup>.

СКЗ:

Для удаления дымовых газов в аудитории предусмотрена вытяжная вентиляция.

СИЗ:

Необходимо применять респираторы с абсорбционной приставкой.

#### **5.1.5 Недостаточная освещенность**

Для обеспечения требуемой освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, создаваемое сочетанием естественного и искусственного освещения. При данном этапе развития осветительной техники целесообразно использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют большую светоотдачу на ватт потребляемой мощности и более естественный спектр.

Минимальный уровень средней освещенности на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должен быть не менее 200 лк.

В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы:

- выбор системы освещения;
- выбор источников света;



- выбор светильников и их размещение;
- выбор нормируемой освещённости;
- расчёт освещения методом светового потока.

В данном расчётном задании для всех помещений рассчитывается общее равномерное освещение.

Таблица 17. Параметры помещения.

Параметр	Обозначение	Значение, м
Длина	A	6
Ширина	B	6
Высота помещения	H	4

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{рас}} = E_{\text{н}} * S * K_{\text{з}} * Z/N * \eta \quad (1.5.1)$$

Где  $E_{\text{н}}$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;  $S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $K_{\text{з}}$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли (табл. 4.9);  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;  $N$  – число ламп в помещении;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над

рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A + B) \quad (1.5.2)$$

Проведем расчет индекса помещения:

Площадь помещения :

$$S = A * B = 6 * 6 = 36 \text{ м}^2$$

Индекс:

$$i = \frac{S}{h * (A + B)} = \frac{36}{2,8 * (6 + 6)} = 1,1$$

Согласно этим данным коэффициент использования светового потока будет равен 46 %.

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно (табл. 4.10) [БЖД Практикум 2009-2020].

Согласно указанной методике выбираем тип источника света.

Наиболее подходящим вариантом является 40 ваттная лампа ЛБ, у которой  $\Phi=2800$  лм. Для выбранного типа лампы подходит светильник ОД-2-40 с размерами: длина = 1230 мм, ширина = 266 мм.

Из уравнения 1.5.1 находим количество ламп для помещения

$$N = E_H * S * K_3 * Z / \Phi * \eta = 200 * 36 * 1,3 * 1,1 / 2800 * 0,46 = 8;$$

Принимаем  $N=8$  лампы или 4 светильника.

Размещаем светильники в 2 ряда по 2 светильника в ряду с соблюдением условий:  $L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами.

$L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами

$l$  – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

Сначала определим световой поток расчетный.

$$\Phi = E_H * S * K_3 * Z / * \eta = 200 * 36 * 1,3 * 1,1 / 8 * 0,46 = 2798 \text{ лм};$$

Проведем проверку выполнения условия соответствия:

$$- 10\% \leq ((\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{станд}}) / \Phi_{\text{расч}}) * 100\% \leq + 20\%$$

Подставляя численные значения получаем:

$$- 10\% \leq (2800 - 2798) / 2798 * 100\% \leq + 20\%$$

$$- 10\% \leq 0,07\% \leq + 20\%$$

Результат расчета укладывается в допустимые пределы.

Определим мощность осветительной установки:

$$P = N * P_i = 8 * 40 \text{ Вт} = 320 \text{ Вт}.$$

Теперь определим расстояния между светильниками по длине и ширине помещения.

$$6000 = LA + 2 * 1230 + 2/3 * LA;$$

$$L = (6000 - 2460) * 3/5 = 2124 \text{ мм};$$

$$LA/3 = 708 \text{ мм};$$

$$6000 = LB + 2 * 266 + 2/3 * LB; LB = (6000 - 522) * 3/5 = 3287 \text{ мм};$$

$$LB / 3 = 1096 \text{ мм}.$$

Рисуем схему размещения светильников на потолке для обеспечения общего равномерного освещения.

