

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

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Ресурсоэффективная технология термической утилизации древесных отходов с получением энергетически ценных продуктов

УДК 662.638-027. 236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ12	Шевченко Любовь Михайловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	К.Б. Ларионов	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Л.Ю. Спицына	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП	А.А. Сечин	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	М.А. Вагнер			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	В.В. Беспалов	к.т.н., доцент		

Томск – 2023 г.

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы
магистратуры по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией
ПК(У)-2	Способность проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-3	Способность участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок энергообъектов и их элементов по стандартным методикам
ПК(У)-8	Готовность к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования
ПК(У)-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по освоению, доводке и сопровождению технологических процессов

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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ12	Шевченко Любови Михайловне

Тема работы:

Ресурсоэффективная технология термической утилизации древесных отходов с получением энергетически ценных продуктов
--

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Целью работы является сбор и обобщение информации об опыте применения, на современном уровне развития и потенциале технологий переработки древесных отходов в мире и в России. Объектом исследования в работе является совокупность способов и установок получения различной продукции из переработанного древесного сырья. Предметом исследования выступают факторы, определяющие возможность широкого применения пиролизных установок.</p>

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Современные тенденции термической переработки древесных отходов 2. переработка древесных отходов 3. Получение брикетированного полукокса из древесных отходов методом стадийного низкотемпературного пиролиза. 4. Получение пиролизного масла
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Спицына Любовь Юрьевна, доцент ОГСН ШБИП</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович, доцент</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутова ИШЭ</p>	<p>К.Б Ларионов</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5БМ12</p>	<p>Шевченко Любовь Михайловна</p>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ12	Шевченко Любовь Михайловна

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Ресурсоэффективная технология термической утилизации древесных отходов с получением энергетически ценных продуктов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Ресурсоэффективная технология замкнутого цикла медленного пиролиза древесных отходов. Область применения : ТЭС и АЭС
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	-ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. -ГОСТ 22615-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования. -ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: -повышенные или пониженные параметры рабочей среды - повышенный уровень шума Опасные факторы:

	-движущиеся машины и механизмы на производстве
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: вредные выбросы Гидросфера: опасные выбросы в воду Литосфера: загрязнение почвы химическими выбросами
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: повышение уровня радиации на АЭС, пожары, выброс масла, обрыв электрической сети потребителя; взрывы; гидроудары; диверсии; обрушение строительных конструкций. Наиболее типичные ЧС: пожары и выбросы в атмосферу

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.02.2023
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7А	Шевченко Любовь Михайловна.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7А	Шевченко Любовь Михайловна

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 150000000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 660000 руб; затраты на оборудование – 120000000 руб
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды – 30%. Отчисления на травматизм – 5%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT;
2. Диаграмма Ганта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7А	Шевченко Любовь Михайловна		

Оглавление

Реферат	11
Введение.....	12
1. Получение брикетированного полукокса из древесных отходов методом стадийного низкотемпературного пиролиза.	13
1.2 Результаты и обсуждение	18
2. Комплексные исследования технических условий энергетического использования древесного пиролизного бионефти.	26
3.1 Материалы и методы	28
3.1.1 Пиролизное масло	28
3.2 Характеристика материала.....	29
3.2.1 Плотность.....	29
3.2.2 Кинематическая и динамическая вязкость.....	29
3.3.3 Температура застывания	30
3.3.4 Температура вспышки	30
3.3.5 Содержание воды	30
3.3.6 Зольность.....	30
3.3.7 Calorific value	30
3.3.8 Элементный состав	31
3.3.9 рН анализ.....	31
3.3.10 Фракционный анализ	31
3.3.11 Функциональный анализа	31
3.3.12 Дифференциально-термический анализ	32
4. Экспериментальные исследования характеристик струи после распыления пиролизного масла	32
4.1 Капельное зажигание и горение	36
5.Результаты и обсуждения.....	38
5.1 Физико-химические характеристики	38
5.2 Распыл	44
5.3 Зажигание и горение	45
5.4 Газофазные продукты горения	51

6.	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	53
6.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	53
6.2	Анализ конкурентных технических решений	53
6.2.1	SWOT-анализ.....	56
6.3	Планирование научно-исследовательских работ	58
6.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	58
6.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	60
6.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	62
6.4	Бюджет научно-технического исследования(НТИ).....	66
6.4.1	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .	66
6.4.2	Основная заработная плата исполнителей проекта.....	66
6.4.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	69
6.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ..	69
6.4.5	Услуги сторонних организаций	70
6.4.6	Накладные расходы.....	70
6.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	71
7.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	71
7.1.1	Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	71
	Вывод по разделу	73
8.	Социальная ответственность	74
	Введение.....	74
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	75
8.1.1	Компоновка рабочей зоны.....	77
8.2	Производственная безопасность.....	78
8.2.1	Анализ вредных и опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	79
8.2.1.4	Недостаточная освещенность рабочей зоны	82
8.2.1.5	Расчет искусственного освещения	83
8.3	Экологическая безопасность	86

8.3.1	Защита атмосферы.....	86
8.3.2	Защита гидросферы.....	87
8.3.3	Защита литосферы.....	87
8.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
	Выводы по разделу	91
	Заключение	92

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 125 с., 19 рис., 22 табл., 125 источников.

Ключевые слова: пиролиз, древесные отходы, пиролизное масло, биомасло, биочар, неконденсируемые газы.

Цель работы – экспериментальное исследование низкотемпературного процесса пиролиза древесных брикетов. Процесс включает несколько стадий термической обработки: изотермический прогрев (при температуре 220 °С), пиролиз при температурах греющей среды 350-550 °С и последующее охлаждение получаемого полукокса в инертной среде азота. Нагрев древесного брикета осуществлялся косвенным способом, с помощью воздушного обогрева двустенного реактора.

Выполнение комплексного исследования технологических условий энергетического использования bio-oil. Определить физико-химические характеристики bio-oil, характер его распыла, процессов зажигания и горения с проведением анализа выделяемых газофазных продуктов сгорания при различных температурах греющей среды.

Введение

Проблема экологии - одна из главных катастроф нашего времени. В последнее время обеспечение экологической устойчивости приобрело огромную популярность из-за быстрого изменения внешней среды на Земле под влиянием человеческой деятельности и стало объектом внимания различных групп населения. Основными компонентами этой проблемы являются загрязнение незаменимых природных ресурсов: воздуха, воды, почвы, промышленных отходов, транспорта, что привело к обеднению растительного и животного мира.

Россия обладает уникальным природным богатством-лесом, который является среднеобразующим фактором и природным ресурсом со стратегической целью. В связи с этим сохранение лесного комплекса и его рациональное использование является важной сферой экологической политики в России. В то же время деревообрабатывающие предприятия представляют собой узкий профиль, они не обеспечивают комплексного использования сырья, что приводит к образованию многих тоннажных отходов. В России ежегодно производится более 45 миллионов м³ древесных отходов, пригодных для производства топлива. В настоящее время использование отходов лесозаготовок и первичной деревообработки находится в нерегулируемых условиях.

1. Получение брикетированного полукокса из древесных отходов методом стадийного низкотемпературного пиролиза.

1.1 Экспериментальная и аналитическая часть

В качестве исходных образцов были использованы древесные брикеты, изготовленные из сосновых опилок на производственной площадке компании «Сибирский Биоуголь» (п. Беляй, Томская область) с помощью промышленного пресса экструдерного типа при температуре около 220 °С. Для минимизации погрешности и сокращения влияния неоднородности используемого сырья, исследуемые образцы (древесные брикеты) были извлечены из одной произведенной партии.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема экспериментальной установки пиролиза древесных отходов.

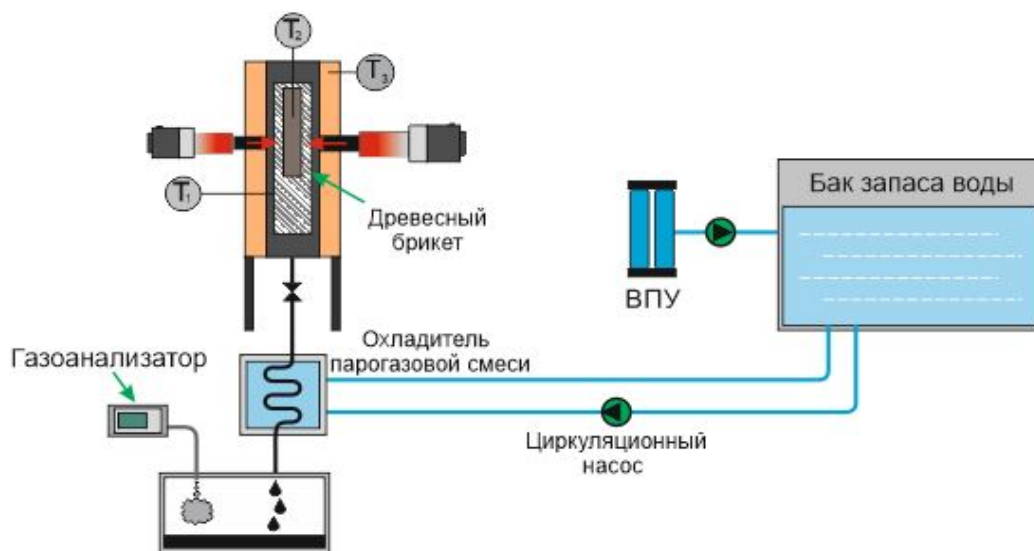


Рисунок 3 – Принципиальная схема экспериментальной установки пиролиза древесных отходов.