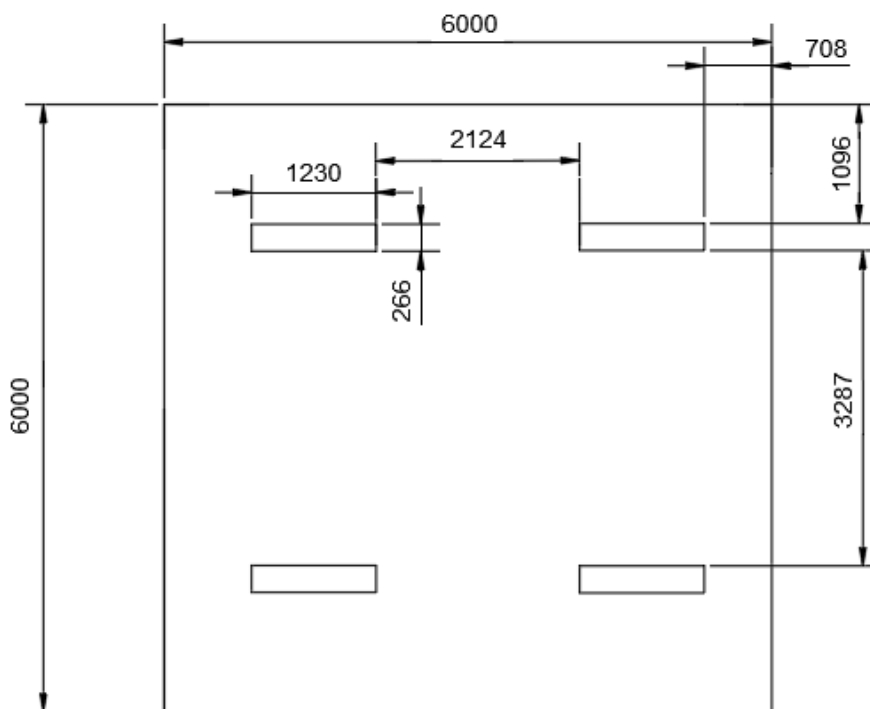


Рисунок 29 План размещения светильников на потолке.

### 5.3 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы $I$ , $U$ , $R_{\text{заземления}}$ , СКЗ, СИЗ;

#### 5.3.1 Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного прикосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [6].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются:  $I < 0,1$  А;  $U < (2-36)$  В;  $R_{\text{зазем}} < 4$  Ом.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. — защитное заземление, зануление;

2. — малое напряжение;
3. — электрическое разделение сетей;
4. — защитное отключение;
5. — изоляция токоведущих частей;
6. — оградительные устройства.

7. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

СИЗ:

1. Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

**5.4 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.**

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лабораторная аудитория относится к категории В— горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНИП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

2. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений дымовых газов.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 30, порошковых огнетушителей с

поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

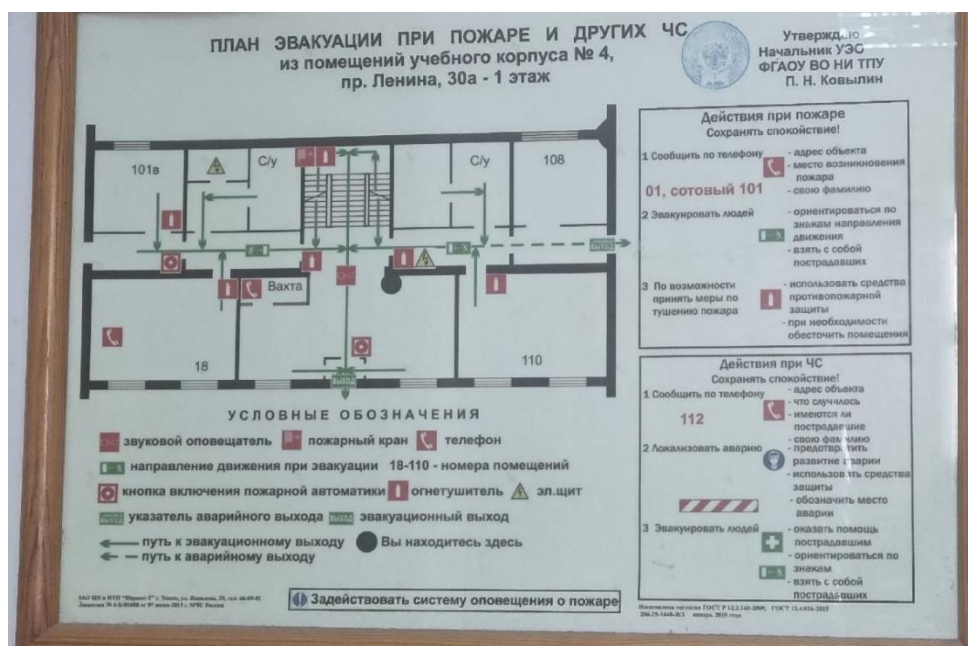


Рисунок 30 – План эвакуации первого этажа учебного корпуса № 4  
НИТПУ

## 5.5 Экологическая безопасность

Черновики, в которых содержится важная информация (результаты экспериментов, неопубликованные статьи и т.п.), должны быть утилизированы при помощи специальных shredders для бумаги.

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;
- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
- копир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

Люминесцентные лампы утилизируют следующим образом. Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. После накопления ламп объемом в 1 транспортную единицу их сдают на переработку на соответствующее предприятие. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами

## **5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.



Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектрогенераторы; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лабораторной аудитории №18 4 корпуса НИТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

## Перечень НТД

1. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
10. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.  
ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
11. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
12. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
13. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
14. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

## Заключение

В результате анализа экспериментальных данных были получены времена задержки зажигания и содержание выходящих дымовых газов при сжигании водоугольных топлив, выполненных из различных углей. Также в качестве ускоряющей процесс зажигания добавки сравнивались опилки и хвоя лиственницы.

При анализе экспериментальных данных по временам задержки зажигания водоугольных топлив были получены следующие результаты:

- Содержание летучих в топливе напрямую связано с временами задержки зажигания. Чем выше количество летучих газов в топливе, тем выше скорость его зажигания
- Рост содержания биомассы в топливе ведет к снижению времен задержки зажигания. Это связано с тем, что температура зажигания опилок и хвои значительно ниже таковой температуры у угля, следовательно, добавление их в состав ВУТ также приводит к снижению температуры воспламенения последнего.

После газового анализа выходящих дымовых газов были сделаны следующие выводы:

- При росте температуры концентрация углекислого газа растет, а концентрация угарного газа падает. Это связано с тем, что с ростом температуры угарный газ догорает до углекислого газа ( $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ ), т.к. температура горения угарного газа составляет  $810^\circ\text{C}$ .
- Максимальный выброс угарного и углекислого газа наблюдался у ВУТ с добавлением угля Т из-за высокого содержания углерода в его составе.
- С ростом температуры увеличивалась концентрация оксида азота. Такой рост концентрации обусловлен тем, что при высоких температурах азот, содержащийся в воздухе, начинает взаимодействовать с кислородом ( $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ ).

- При добавлении древесной биомассы в состав водоугольного топлива количество антропогенных газов падало.

Полученные экспериментальные данные помогут разработать единую математическую модель горения водоугольных и биоводоугольных топлив. В будущем технология применения ВУТ и БиоВУТ позволит снизить выходящую концентрацию оксидов серы и азота, а также позволит эффективно использовать неперерабатываемые опилки.

## Список использованных источников

1. Уголь России и мира: производство, потребление, экспорт, импорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.test.mining-portal.ru/publish/ugol-rossii-i-mira--proizvodstvo--potreblenie--eksport--import/>
2. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году [https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups\\_rep2019.pdf](https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf)
3. Альтернативные виды энергии: плюсы и минусы <https://susanin.news/articles/alternativnye-vidy-energii-plyusy-i-minusy/?ysclid=lhs15imfux203571125>
4. Альтернативная энергетика и экология: виды и пути развития <https://bezotxodov.ru/jenergoberezhenie/alternativnaja-jenergetika>
5. Плюсы и минусы атомной энергетики [http://amti.esrae.ru/pdf/2017/1\(1\)/77.pdf](http://amti.esrae.ru/pdf/2017/1(1)/77.pdf)
6. Область применения мазута <https://www.trader-oil.ru/informatsiya/mazut-info/sfery-i-vozmozhnosti-primeneni/?ysclid=lhs2unba7w748615937>
7. Уголь vs газ в электроэнергетике [https://energy.hse.ru/data/2019/01/21/1147526543/02-10\\_Energy%209-2018\\_Afanasiev%201%20\(3\).pdf](https://energy.hse.ru/data/2019/01/21/1147526543/02-10_Energy%209-2018_Afanasiev%201%20(3).pdf)
8. Кноема 2017. BP: World Reserves of Fossil Fuels. <https://ru.knoema.com/smsfgud/bp-world-reserves-of-fossil-fuels>
9. Coal Information 2012. Luxembourg: International Energy Agency, 2012. 566 p. <http://www.iea.org>
10. Саломатов В.В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электростанциях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 853 с.
11. Hanjalic K., Lekic A., Krol R. Sustainable Energy Technologies: Options and Prospects. Springer, 2008. 336p.
12. Делягин Г.Н. Экологически чистое топливо ЭКОВУТ – путь резкого улучшения экологической ситуации в энергетике России.// Материалы

международной научно-практической конференции «Экология энергетики 2000». - МЭИ 2000.Г – с.320 – 323.

13. Классификация вредных веществ по степени опасности и функциональному воздействию на организм человека [Электронный ресурс].

– Режим доступа: <http://woodroads.ru/sanitariya-i-gigiena-truda/146-klassifikaciapovozdeistviy.html>

14. Мулерт Ф., Сера в угле / Ф. Мулерт; пер. с нем. М.В. Гумилевой; под ред. Н.М. Караваева.- М.; Л.: Госхимтехиздат, 1932. - 129с.

15. Диоксид серы и его влияние на человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [cscb.su/n/040201/040201005.htm](http://cscb.su/n/040201/040201005.htm)

16. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатных котельных /Л.И. Бондалетова, В.Т. Новиков, Н.А. Алексеев. - Томск: Изд. ТПУ, 2000. - 39 с.

17. Бензпирен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BD>

18. Белов, А.А. Гидравлическое транспортирование обводненного топлива в виде водоугольной суспензии / А.А. Белов // Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий. – М.: Наука, 1967. – С. 103–111.

19. Szekely, G.A. Reaction of carbon black slurry agglomerates in combustion gases / G.A. Szekely, G.M. Faeth // Proceedings of the Nineteenth Symposium (International) on Combustion. – 1982. – V. 19, № 1. – P. 1077–1085.