В трубочатый реактор пиролиза, работающий в периодическом режиме, загружался древесный брикет массой около 0.9 кг в емкость, выполненной из металлической сетки, плотно зафиксированной в объеме реакционной камеры. Подвод тепла к камере пиролиза осуществлялся косвенным способом, путем подвода предварительно нагреваемого до заданной температуры воздуха с

помощью двух терморегулируемых воздухонагревателей LHS 61L PREMIUM (LEISTER, Швейцария) суммарной мощностью 32 кВт (максимальная температура нагрева 600 °С). Воздух к термонагревателям подводился с помощью вентиляторов высокого давления AIRPACK (LEISTER, Швейцария). Контроль температуры внутри реактора, образца древесного брикета и в межтрубном продуваемом зазоре осуществлялся непрерывно с помощью установленных термопар T_1 , T_2 и T_3 соответственно, подключенных к многоканальному термопарному регистратору Термодат-25Е6 (Термодат, Россия) с функцией электронного самописца. Термопара T_3 , установленная на крышке камеры пиролиза и используемая для определения температуры образца, устанавливалась в технологическое отверстие древесного брикета на $1/4$ его длины.

Образующиеся в процессе пиролиза древесного брикета парогазовые продукты конденсировались в трубчатом конденсаторе, после которого получаемые жидкофазные продукты (жидкая углеводородная фракция) самотеком поступали в накопительную емкость.

Газофазные продукты пиролиза после конденсации парогазовой смеси удалялись с помощью системы вытяжной вентиляции, которая также связана с поточным газоанализатором Тест-1 (БОНЭР, Россия). В настоящей работе анализировались следующие газофазные соединения: CO , CO_2 , H_2 и CH_4 .

На рисунке 4 представлен режимный график проведения экспериментального исследования.

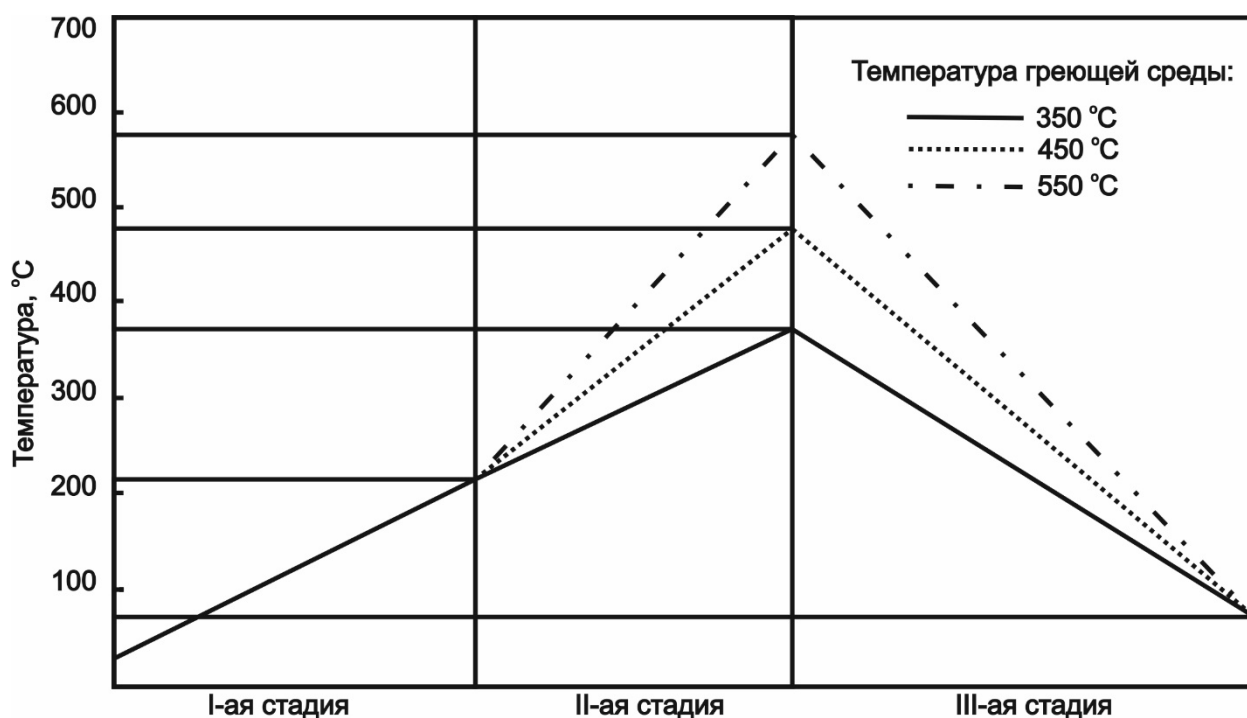


Рисунок 4 - Температурный график проведения экспериментального исследования.

Первая стадия проведения эксперимента была связана с прогревом (осушкой) образца до температуры 220 °С. Далее осуществлялся интенсивный подвод тепла к камере пиролиза до заданной температуры: 350 °С, 450 °С, 550 °С (II стадия). По завершению экзотермического эффекта, определяемого с помощью скорости нагрева термопары T_2 начиналось охлаждение углеродного образца до температуры $T_2=80$ °С (III стадия). Охлаждение стенки реактора пиролиза производилось путем подвода воздуха комнатной температуры. На всех периодах проведения эксперимента частота работы воздушных нагнетателей была постоянной. В качестве дополнительного охлаждения полученного образца полукокса использовался газообразный азот, подводящийся равномерно к образцу через входной патрубок реактора. Расход азота составлял 5 л/мин. Выбор данного режима проведения эксперимента был основан исходя из непрерывного производственного технологического цикла, заключающегося в формировании древесного брикета (стадия I) и его последующего пиролиза (стадия II) и охлаждения

(стадия III). Таким образом стадия I в настоящих условиях позволила воспроизвести технологический цикл производства древесного брикета.

Инертный нагрев образца (без учета теплового эффекта химических реакций) в результате подвода теплоты извне за счет конвекции может быть описан с помощью следующего уравнения:

$$k \cdot (T_{hm}(t) - T(t)) = m \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t},$$

здесь k – эффективный коэффициент теплоотдачи, Вт/К; $T_{hm}(t)$ – температура греющей среды в момент времени t , °С; $T(t)$ – температура образца в произвольный момент времени, °С; m – масса образца, кг; c_p – теплоемкость образца, Дж/(кг К).

Разложив дифференциал с помощью метода конечных разностей, получим уравнение следующего вида:

$$k \cdot (T_{hm}(t) - T(t)) = m \cdot c_p \cdot \frac{T(t) - T(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (1)$$

где Δt – шаг по времени, с. Шаг по времени был выбран равным 5 с.

Выразив $T(t)$ и заменив $\frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{k}$ на A , получим уравнение вида:

$$T(t) = \frac{T_{hm}(t) + (A + 0,5) \cdot T(t - \Delta t)}{A + 0,5} \quad (2)$$

Ввиду сложности определения истинного значения коэффициента теплоотдачи, а также теплоемкости исследуемого образца расчетным методом, значения коэффициента A определялись на основании экспериментальных данных. Исходя из предположения, что при температуре образца менее 100 °С скорость и, как следствие, тепловой эффект реакций пренебрежимо мал, поэтому значения коэффициента A определялись таким путем, чтобы рассчитанные по уравнению 2 и полученные экспериментальным путем температуры образца были максимально близки.

По расхождению между полученными экспериментально и расчетным путем (по уравнению 2) значениям температур образца определялись экзо- и эндотермические тепловые эффекты процесса.

Перед проведением аналитических исследований, полученные образцы полукокса были измельчены и фракционированы на ситах с размером ячеек менее 200 мкм (для технического анализа) и 80 мкм (для проведения других анализов).

Определение параметров влажности, зольности, выхода летучих веществ и теплоты сгорания для всех рассматриваемых образцов было выполнено в соответствии со стандартными методиками [19]. Содержание углерода, водорода, азота и серы определяли с использованием анализатора Flash 2000 CHNS (Thermo Fisher Scientific, США). Исследование морфологических характеристик было выполнено с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM JSM-6000C (JEOL, Япония).

Исследование термического разложения (в режимах окисления и пиролиза) полученных образцов полукокса осуществлялось с помощью дифференциального-термического анализатора Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Netzsch, Germany). Анализ проводился при скорости нагрева 10 °С/мин в корундовом тигле с перфорированной крышкой до температуры 800 °С с целью обеспечения полноты превращения образца. Образец массой ~20 мг распределялся ровным слоем по дну тигля и помещался в поток окислительной (воздух) и инертной (аргон) среды. Скорость газового потока составляла 150 мл/мин. Все эксперименты проводились в условиях атмосферного давления. Сравнительная оценка параметров процесса термического преобразования образцов в разных средах проводилась на основании физических величин (температура, время и скорость процесса), вычисленных графическим методом [20] с помощью ТГ- и ДТГ-профилей.

1.2 Результаты и обсуждение

Качественная зависимость изменения тепловых эффектов от времени процесса пиролиза древесных брикетов приведена на рисунке 5.