20. Берг, Б.В. Тепло- и массоперенос в топках с кипящим слоем при сжигании водоугольной смеси / Б.В. Берг, Т.Ф. Богатова // Инженерно-физический журнал. – 1996. – Т.69, № 6. – С. 993–999.

21. Atal, A. Combustion of CWF agglomerates from pulverized or micronized bituminous coal, carbon black, and diesel soot / A. Atal, Y.A. Levendis // Combustion and Flame. – 1994. – V. 98, № 4. – P. 326–342.

22. Современные подходы к использованию водоугольного топлива / О.О. Архипкин, А.Г. Морозов // Экологический вестник России–2011. – С. 21–25.
23. Глушков, Д.О. Органоводоугольное топливо: проблемы и достижения (обзор) / Д.О. Глушков, П.А. Стрижак, М.Ю. Чернецкий // Теплоэнергетика.– 2016. – № 10. – С. 31–41.
24. Ходаков, Г.С. Водоугольные суспензии в энергетике / Г.С. Ходаков // Теплоэнергетика. – 2007. – № 1. – С. 35–45.
25. Burdukov, A.P. The rheodynamics and combustion of coal-water mixtures / A.P. Burdukov, V.I. Popov, V.G. Tomilov, V.D. Fedosenko // Fuel. – 2002. – V. 81, № 7. – P. 927–933.
26. Cheng, J. Effects of pore fractal structures of ultrafine coal water slurries on rheological behaviors and combustion dynamics / J. Cheng, J. Zhou, Y. Li, J. Liu, K. Cen // Fuel. – 2008. – V. 87, № 12. – P. 2620–2627.
27. Law, C.K. Combustion characteristics of droplets of coal/oil and coal/oil/water mixtures / C.K. Law, H.K. Law, C.H. Lee // Energy. – 1979. –V. 4. – P. 329–339.
28. Murdoch, P.L., Pourkashanian M., Williams A. The mechanism of combustion of coal-water slurries / P.L. Murdoch, M. Pourkashanian, A. Williams // 20th International Symposium on Combustion. – 1985. – V. 20, № 1. – P. 1409–1418.
29. Glushkov, D.O. Mathematical simulation of the ignition of coal particles in airflow / D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Solid Fuel Chemistry. – 2015. – V. 49, № 2. – P. 73–79.
30. Glushkov, D.O. Low-temperature ignition of coal particles in an airflow / D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Russian Journal of Physical Chemistry. – 2015. – V. 9, № 2. – P. 242–249
31. Вершинина К.Ю., Низкотемпературное зажигание отходов переработки угля в виде органоводоугольных топливных композиций / рукопись – Томск 2016. С. 19–22

32. Овчинников Ю.В., Бойко Е.Е. Оценка методов сжигания волоугольного топлива – искусственного композиционного жидкого топлива и предложения по разработке технологии сжигания// Проблемы тепло и энергосбережения – 2014. – С. 312–314

33. Коломиец П.В. Топливо// Учебное пособие – Тольятти – 2011. – С. 35–37

34. Рукин, Э.И. Исследование свойств водоугольных суспензий из каменных углей в присутствии поверхностно-активных веществ / Рукин Э.И., Горская Т.П., Делягин Г.Н., Исаев В.В. // Химия и переработка топлив. – 1975. – Т.30, вып.2. – С. 19–26.

35. Малышев Д.Ю., Сыродой С.В., Обоснование ресурсоэффективности технологий сжигания водоугольных топлив с добавками биомассы// Известия Томского политехнического университета. – 2020 – С. 75-85

36. Отходы в деревообрабатывающей промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.ppt-online.org/112321>

37. М.А. Дмитриенко, Г.С. Няшина, Н.Е. Шлегель, С.А. Шевырев Снижение антропогенных выбросов при сжигании углей и отходов их переработки в качестве компонентов органоводоугольных суспензий// Известия Томского политехнического университета. – 2017 – С. 41-52

38. Выход летучих веществ каменного угля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/svoystva-i-harakteristiki-kamennogo-uglya/vyihod-letuchih-veshhestv-kamennogo-uglya/>

39. Планетарная мономельница PULVERISETTE 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fritsch.com.ru/podgotovka-prob/izmelchenie/planetarnye-melnicy/detali/produkty/pulverisette-6-classic-line/>

40. Вибрационный грохот FRITSCH ANALYSETTE 3 SPARTAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://labreaktiv.ru/catalog/obshhelaboratornoe-oborudovanie/oborudovanie-dlya-sitovogo-analiza/proseivayushhie-mashiny/analysette-3-spartan/>



41. Весы 1000гр 0,001г Aczet CY-1003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.totural.ru/catalog/72734096/72734319/>

42. Трубчатые печи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.carbolite-gero.ru/ru/products/tube-furnace-range/>

43. Камера EVERCAM HS 1000-32-М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://propribory.ru/product/108714?c=1233>

44. Газоанализатор Тест 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://boner.ru/index.php?action=topics&menu\\_id=332&page\\_id=106](http://boner.ru/index.php?action=topics&menu_id=332&page_id=106)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Features of coal combustion in water-coal suspension

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Тамашевич Максим Сергеевич		

Консультант кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бугакова	Сыродой Семен Владимирович	д.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯЭИ	Воробьева Виктория Владимировна	к.ф.н.		