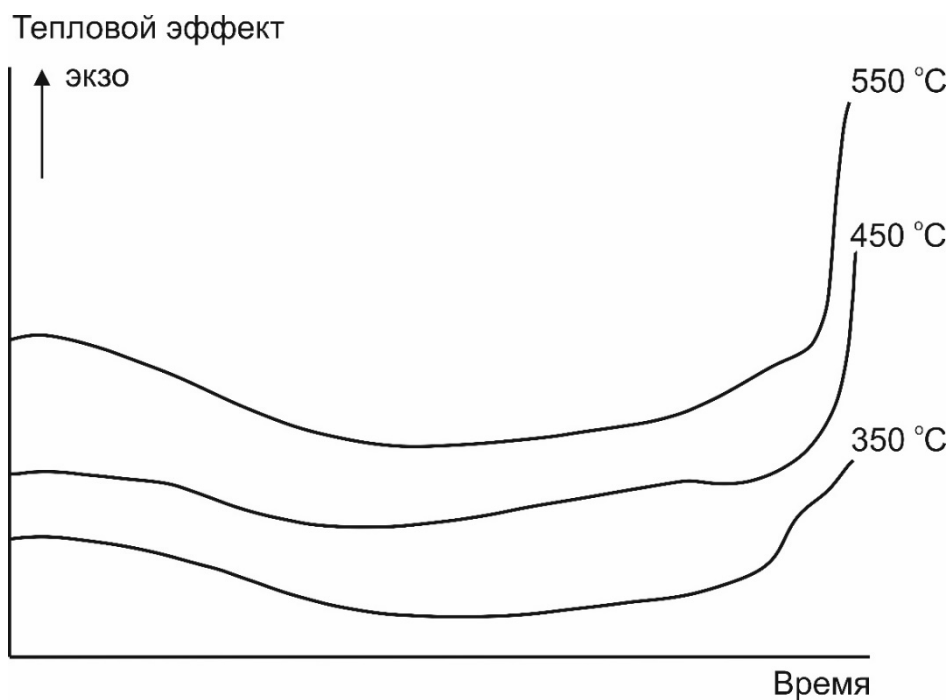


Рисунок 5 - Профили теплового эффекта процесса пиролиза древесных брикетов. Данные представлены в безразмерном виде.

Для всех температурных режимов пиролиза наблюдались схожие закономерности зависимости теплового эффекта реакции от времени: на начальном этапе наблюдался незначительный эндотермический эффект, связанный с десорбцией влаги из образца. По окончании данного процесса с повышением температуры наблюдался сильный экзотермический эффект, связанный с выходом летучих соединений и их частичным окислением с кислородом, содержащимся в составе исследуемого образца древесного брикета (таблица 1). По окончании данного процесса, в связи с потреблением всего кислорода в реакционной камере, был зафиксирован спад интенсивности экзотермических реакций. При дальнейшей выдержке, в результате реакций между образовавшимся полукоксом и продуктами пиролиза и горения, начинали проявляться эндотермические эффекты, выражающиеся в снижении темпа прироста положительной разницы температур.

Сравнение тепловых эффектов при различных температурах нагрева позволяет сделать вывод о более высокой интенсивности процесса при высоких температурах благодаря меньшему выгоранию топлива на стадии изотермической выдержки и меньшей скорости химических реакций пиролиза и окисления. Данный эффект является типичным для многих экспериментальных установок, в первую очередь, для установок термического анализа.

На рисунке 6 приведены зависимости выделения основных газофазных продуктов пиролиза (CO , CO_2 , H_2 и CH_4) от времени.

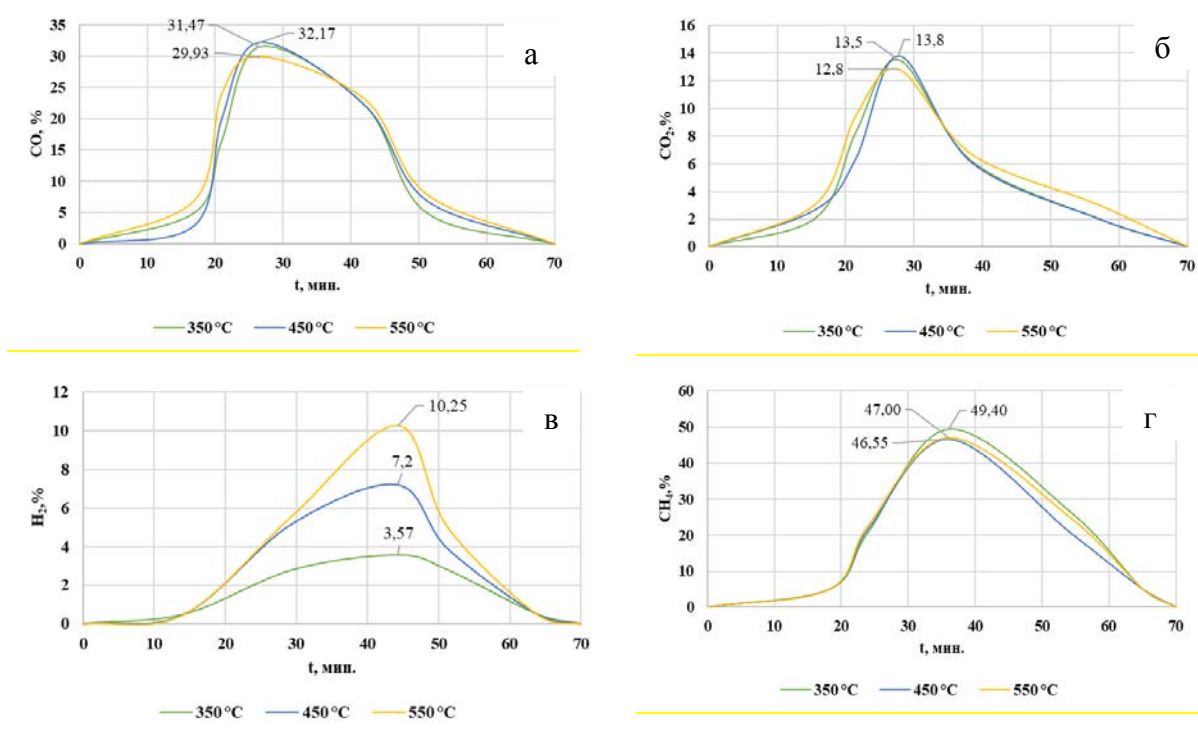


Рисунок 6 - Изменение содержания концентрации соединений CO (а), CO_2 (б), H_2 (в) и CH_4 (г) в газофазных продуктах пиролиза при различных температурах греющей среды ($T_g=350-550$ °С).

Зависимость формирования оксида углерода в газофазных продуктах пиролиза (рисунок 4а) имеет типичных характер для всех рассматриваемых температур греющей среды. Максимальная концентрация выделения CO определяется в интервале 29.9-32.1 об.% в близком по значению временном периоде измерения.

С ростом температуры греющей среды в составе газофазных продуктов пиролиза увеличивается максимальная концентрация выделения H_2 на 6.7 об.% (рисунки 4в). Из рисунков 4б и 4г видно, что температура T_g практически не влияет на концентрацию выделения CO_2 и CH_4 в составе газофазных продуктах пиролиза, максимальные концентрации которых определяются в интервалах 12.8-13.8 об.% и 46.5-49.4 об.% соответственно.

На рисунке 7 представлена зависимость изменения массового значения полученных продуктов пиролиза древесного брикета при различных температурах подвода греющей среды.

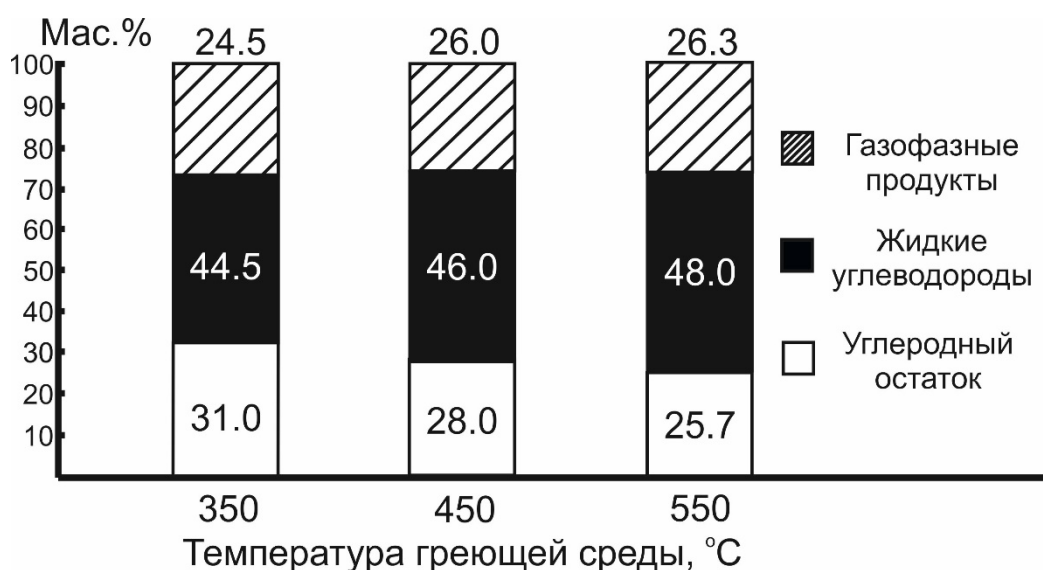


Рисунок 7 – Материальный баланс полученных продуктов пиролиза при различных температурах греющей среды.

С ростом температуры греющей среды наблюдается снижение массы образующегося в процессе пиролиза твердого остатка (полукокса) с 31.0 до 25.7 мас. %, а также увеличение выхода жидких (на 3.5 мас.%) и газообразных продуктов (на 1.8 мас.%). Это связано с интенсификацией высвобождения летучих соединений и повышением карбонизации получаемого полукокса в процессе пиролиза за счет увеличения подводимой энергии, обеспечивающей разрыв функциональных связей биомассы [21]. Повышение выхода газофазных продуктов с ростом температуры греющей среды может быть связано с участием вторичных реакций крекинга парогазовой смеси [22]. В

целом полученные изменения материального баланса продуктов пиролиза древесных отходов от увеличения температуры греющей среды коррелируют с другими данными [22].

В таблице 3 приведены результаты определения технических характеристик и элементного состава образцов древесного брикета и полученного полукокса после проведения процесса пиролиза.

Таблица 3 - Характеристики исследуемых образцов

Образец	W^r	A^d	V^{daf}	Q_i^r	C^d	H^d	N^d	S^d	O^d
	мас. %			МДж/кг	мас. %				
Древесный брикет	3.0	1.2	80.2	17.97	48.9	5.9	0.1	-	43.9
Полукок (350 °С)	4.3	2.4	25.4	30.14	77.6	3.4	0.2	-	16.4
Полукок (450 °С)	4.2	2.4	18.6	32.15	82.6	3.0	0.2	-	11.7
Полукок (550 °С)	4.5	2.8	8.0	33.02	87.2	2.2	0.2	-	7.6

r – рабочее состояние, d – сухое состояние, daf – сухое беззольное состояние

Исходный образец брикета характеризуется низким значением зольности $A^d=1.2\%$ и высоким содержанием летучих веществ $V^{daf}=80.2\%$, что соответствует характеристикам используемого сырья - сосновые опилки [18]. С увеличением температуры греющей среды для образцов полукокса вследствие их карбонизации, снижается значение выхода летучих веществ V^{daf} с 80.2 до 8.0 мас.%, а также увеличивается теплота сгорания Q_i^r с 17.97 до 33.02 МДж/кг. Важно отметить, что с ростом температуры греющей среды от 350 °С до 550 °С динамика изменения параметра Q_i^r

замедляется. Так, изменение значения Q_i^r для первого интервала температур (от 350 °С до 450 °С) составило около 2 МДж/кг, в то время, как для второго (от 450 °С до 550 °С) – 0.9 МДж/кг. Вероятнее всего это связано со снижением содержания водорода в исследуемых образцах, динамика изменения которого имеет обратную зависимость относительно параметра Q_i^r . При этом содержание углерода в исследуемых образцах полукокса увеличивается линейно. Значение зольного остатка A^d практически не изменяется и находится в пределах 2.4-2.8 мас. %.

На рисунке 8 представлены микрофотографии частиц образцов древесного брикета и полученного полукокса после проведения процесса пиролиза.

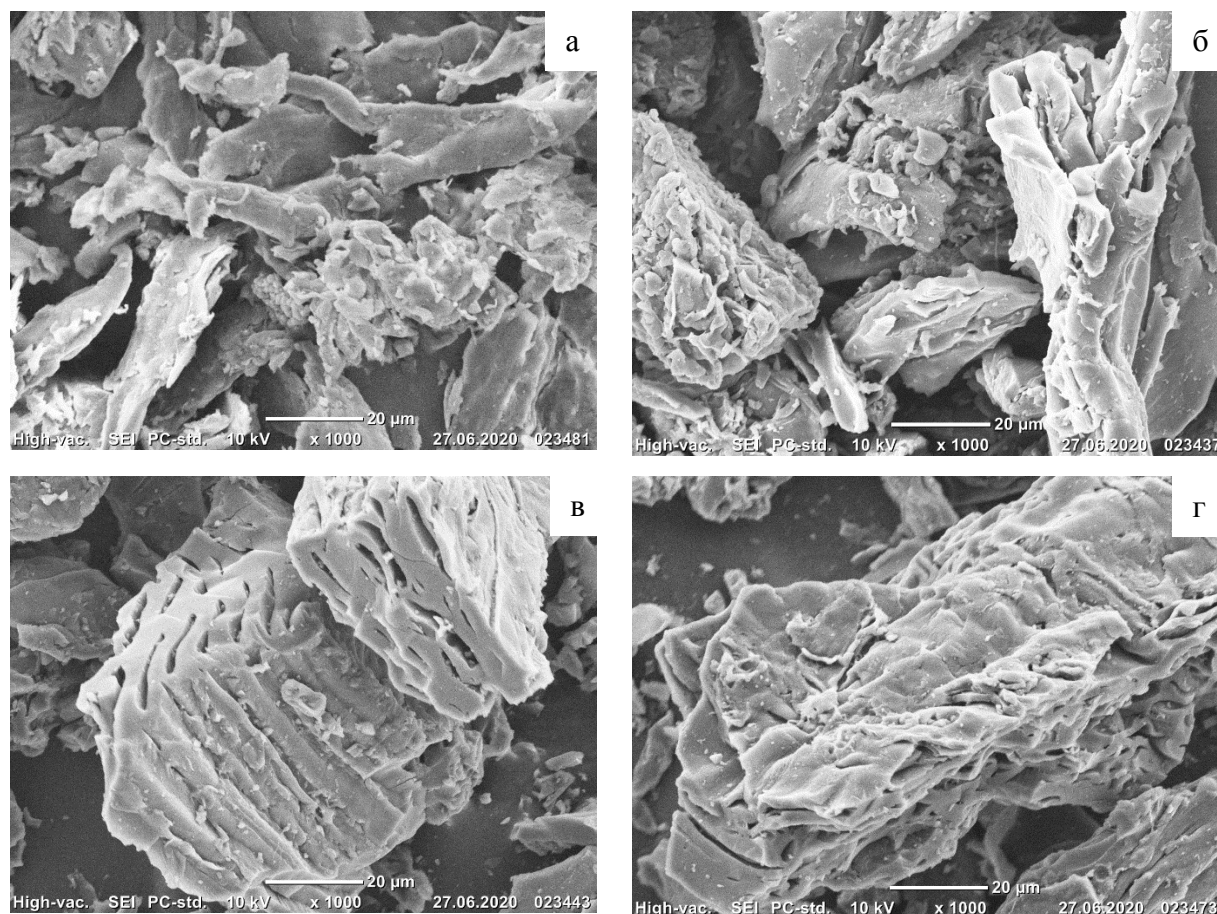


Рисунок 8 - Снимки РЭМ частиц исследуемых образцов: а – частицы древесного брикета, б – частицы полукокса полученного при $T_g = 350$ °С, в – частицы полукокса полученного при $T_g = 450$ °С, г – частицы полукокса полученного при $T_g = 550$ °С.

Видно, что частицы образца древесного брикета (рисунок 6а) характеризуются, как сферической, так и продолговатой цилиндрической формой с неоднородной поверхностью. В результате проведения процесса пиролиза (рисунки 6б и 6в) частицы приобретают более аморфный вид с большим числом открытых пор и каналов. При этом общая форма частиц (цилиндрического вида) сохраняется. Наиболее яркие изменения прослеживаются для образцов полукокса, полученных при $T_g = 450$ и 550 °С, что выражается в неоднородности поверхности частиц и увеличении количества и размера открытых пор и каналов.

На рисунке 9 представлены результаты термического анализа исследуемых образцов полукокса в окислительной среде.

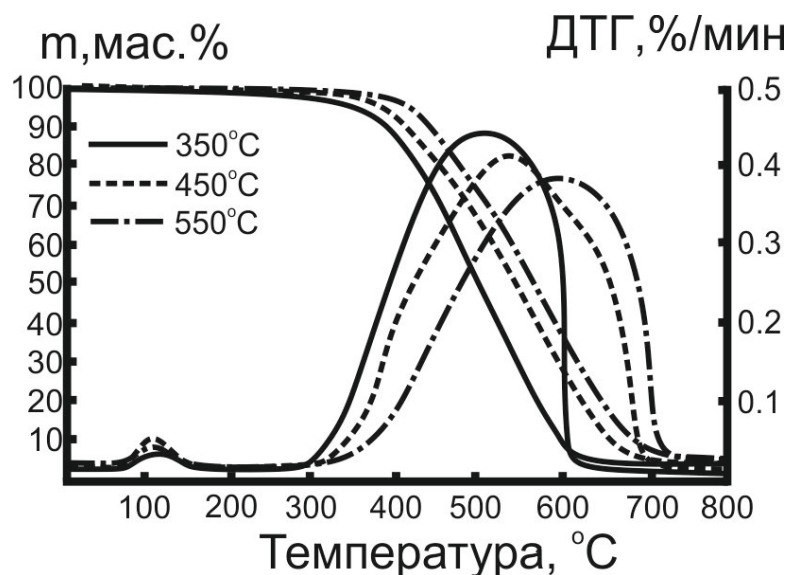


Рисунок 9 – Данные ТГ и ДТГ для процесса термического разложения исследуемых образцов полукокса в окислительной среде. Воздух 150 мл/мин, скорость нагрева 10 °С/мин, масса навески ≈ 15 мг.

Сопоставляя полученные результаты, можно отметить, что профили ТГ, характеризующих процесс окисления, имеют существенные отличия, что связано со значениями содержания углерода в исследуемых образцах (таблица 1). Так, с повышением степени углефикации и сокращением содержания летучих соединений, увеличиваются температуры начала и окончания

интенсивного окисления (на 58 °С и 83 °С соответственно) в результате чего процесс окисления смещается в высокотемпературную область с уменьшением скорости реакции (с w_{\max} 0.48 %/мин до 0.39 %/мин). При этом смещение температуры, соответствующей максимальной скорости реакции ΔT_{\max} составило 93 °С.

Изменение ТГ-профилей процесса окисления исследуемых образцов также отражается и на форме профилей ДТГ (рисунок 7). Их анализ позволяет выделить три стадии изменения массы образцов. На первой стадии происходит испарение физически адсорбированной влаги (до 110 °С). Для второй стадии характерна термическая деструкция частиц полукокса, сопровождаемая возгонкой остаточных летучих соединений после пиролизной обработки древесного брикета при различных температурах (температурный интервал 280-330 °С). На третьем этапе наблюдается активное окисление высвобождаемых летучих соединений и образующегося углеродного остатка (температурный интервал 310-710 °С). При этом на последней стадии невозможно обозначить конкретные температурные области, т.к. окисление летучих соединений и образующегося углеродного остатка происходит параллельно. Данное наблюдение может быть связано с меньшим содержанием летучих соединений на поверхности частиц полукокса и его более развитой морфологической структуры, характеризующейся более расширенными трещинами и порами (рисунок 6).