## INTRODUCTION

The global consumption of heat and electric energy is growing every year, due to the active industrialization of the world community [1]. Currently, the main sources of electricity generation are thermal power plants (TPPs), hydroelectric power plants (HPPs), nuclear power plants (NPPs) and alternative energy sources, for example, wind power plants (WPPs) and solar power plants (SPPs).

In 2019, electricity generation amounted to 1080555.4 million kWh [2], including the distribution of the annual volume of electricity production by types of power plants is given in Table 1 [2].

Table 1 - Distribution of generated electricity by power plant types for 2019

Power plant type	Consumption, million kWh.
Thermal power plants	679 881,0
Hydroelectric power plants	190 295,4
Nuclear power plants	208 773,3
Wind power plants	320,8
Solar power plants	1 284,9
Total	1 080 555,4

Next, consider the most common type of power plants: thermal power plants (62.8%) [2]. TPPs generate energy by burning various combustible fuels, such as coal, gas or fuel oil.

The most common type of fuel at thermal power plants is coal. Coal is a cheap and affordable fuel. Coal combustion technologies are well developed, the construction of TPPs carried out in a relatively short time. At the moment, the most effective technology for the production of electricity based on coal fuel is power units with ultra-vertical steam parameters of efficiency, which reach approximately 45%, while a further increase in the temperature of steam overheating leads to an increase in efficiency by 1% for every 20 ° C. The increase in the efficiency of the use of coal power units is associated with the achievements of modern science in the

creation of appropriate technological equipment, namely steam turbines, steam generators with a circulating fluidized bed, designed for ultra-high steam parameters.

However, coal fuel contains almost the entire Mendeleev table and its combustion accompanied by significant environmental pollution. Various plants used to clean flue gases, but this, in turn, significantly increases the cost of building thermal power plants and increasing costs during the operation of coal-fired thermal power plants and, as a result, leads to an increase in the cost of energy supplied. In this regard, there is a need to develop new technologies for burning coal.

One of the most promising methods of burning coal, according to scientists [10-12], is the burning of coal in the composition of coal-water suspensions. Water-coal fuel is a highly concentrated suspension consisting of coal (50-69% by weight), water (30-49%) and plasticizer additives (up to 1%) [12]. It has been found that during combustion of CWF, compared to coal, emissions of anthropogenic gases, such as nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and sulfur, are significantly reduced.

Therefore, the purpose of my master's dissertation is to study two main characteristics of coal-water fuel:

1. Determination of the content of flue gases that formed during the combustion of coal-water fuels of various compositions.
2. Determination of the ignition delay time of coal-water fuels.

## **SUBSTANCES EMITTED WITH EFFLUENT FLUE GASES AND THEIR EFFECTS ON HUMANS AND THE ENVIRONMENT**

Oxides of nitrogen, sulfur, as well as ash and other components of exhaust flue gases are harmful substances, the excess of the concentration of which over sanitary standards in the air is unacceptable.

In terms of hazard, combustion products divided into [13]:

- 1) Extremely dangerous (Benzo(a)pyrene);
- 2) Highly hazardous (NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, fly ash at CaO content > 35%);
- 3) Moderately hazardous (NO, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, fly ash at CaO content < 35%);
- 4) Low-hazard substances (CO);
- 5) Safe substances (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O).

### **Sulphur oxides**

All solid combustible fossils contain small amounts of sulfur: peat 0.2-0.6%, brown coal 0.6-7.0%, stone coal up to 4%. Typically, sulfur in charcoal is in the form of various compounds. Sulfur in charcoal occurs in three forms:

1. Organic sulfur (in the form of organic compounds)
2. Pyrite sulfur (FeS<sub>2</sub>)
3. Sulfate sulphur (NaSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>)

All carbon sulfur that can interact with oxygen called combustible sulfur (pyrite and organic sulfur). Sulfate sulfur does not interact with oxygen, therefore, it is non-combustible sulfur. Upon combustion, sulphur is converted into sulphur dioxide. In moisture (on leaves or in air), the dioxide dissolves to form sulfurous acid, which is then oxidized to sulfuric acid. As a result, sulfuric acid falls in the form of acid rains, which in turn lead to the death of vegetation [14].

When inhaling a small amount of sulfur dioxide (up to 20 ppm), a person experiences a sore throat and cough. However, when too high concentrations of this gas (200 ppm) enter the body, a person begins to experience suffocation, nausea and pulmonary edema [15].