На рисунке 9 представлены профили ТГ и ДТГ, характеризующие процесс термического преобразования исследуемых образцов полукокса в инертной среде. Видно, что для всех представленных образцов изменение массы составило 7.8-23.4 мас.%, что находится в хорошей корреляции с представленными выше значениями содержания влаги и выхода летучих соединений (таблица 3).

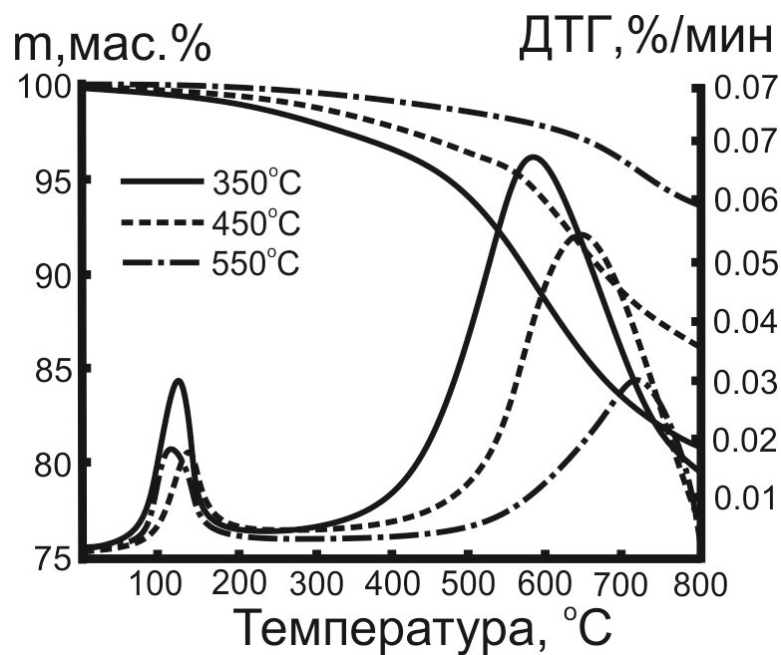


Рисунок 9 - Данные ТГ (а) и ДТГ (б) для процесса термического разложения исследуемых образцов в инертной среде. Аргон 150 мл/мин, скорость нагрева 10 °С/мин, масса навески ≈15 мг.

ДТГ-профили процесса термического разложения, протекающего в инертной среде (рисунок 10) имеют существенные отличия, заключающиеся в различных значениях максимальной скорости реакции ($w_{\max}=0.03-0.07$ мас.%/мин) при соответствующих температурах ($T_{\max} = 600-760$ °С). С увеличением степени углефикации представленных образцов (таблица 1), процесс термического разложения смещается в высокотемпературную область (на 120 °С) с незначительным уширением профилей (температурных интервалов), что говорит о снижении их реакционной способности.

2. Комплексные исследования технических условий энергетического использования древесного пиролизного бионефти.

Интеграция биомассы в производство энергии является одной из наиболее приоритетных из-за хороших экологических характеристик, поскольку биомасса считается углеродно-нейтральным топливом [1]. Древесина в виде опилок является одним из наиболее распространенных видов доступной биомассы. Известно, что пиролитическая обработка древесины является реализуемой технологией получения различных полезных продуктов в твердой, жидкой и газообразной фазе [2]. Основные технологии пиролиза различаются по скорости нагрева – высокой (>10 °C/c) и низкой (<1 °C/c). Быстрый пиролиз характеризуется высоким выходом жидкой фракции (до 75 мас. %), тогда как медленный пиролиз приводит к более высокому содержанию твердой и паровой фаз (до 40 и 35 мас. % соответственно) [2], [3]. Для повышения конкурентоспособности таких технологий твердый продукт пиролиза может быть использован в качестве сорбента [4], [5] или древесного угля [3], [6]. Для увеличения доли получаемого твердого продукта обычно применяют медленный пиролиз. Хотя для таких технологий выбрасываемая жидкость считается побочным продуктом, имеется очень мало информации как о ее химическом составе, так и о физических свойствах.

Хотя основной технологией производства жидкого топлива (обычно называемого бионефтью) является быстрый пиролиз, в отношении этого вещества было разработано законодательство [7]. Состав такой бионефти быстрого пиролиза (FPBO) очень сложен и включает множество различных окисгенированных углеводородов [8], [9]. Свойства FPBO позволяют использовать его в качестве топлива для различных применений, таких как дизельные двигатели [7], [10], [11], камеры сгорания газотурбинных установок [12], [13] и горелки котлов [14]–[17]. FPBO имеет некоторые отличия от традиционных жидких топлив как по химическому составу, так и по характеристикам горения [18], [19]. Однако значительный разброс этих параметров из-за вариаций характеристик древесины и условий пиролиза

привел к широкому применению экспериментальных методов изучения воспламенения и горения бионефти, таких как термогравиметрия [8], [20], [21] или различных экспериментальных методов. установки [22], [23].

Термогравиметрический анализ окисления древесного пиролизного масла показал, что процесс протекает либо в две [20], [24], либо в три [15], [25] стадии. Значения энергии активации для этих стадий варьировались в широком диапазоне от 5 до 200 кДж/моль. Согласно [20], [24], меньшие значения наблюдались для более ранних стадий, а более высокие – для поздних. Однако условия термогравиметрического анализа существенно отличаются от условий реального энергетического оборудования, и полученные результаты не могут быть напрямую проецированы на практические приложения.

Особенности применения ФРВО для дизелей подробно исследованы в работах [10], [11], [26], [27]. Хотя ФРВО оказался подходящим топливом, низкая плотность энергии и высокая кислотность привели к необходимости регулировки двигателя. Было обнаружено, что смешивание биомасла с этанолом [10], [25], бутанолом [8], [11], [26], [27] или растительным маслом [22], [28] позволяет его применение в стандартное оборудование. Полнота сгорания таких топлив была несколько ниже по сравнению со стандартным дизельным топливом [10], [28]. Сообщалось [11], [28] о снижении выбросов углеводородов и окиси углерода для смеси ПФБО с бутанолом и увеличении его смеси с этанолом [10]. Концентрация оксидов азота оказалась выше по сравнению с дизельным топливом. В то время как сгорание ФРВО в дизеле изучено достаточно хорошо, основным методом таких исследований являются экспериментальные установки. Они предоставляют очень конкретную информацию о таком сжигании топлива, которую нельзя спроецировать на большинство других энергетических приложений, таких как горелки котлов или камеры сгорания газовых турбин. Однако имеется ряд исследований по сжиганию ППБО в горелках разного типа. В то время как вязкость ФРВО [13] считается более высокой по сравнению с традиционным жидким топливом,

значительное внимание уделяется характеристикам распыления такого топлива. Особенности распыления и горения бионефти исследованы в работах [16], [18], [19], [25], [29]. Возможность получения стабильного пламени при использовании биомасла доказана применением модифицированных форсунок [29]. Характеристики выбросов горелок, работающих на биотопливе, выявили более высокие выбросы углеводородов и закиси азота [13], [25]. Смешивание FPBO с полярными жидкостями или традиционным топливом оказалось перспективным решением проблемы с высокой вязкостью FPBO [18], [25], [30]. Однако все эти результаты получены для жидкого топлива, полученного методом быстрого пиролиза. Данные о горении капель масла медленного пиролиза в смеси с бутанолом приведены в [8]. Определен состав нефти, а также характерны стадии горения капель и их продолжительность. Был выявлен широкий диапазон физических свойств вместе с особенностями горения бионефти, полученной с использованием двух аборигенных австралийских видов [25]. Однако, в то время как жидкая фракция считается побочным продуктом о При медленном пиролизе данные о характеристиках его воспламенения, горения и выбросов очень скудны.

В настоящей статье представлены результаты комплексных исследований химического состава, физических свойств бионефти, полученной медленным пиролизом опилок кедра сибирского, а также характеристик распыления, окисления, воспламенения, горения и эмиссии в воздушную атмосферу с использованием как лабораторного оборудования, так и экспериментальных установок. с условиями, приближенными к реальному энергетическому оборудованию.

3.1 Материалы и методы

3.1.1 Пиролизное масло

Образец пиролизного масла был получен с промышленного предприятия пиролизной переработки древесных отходов ООО «Сибирский Биоуголь» (п.

Беляй, Томская область, Россия). В качестве исходного сырья для получения пиролизного масла были использованы древесные брикеты (типа *pine-kauf*), изготовленные из сосновых опилок. Процесс пиролиза брикетов осуществляется на установке непрерывного действия производительностью 1 т/ч (по исходному сырью) с косвенным подводом тепла при температуре $T_g=500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Конденсация образующихся парогазовых продуктов пиролиза осуществлялась с помощью многоступенчатой конденсационной установки с оребренной поверхностью. В качестве охлаждающего агента используется воздух окружающей среды, обдувающий поверхность конденсационной установки без использования системы принудительной циркуляции.

3.2 Характеристика материала

3.2.1 Плотность

Плотность при температурах 50 и 80 °С определялась с использованием вискозиметра Штанбингера SVM3000 (Anton Paar, Австрия), согласно методике, представленной в ISO 12185:1996 “Crude Petroleum and Petroleum Products – Determination of Density – Oscillating U-tube Method”.

3.2.2 Кинематическая и динамическая вязкость

Кинематическая и динамическая вязкость при температурах 50 и 80 °С определялась с использованием вискозиметра Штанбингера SVM3000 (Anton Paar, Австрия), согласно методике, представленной в ISO 3104: 1994 “Petroleum Products. Transparent and Opaque Liquids. Determination of Kinematic Viscosity and Calculation of Dynamic Viscosity”.