### **Nitrogen oxides**

Sources of formation of nitrogen oxides during combustion of solid fuels are:

- Nitrogen contained in fuel
- High temperatures (at high temperatures the nitrogen contained in the air reacts with oxygen).
- Nitrogen oxidation at the flame front.

Part of nitrogen goes to nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) 15%, and the remaining part goes to NO 85%.

Nitric oxide is odorless, but when inhaled, it can bind to hemoglobin, converting it into a form that cannot carry oxygen. Nitrogen dioxide at high concentrations (about 60 mg/m<sup>3</sup>) causes irritation of the lungs and can lead to inflammation and asthmatic processes. Long-term exposure to low concentrations of this substance causes headache, digestive problems and cough in humans [16].

### **Benzo(a)pyrene**

Benzo(a)pyrene (S20N16) is formed in flue gases as a result of complex reactions in the temperature range 700-800 C with insufficient oxygen supplied to the combustion zone. Benz (a) pyrene in flue gases is in an aerosol state. Benz (a) pyrene has carcinogenic properties, i.e., when exposed to humans, it can cause cancer and other tumors [17].

### **Carbon dioxide and water vapors**

Carbon dioxide and water vapors belong to a safe class because when they enter the atmosphere, carbon dioxide absorbed by vegetation during the synthesis of oxygen, and water vapors fall to the ground in the form of rain. However, excessive amounts of CO<sub>2</sub> in the atmosphere can cause global warming, due to its ability to absorb infrared rays.

## **COAL-WATER FUEL IN POWER ENGINEERING**

### **Development of CWF application technology in Russia and abroad**

In the late 50s and early 70s, research began on the use of coal-based suspensions in the energy sector [18]. During this period, ideas developed about effective burning conditions for coal-water fuels. In parallel with this, the possibility of transporting CWFs over long distances studied (for example, the construction of pipelines for pumping CWFs [19]). From the 70s to the 90s, experiments actively carried out on gasification, spraying and burning in the fluidized bed of this fuel [19]. The prospect of using coal-water fuel in internal combustion engines was also investigated [20].

In the USSR, there were also attempts to implement projects related to coal-water fuel. The largest of them was the Belovo-Novosibirsk coal pipeline project with a length of 262 km, through which the CWF transported for burning in the Novosibirsk TETs-5. This project was used from 1989-1993. However, in 1993, this project closed due to its unprofitability. After that, due to low gas prices, the development of CWFs in the post-Soviet space was almost completely suspended [21]. But, it is worth noting that for the past 25 years, technologies for transporting and burning CWFs have been actively developing in foreign countries. The Chinese company Sino Clean Energy has achieved the greatest success in this area. If in 2001 China produced and consumed 2 million tons of CWF annually, then in 2006 already 15 million tons [22], and by 2020 consumption and production reached 100 million tons [23]. In Japan, approximately 800 thousand tons of CWF burned annually at power plants [24]. In Russia, technologies for the use of coal-water fuel have not received such development, despite numerous studies by Soviet and Russian scientists in this area.

### **Peculiarities of coal-water fuel combustion**

Ignition of CWF particles is comparable to ignition of liquid fuels (fuel oil, alcohol, etc.). As a result of studies [25-27], the main stages of thermal preparation preceding ignition of coal-water fuel particles were identified:

1. Inert heating of water-coal fuel drop to water saturation temperature.

2. Evaporation of moisture from the surface of the particle and movement of the evaporation front deep into the particle.

3. Formation of gaseous and solid products of thermal decomposition of organic mass of fuel.

4. Ignition of combustible gases formed during pyrolysis of the CWF particle, leading to an increase in temperature in the small vicinity of the CWF particle.

5. Heating and then ignition of coke residue.

When studying the combustion characteristics of CWF droplets [24-25], the temperature of the oxidizer - ignition source is, as a rule, at least 1200 K. These temperatures are characteristic of the operating modes of boiler unit furnaces. However, the results of studies [29-30] showed that coal energy has prospects for development in the direction of low-temperature (less than 1000 K) fuel combustion [31] because low-temperature combustion reduces the formation of nitrogen oxides.

#### **Advantages and disadvantages of CWF combustion technology**

Coal-water fuel has a number of advantages that make it attractive for use in power boilers.

First, as already mentioned, combustion of CWFs produces significantly less anthropogenic gases, such as sulfur and nitrogen oxides, in comparison with coal-water fuel.

Firstly, due to its explosion safety, the use of CWFs eliminates the possibility of explosions and claps in fuel supply systems, which significantly increases the reliability of boiler units and eliminates the possibility of emergencies.

Second, there is no need for sophisticated systems to burn dust, designed to reduce the amount of nitrogen oxides generated, due to the high water content of the fuel. This significantly reduces the cost and simplifies the operation of the power plant. Water-angle and artificial composite liquid fuels are more environmentally friendly than traditional fuels and minimize negative impact on the environment [32].



But it is worth noting that the practical use of CWF at energy facilities is difficult due to the fact that it contains up to 50% water, which in turn leads to an increase in the period of thermal preparation of fuel (high energy consumption for evaporation of moisture), which can reach several tens of seconds [24]. To solve this problem, various additives that accelerate the ignition process can be used. For example, alcohols [33], hydrocarbons [34] and biomass [35].

The most promising additive, from the point of view of the economic and energy component, is biomass. Sawdust, which is waste from the woodworking industry, used as wood biomass [36]. It is also known that wood burning produces smaller volumes of anthropogenic gases than coal burning. Based on this, it can be assumed that the addition of sawdust to the composition of water-coal fuel will also lead to a decrease in harmful emissions.

## CONCLUSION

As a result of the analysis of experimental data, ignition delay times and the content of exhaust flue gases during the combustion of coal-water fuels made from various coals were obtained, also sawdust and larch needles were compared as an additive accelerating the ignition process.

When analyzing experimental data on the ignition delay times of coal-water fuels, were obtained following results:

The volatile content in the fuel directly related to the ignition delay times. The higher the amount of volatile gases in the fuel, the higher the ignition rate

An increase in the biomass content in the fuel leads to a decrease in ignition delay times. According to that, the ignition temperature of sawdust and needles is significantly lower than that of coal, therefore, adding them to the composition of the CWF also leads to a decrease in the ignition temperature of the latter.

After the gas analysis of the outgoing flue gases, the following conclusions were made:

As temperatures rise, the concentration of carbon dioxide rises and the concentration of carbon monoxide drops. This is due to the fact that with an increase in temperature, carbon monoxide burns down to carbon dioxide ( $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ ), since the combustion temperature of carbon monoxide is  $810^\circ\text{C}$ . The maximum emission of carbon monoxide and carbon dioxide was observed in CWF with the addition of coal T due to the high carbon content in its composition.

As the temperature increased, the concentration of nitric oxide increased. This increase in concentration is due to the fact that at high temperatures, nitrogen contained in the air begins to interact with oxygen ( $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$ ).

When wood biomass was added composition of coal-water fuel, the amount of anthropogenic gases fell.

The experimental data obtained will help to develop a unified mathematical model for the combustion of water-coal and bio-coal fuels. In the future, the technology of using CWF and CWF with biomass will reduce the output concentration of sulfur and nitrogen oxides, as well as allow efficient use of non-recyclable sawdust.

## REFERENCES

1. Coal of Russia and the world: production, consumption, export, import [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.test.mining-portal.ru/publish/ugol-rossii-i-mira--proizvodstvo--potreblenie--eksport--import/>
2. Report on the functioning of the UES of Russia in 2019 [https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups\\_rep2019.pdf](https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf)
3. Alternative types of energy: pros and cons <https://susanin.news/articles/alternativnye-vidy-energii-plyusy-i-minusy/?ysclid=lhs15imfux203571125>
4. Alternative energy and ecology: types and ways of development <https://bezotxodov.ru/jenergoberezhenie/alternativnaja-jenergetika>
5. Pros and cons of nuclear power [http://amti.esrae.ru/pdf/2017/1\(1\)/77.pdf](http://amti.esrae.ru/pdf/2017/1(1)/77.pdf)
6. Scope of application of fuel oil <https://www.trader-oil.ru/informatsiya/mazut-info/sfery-i-vozmozhnosti-primeneni/?ysclid=lhs2unba7w748615937>
7. Coal vs gas in the electric power industry [https://energy.hse.ru/data/2019/01/21/1147526543/02-10\\_\\_Energy%209-2018\\_\\_Afanasiev%20%20\(3\).pdf](https://energy.hse.ru/data/2019/01/21/1147526543/02-10__Energy%209-2018__Afanasiev%20%20(3).pdf)
8. Knoema 2017. BP: World Reserves of Fossil Fuels. <https://ru.knoema.com/smsfgud/bp-world-reserves-of-fossil-fuels>
9. Coal Information 2012. Luxembourg: International Energy Agency, 2012. 566 p. <http://www.iea.org>
10. Salomatov V.V. Environmental protection technologies at thermal and nuclear power plants. Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2006. 853 p.
11. Hanjalic K., Lekic A., Krol R. Sustainable Energy Technologies: Options and Prospects. Springer, 2008. 336p.
12. Delyagin G.N. Eco-friendly fuel EKOCWF - a way to dramatically improve the environmental situation in the energy sector of Russia.// Materials of

the international scientific and practical conference "Ecology of Energy 2000". - MEI 2000.g - p.320 – 323.

13. Classification of harmful substances according to the degree of danger and functional effect on the human body [Electronic resource]. – Access mode: <http://woodroads.ru/sanitariya-i-gigiena-truda/146-klassifikaciapovozdeistviy.html>

14. Mulert F., Sulfur in coal / F. Mulert; translated from German by M.V. Gumileva; edited by N.M. Karavaev.- M.; L.: Goskhimtehizdat, 1932. - 129s.