3.3.3 Температура застывания

Температура застывания (T_3) определялась с использованием жидкостного низкотемпературного термостата КРИО-Т-05-01 (Termex, Россия), согласно методике, представленной в ASTM D97-17b “Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products”.

3.3.4 Температура вспышки

Температура вспышки в открытом тигле ($T_{всп}$) определялась с использованием аппарата ПЭ-ТВО (Экрос, Россия), согласно методике, представленной в ISO 2592:2000 “Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method”.

3.3.5 Содержание воды

Содержание воды определялось с помощью делительной воронки в которую погружалась соль с массовым соотношением к исследуемому образцу пиролизного масла 20:80%. По разности плотностей происходило разделение воды от масла. Далее вода удалялась из воронки и определялось ее массовое содержание.

3.3.6 Зольность

Зольность исследуемого образца определялась в соответствии с методикой ISO 6245:2001 «Petroleum products - Determination of ash» с помощью муфельной печи, предварительно нагреваемой до температуры 300 °C и последующим нагревом до температуры 800 °C с дальнейшей выдержкой образца до постоянной массы.

3.3.7 Calorific value

Определение теплоты сгорания осуществлялось по результатам полного сжигания исследуемого образца в бомбовом калориметре АБК-1 (Русские Энергетические Технологии, Россия). Анализ проводился в изотермическом

режиме при постоянном объеме в среде сжатого кислорода под давлением 30 кгс/см².

3.3.8 Элементный состав

Содержание углерода, водорода, азота и серы определяли с использованием анализатора Flash 2000 CHNS (Thermo Fisher Scientific, США). Анализы проводились в оловянных тиглях с использованием V₂O₅.

3.3.9 pH анализ

Определение значения pH было выполнено с помощью SevenCompact pH meter S220 (Mettler Toledo, США) со стеклянным электродом.

3.3.10 Фракционный анализ

Фракционный состав исследуемого пиролизного масла определялся с использованием аппарата для разгонки нефтепродуктов АРНС-1Э (Нефтехимавтоматика, Россия), согласно методике, представленной в ISO 3405-2013 «Petroleum products. Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure»

3.3.11 Функциональный анализа

Функциональный анализ пиролизного масла и его отдельных фракций осуществлялся методом хромато-масс-спектрометрического анализа с помощью газового хроматографа Agilent 6890N (Agilent Company, USA) с масс-селективным детектором Agilent 5973. Идентификация компонентного состава исследуемых образцов осуществлялась с использованием библиотеки масс-спектров NIST-11. Фракционирование пиролизного масла было выполнено с помощью аппарата разгонки нефтепродуктов АРНС-1Э (Нефтехимавтоматика, Россия) при следующих температурных интервалах: до 100 °С, 100-150 °С, 150-200 °С и свыше 200 °С.

3.3.12 Дифференциально-термический анализ

Термическое разложение исследуемого образца пиролизного масла осуществлялось с помощью дифференциального-термического анализатора Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Netzsch, Germany). Анализ проводился при скорости нагрева $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ в корундовом тигле с перфорированной крышкой до температуры $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Образец массой ~ 20 мг помещался в поток инертной среды аргона. Скорость газового потока составляла $150\text{ мл}/\text{мин}$. Все эксперименты проводились в условиях атмосферного давления. Оценка параметров процесса термического преобразования пиролизного масла проводилась на основании физических величин (температура, время и скорость процесса термического преобразования), вычисленных графическим методом [31] с помощью ТГ-и ДТГ-кривых.

4. Экспериментальные исследования характеристик струи после распыления пиролизного масла

Высокоскоростная визуализация характеристик струи (скорость капель - W и угол раскрытия - θ) - Particle Image Velocimetry (PIV) выполнена согласно [32-34]. Данный метод подразумевает использование специальной оптики, преломляющей луч лазера, создавая интерференционные полосы. Обработка изображений осуществлялась при помощи программного обеспечения «ActualFlow», разработанного компанией Сигма-Про (г. Новосибирск) [33-35]. В момент подсвечивания области исследования импульсом лазера (как минимум два раза) осуществляется фоторегистрация струи цифровой кросскорреляционной камерой. Камера устанавливалась таким образом, чтобы оптическая ось ее объектива была перпендикулярна плоскости лазера. Принципиальная схема стенда для регистрации капельной струи пиролизного масла после пневмомеханического распыления представлена на рисунке 11.

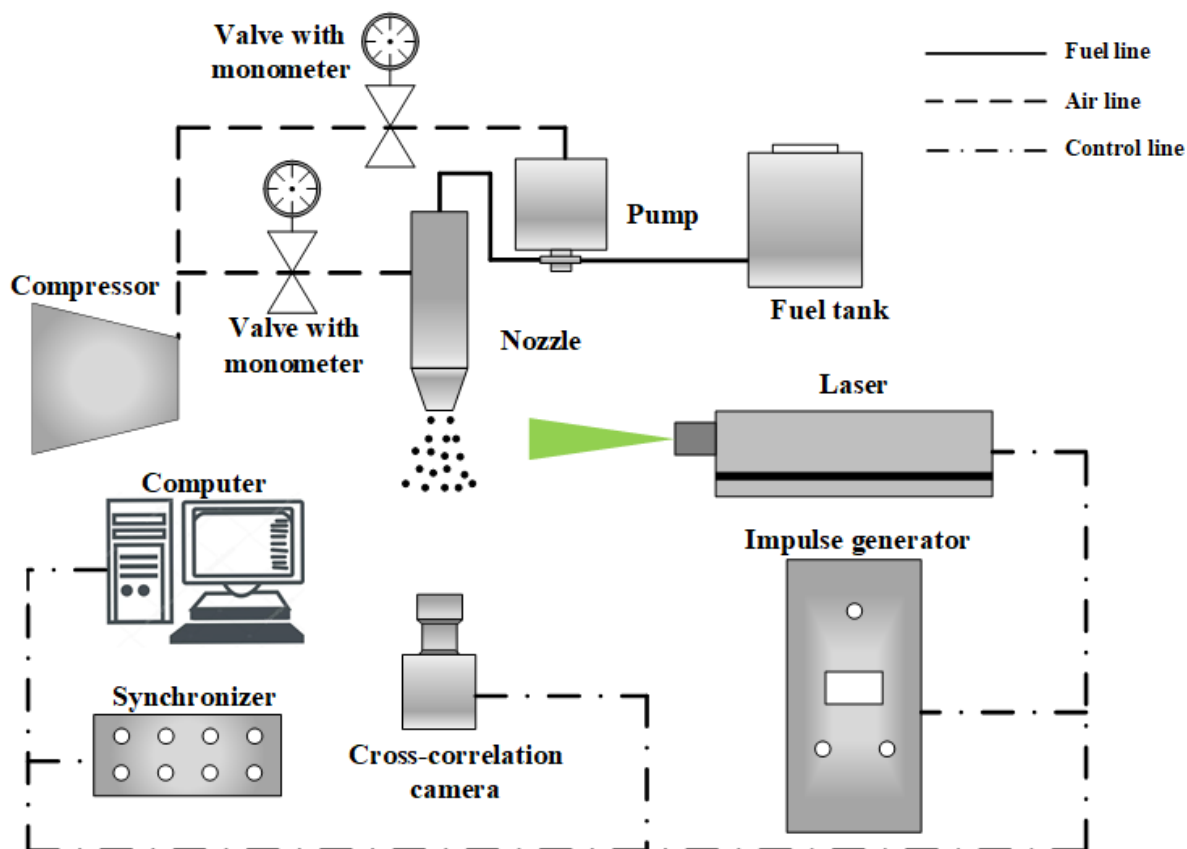


Рисунок 11 –Принципиальная схема стенда регистрации водоугольного распыления топлива

Подача пиролизного масла осуществлялась из бака хранения топлива при помощи мембранного насоса с пневматическим приводом. В качестве распыляющего агента использовался воздух, подаваемый компрессором на пневмомеханическую форсунку с внутренним смешением. Диаметр сопла форсунки 2.5 мм. Подсветка струи распыляемого масла выполнялась лазерным ножом, ориентированным по оси факела. Внешний вид экспериментального стенда распыла жидких топлив, схема форсунки и процесса соосного распыления пиролизного масла представлен на рисунке 12.