15. Sulfur dioxide and its effect on humans [Electronic resource]. – Access mode: [cscb.su/n/040201/040201005.htm](http://cscb.su/n/040201/040201005.htm)

16. Calculation of emissions of pollutants during fuel combustion in boiler houses / L.I. Bondaletova, V.T. Novikov, N.A. Alekseev. - Tomsk: TPU Publishing House, 2000. - 39 p.

17. Benzopyrene [Electronic resource]. – Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BD>

18. Belov, A.A. Hydraulic transportation of watered fuel in the form of a water–coal suspension / A.A. Belov // Burning of highly watered fuel in the form of water–coal suspensions. - M.: Nauka, 1967. - p. 103-111.

19. Szekely, G.A. Reaction of carbon black slurry agglomerates in combustion gases / G.A. Szekely, G.M. Faeth // Proceedings of the Ninth Symposium (International) on Combustion. – 1982. – V. 19, No. 1. – P. 1077-1085.

20. Berg, B.V. Heat and mass transfer in fluidized bed furnaces during combustion of coal-water mixture / B.V. Berg, T.F. Bogatova // Engineering and Physics Journal. - 1996. – Vol.69, No. 6. – p. 993-999.

21. Atal, A. Combustion of CWF agglomerates from pulverized or micronized bituminous coal, carbon black, and diesel soot / A. Atal, Y.A. Levendis // Combustion and Flame. – 1994. – V. 98, No. 4. – P. 326-342.

22. Modern approaches to the use of coal-water fuel/ O.O. Arkhipkin, A.G. Morozov// Ecological Bulletin of Russia–2011. – pp. 21-25.

23. Glushkov, D.O. Organovodogonal fuel: problems and achievements (review) / D.O. Glushkov, P.A. Strizhak, M.Y. Chernetsky // Thermal power engineering.– 2016. – No. 10. – p. 31-41.
24. Khodakov, G.S. Coal-water suspensions in power engineering / G.S. Khodakov // Thermal power engineering. – 2007. – No. 1. – p. 35-45.
25. Burdukov, A.P. The rheodynamics and combustion of coal-water mixtures / A.P. Burdukov, V.I. Popov, V.G. Tomilov, V.D. Fedosenko // Fuel. – 2002. – V. 81, No. 7. – P. 927-933.
26. Cheng, J. Effects of pore fractal structures of ultrafine coal water slurries on rheological behaviors and combustion dynamics / J. Cheng, J. Zhou, Y. Li, J. Liu, K. Cen // Fuel. – 2008. – V. 87, № 12. – P. 2620–2627.
27. Law, C.K. Combustion characteristics of droplets of coal/oil and coal/oil/water mixtures / C.K. Law, H.K. Law, C.H. Lee // Energy. – 1979. –V. 4. – P. 329–339.
28. Murdoch, P.L., Pourkashanian M., Williams A. The mechanism of combustion of coal-water slurries / P.L. Murdoch, M. Pourkashanian, A. Williams // 20th International Symposium on Combustion. – 1985. – V. 20, № 1. – P. 1409–1418.
29. Glushkov, D.O. Mathematical simulation of the ignition of coal particles in airflow / D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Solid Fuel Chemistry. – 2015. – V. 49, № 2. – P. 73–79.
30. Glushkov, D.O. Low-temperature ignition of coal particles in an airflow / D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Russian Journal of Physical Chemistry. - 2015. – V. 9, No. 2. – P. 242-249
31. Vershinina K.Yu., Low-temperature ignition of coal processing waste in the form of organo-coal fuel compositions/ manuscript - Tomsk 2016. pp. 19-22
32. Ovchinnikov Yu.V., Boyko E.E. Evaluation of methods of combustion of voluminous fuel – artificial composite liquid fuel and proposals for the development of combustion technology// Problems of heat and energy saving – 2014. – pp. 312-314

33. Kolomiets P.V. Fuel// Textbook – Togliatti – 2011. – pp. 35-37
34. Rukin, E.I. Investigation of the properties of coal-water suspensions from coal in the presence of surfactants / Rukin E.I., Gorskaya T.P., Delyagin G.N., Isaev V.V. // Chemistry and fuel processing. – 1975. – Vol.30, issue 2. – pp. 19-26.
35. Malyshev D.Yu., Syrodoy S.V., Justification of resource efficiency of technologies for burning coal-water fuels with biomass additives// Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2020 – pp. 75-85
36. Waste in the woodworking industry [Electronic resource]. – Access mode: <https://en.ppt-online.org/112321>
37. M.A. Dmitrienko, G.S. Nyashina, N.E. Shlegel, S.A. Shevyrev Reduction of anthropogenic emissions from the combustion of coal and waste from their processing as components of organoharbon suspensions// Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2017 – pp. 41-52