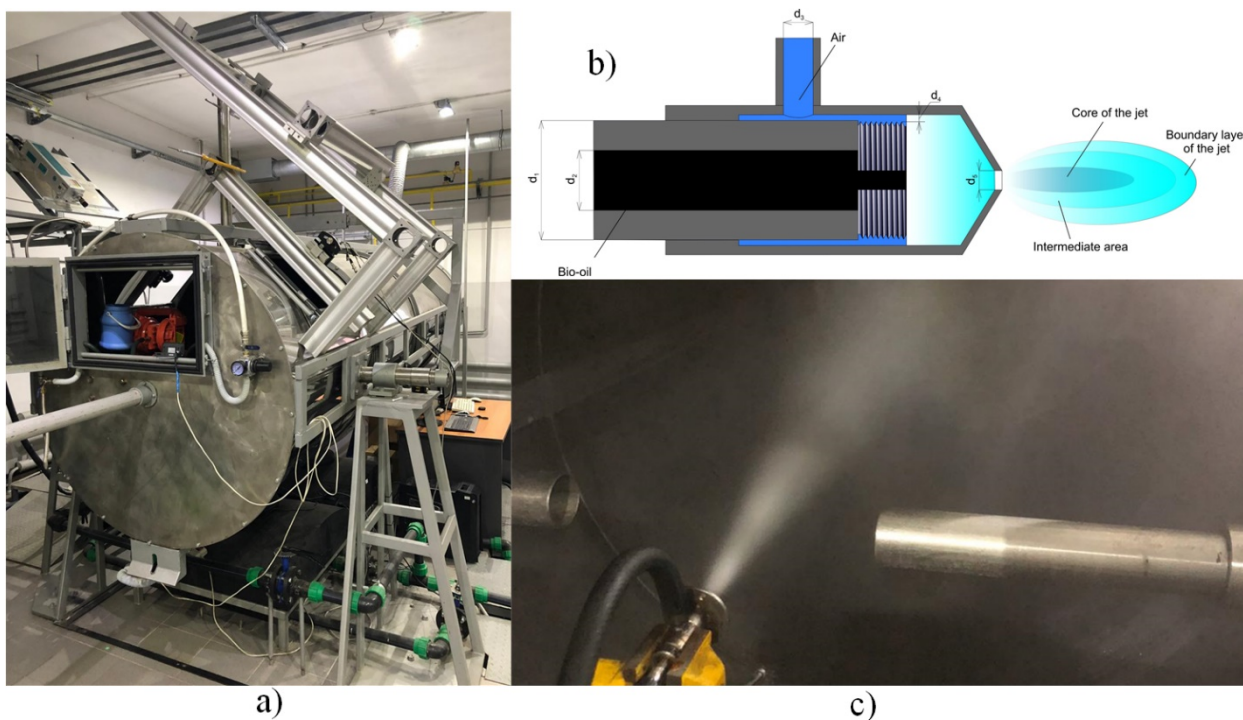


Рисунок 12 – Внешний вид экспериментального стенда (а), схема пневмомеханической форсунки (b) и процесса распыла пиролизного масла (с)

Пневмомеханическая форсунка (рисунок 2b) для распыления исследованного пиролизного масла выполнена из нержавеющей стали. Основные размеры представлены в таблице 8. Форсунка состоит из трех частей: корпуса с входными каналами топлива и распыляющего агента, а также двумя съемными головками. Способ соединения корпуса и головки – резьба. Пиролизное масло, протекает по внутреннему каналу диаметром d_2 и попадает в камеру для смешения с распыляющим агентом. Воздух поступает через входной канал диаметром d_3 , затем по кольцевому зазору также попадает в камеру смешения. Полученная топливно-воздушная смесь под давлением распыляется через выходное устье форсунки диаметром d_5 .

Таблица 8 - Значения геометрических характеристик

Параметр	Значение, мм
Внешний диаметр форсунки d_1	20
Диаметр входного канала топлива d_2	8

Диаметр входного канала воздуха d_3	4
Высота канала подачи воздуха в камеру смешения d_4	2
Диаметр выходного устья форсунки d_5	2.5

Использовавшиеся в экспериментах устройство для распыления пиролизного масла представляет собой достаточно типичную конструкцию. Изготовлена форсунка из стали позволяет распылять топливные суспензии с различными характеристиками (вязкость, плотность и т.д.) совместно с распылительным агентом (воздух) или же без него. Конструкция форсунки выполнена с учетом анализа литературы, например [36-38], который показал, что исследования характеристик струи топлива после распыления выполняются с использованием двухжидкостных форсунок, в которых топливо и распыляющий агент выходят из сопла устройства распыления параллельно в осевом направлении.

При проведении экспериментов значения давлений распыляющего агента задавалось $P_a=0,28$ МПа и топлива $P_f=0.30$ МПа, что соответствует условиям реальных котлоагрегатов [39]. Давление распыляющего агента выставлялось на 0.02 МПа меньше давления топлива с целью исключения эффекта «задавливания» вязкого пиролизного масла воздухом в форсунке и далее по топливному тракту. Время проведения эксперимента составляло 80 с. Такой интервал времени является достаточным для формирования стабильной структуры струи. Размеры области исследования составляли: в продольном направлении струи 0.1 м, перпендикулярно оси 0.05 м. Эксперименты выполнены в хорошо воспроизводимых условиях при температуре пиролизного масла 50 °С и окружающей среды 20 °С и относительной влажности 65 %. Предварительный нагрев топлива выполнен с целью снижения его вязкости до значений (70-80 мПа·с [40]), позволяющих беспрепятственно осуществлять его распыление. До начала проведения экспериментов через топливную линию «бак хранения-топливный тракт-

насос-топливный тракт-форсунка» прокачивалась вода, нагретая до температуры 80 °С, что обеспечивало предварительный прогрев системы.

4.1 Капельное зажигание и горение

Исследование процессов зажигания и последующего горения одиночных капель углеводородов проводилось с помощью экспериментального стенда, принципиальная схема которого представлена на рисунке 13.

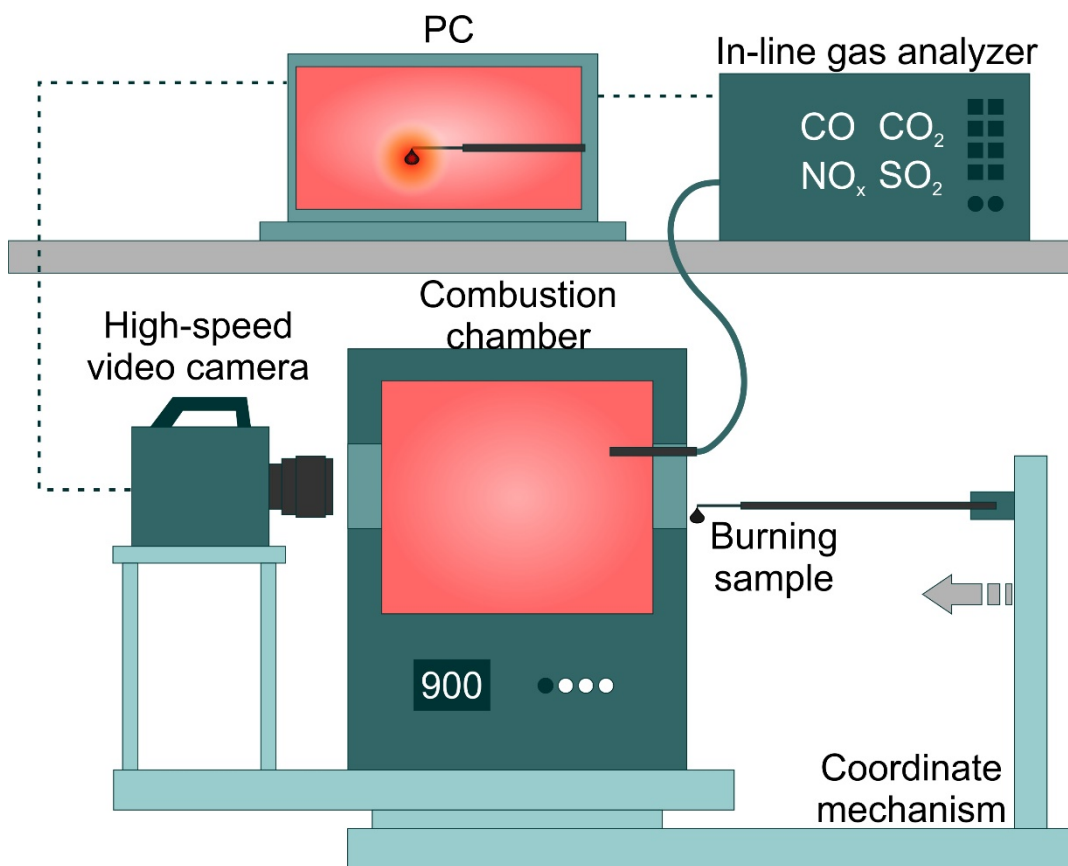


Рисунок 13 - Экспериментальный стенд для исследования процесса капельного горения жидкого топлива

Основными элементами стенда (рис. 3) являются: камера сгорания в виде терморегулируемой печи ПМ-1400 (Русуниверсал, Россия) с цифровым регулятором температуры (погрешность измерений $\pm 1-3$ °С) объемом 0.012 м³; высокоскоростная видеокамера Fastcam SA4 5 (Photron, США) с форматом изображения - 1024×1024 пикселей (размер пикселя 20 мкм), глубиной цвета 12 бит, частотой съемки – 1000 кадров в секунду; платформа координатного

механизма, предназначенного для ввода в печь капли жидкого топлива с погрешностью перемещения в пространстве менее 1 мм; поточный газоанализатор Тест-203 (БОНЭР, Россия).

Методика исследования процессов зажигания и горения одиночных капель пиролизного масла состояла из нескольких этапов. В терморегулируемой печи устанавливалась требуемая температура нагрева (в интервале 500-1000 °С, с промежуточным шагом 50 °С), регистрируемая хромель-алюмелевой термопарой. Соответствующие температуры характерны условиям подачи распыленных жидких топлив в топочную камеру современных котельных установок [41]. Далее капля пиролизного масла с помощью механического дозатора наносилась на металлический стержень-держатель (выполнен из стальной проволоки) координатного механизма, ход которого калибровался по заданной координате в центр камеры сгорания и приводился в действие с помощью РС. Анализируя результаты исследований [42-43] установлено, что капли всех жидкостей в полете непрерывно деформируются. При этом, если капля приняла форму диска [42], то ее характерный размер по одному координатному направлению становится много больше двух других. Также установлено [43], что две движущиеся последовательно капли могут сливаться, если размер второй больше предыдущей. После распыления пиролизных масел размер капель может достигать 1.5 мм и более [44-45].

Одновременно с началом движения штока с каплей топлива в сторону камеры сгорания проводилась видеофиксация. Уходящие газы (CO, CO₂, NO_x) фиксировались с помощью поточного газоанализатора. The selection of gas-phase combustion products was carried out with a probe installed near the sample in the combustion chamber.

Сравнительная оценка характеристик процессов зажигания и горения при различных температурах греющей среды проводилась посредством анализа времени задержки зажигания, пламенного и общего горения, которое фиксировалось с помощью скоростной видеокамеры. Временем задержки зажигания считалось время от момента входа держателя с каплей пиролизного

масла в фокус камеры до начала образования видимого свечения поверхности топлива, что соответствовало началу процесса горения. Период пламенного горения фиксировался, начиная с момента образования видимого свечения и заканчивая исчезновением пламени. А общее время горения фиксировалась от момента образования видимого свечения до полного затухания образца (углеродного остатка).

Эксперименты выполнены в идентичных и хорошо воспроизводимых условиях при комнатной температуре 20 ± 1 °С и относительной влажности $65 \pm 3\%$. Значения систематических погрешностей при измерениях времени задержки зажигания и пламенного горения одиночных капель пиролизного масла и их начального характерного размера (погрешность высокоскоростной видеокамеры Photron Fastcam SA4 7) и температуры окислителя (погрешность хромель-алюмелевой термопары) составляют во всех экспериментальных сериях менее 4% при измерении характерного размера капли, менее 0.3% при измерении времени задержки зажигания и пламенного горения капель топлива и ± 3 °С при измерении температуры греющей среды. Процесс зажигания топлива считался устойчивым в случае регистрации хорошо видимого свечения (или пламени) и последующего полного сгорания капли. В настоящей работе было выполнено не менее 10 экспериментов для каждого образца при фиксированной температуре греющей среды.

5. Результаты и обсуждения

5.1 Физико-химические характеристики

Характеристики и элементный состав исследуемого образца пиролизного масла представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Физико-химические характеристики

Характеристика	Значение
Плотность, кг/м ³	
При 50 °С	1180
При 80 °С	1160
Динамическая вязкость, мПа·с	
При 50 °С	184.16
При 80 °С	29.94
Кинематическая вязкость, мм ² /с	
При 50 °С	154.90
При 80 °С	25.69
Температура застывания T _з , °С	7
Температура вспышки T _{всп} , °С	133
Теплотворная способность, МДж/кг ^а	25.01
Содержание воды, %	4.5
Зольность, %	1.4
рН	2.7
Фракционный состав	
5 % об.	151 °С
10 % об.	209 °С
15 % об.	233 °С
Элементный состав, мас.% ^{daf}	
С	60.3
Н	8.0
N	2.2
S	-
О	29.5

^{daf} - в пересчете на горючую массу, ^а – аналитическая масса топлива.

Полученное значение плотности пиролизного масла, которое сопоставимо с данными других работ [46-48] свидетельствует, что исследуемый образец преимущественно состоит из тяжелых фракций жидких углеводородов. С повышением температуры с 50 до 80 °С изменение плотности составило 0.02 кг/м³. В свою очередь при нагреве вязкость пиролизного масла снижается в 6 раз, что делает его вполне пригодным для распыления в форсунках горелочных устройств энергетических котлов.

Значение плотности и вязкости определяет распыление топлива в топочном пространстве. От условий распыления зависит полнота испарения и сгорания топлива, а также КПД котла. С увеличением вязкости топлива уменьшается его полнота сгорания с последующим увеличением удельного расхода топлива, а также возрастает дымность продуктов сгорания. Высокое значение вязкости пиролизного масла является одной из основных причин отсутствия его широкого внедрения на объектах энергетики [49]. Это связано с наличием смол в составе данного вида топлива.

Полученное значение температуры застывания составило 7 °С, что указывает на невозможность его использования в исходном виде для холодного климата и требует дополнительного подвода тепла или применения антизамерзающих добавок, в качестве которых может выступать дизельное топливо, имеющее низкую температуру застывания (-40 – (-50) °С) и высокую теплотворную способность (44-46 МДж/кг) [50]. Температура вспышки составила 133 °С, которая сопоставима со значением данного параметра для классического нефтяного мазута [51-52]. Таким образом использование данного вида топлива не потребует дополнительных решений по обеспечению систем пожарной безопасности и могут быть использованы аналогичные технические условия, которые предъявляются для классического нефтяного мазута.

Значение Q_{i}^r исследуемого пиролизного масла сопоставимо с другими видами топлива [53] и является достаточным для энергетического использования в топках котлов при производстве тепловой энергии. Элементный состав исследуемого образца характеризуется отсутствием серы и высоким

значением содержания кислорода (около 30%). Это обусловлено типом используемого сырья для производства пиролизного масла, в составе которого содержится большое количество кислородосодержащих молекулярных связей [49]. В целом полученный результат элементного анализа сопоставим с данными других работ [47,52,54].

Содержание воды и зольного остатка, которые являются топливным балластом, составили 4.5 и 1.4 мас.% соответственно. Низкое значение содержания воды в исследуемом образце (таблица 1), которое обычно составляет около 15-30 мас.% [46-48, 55] обусловлено предварительной термической обработкой исходного сырья (осушкой) и условиями конденсации парогазовой смеси образующейся в процессе пиролиза.

По данным фракционного состава видно, что исследуемый образец преимущественно состоит из тяжелых соединений, что косвенно подтверждается полученными значениями плотности и вязкости.

На рисунке 14 представлены результаты термического разложения исследуемого образца пиролизного масла в инертной среде аргона.

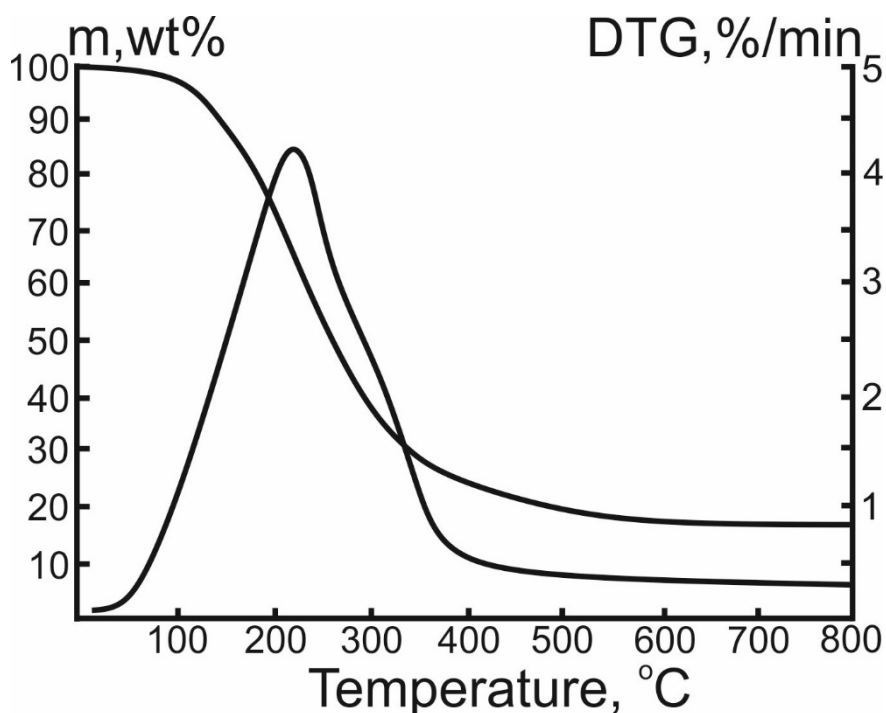


Рисунок 14 - Данные ТГ и ДТГ для процесса термического разложения образца пиролизного масла. Среда - аргон 150 мл/мин, скорость нагрева 10 °С/мин, масса навески ≈20 мг.

Согласно данным ТГ, температура начала интенсивной потери массы (разложения) T_d составила около 123 °С, которая в целом коррелирует со значением температуры вспышки $T_{всп}$ (таблица 2).

В температурном интервале 25-100 °С убыль массы образца составила около 3.5 мас.%, что связано с испарением воды и началом кипения легкой углеводородной фракции. Далее до температуры 200 °С, убыль массы составила 23.5 мас. %. В температурном интервале 200-300 °С соответствующему кипению средней фракции, потеря массы составила 34.5 %. И наконец при температуре свыше 300 °С, которая относится к кипению более тяжелых соединений, изменение массы составило около 19 мас.%. Начиная с 563 °С убыль массы образца не наблюдается, что связано с формированием углеродного остатка, который составил с учетом зольности (таблица 2) около 18 мас.%.

Из рисунка 4 также видно, что ДТГ-профиль исследуемого образца имеет мономодальную форму, определяющейся в температурном интервале 73-408 °С, с наличием характерных плеч и малоинтенсивных рефлексов в высокотемпературной области процесса термического преобразования (408-563 °С). При этом максимальная скорость реакции ($w_{max}=0.41$ мас.%/мин) была зафиксирована при температуре $T_{max} = 223$ °С.

Результаты функционального анализа пиролизного масла и его различных фракций приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Соединения пиролизного масла и его различных фракций*, area %

Образец фракции	до 100 °С	100-150 °С	150-200 °С	более 200 °С	Пиролизное масло

пиролитическо й воды					
Кислая вода	-	2.14	4.23	21.37	14.38
Кислоты и ангидриды	9.45	3.36	11.7 5	-	8.25
Ароматические углеводороды	0.79	-	1.34	10.95	12.46
Кетоны	28.5 1	8.94	22.9 6	52.17	33.85
Соединения фенола	21.8 6	80.5 1	46.6 1	-	17.61
Соединения фурана	11.2 5	1.06	10.8 2	-	-
Эфиры	9.52	2.36	1.24	15.51	10.72
Гидразин	17.3 7	-	-	-	-
Альдегиды	1.25	-	1.05	-	-
Cyclohexanol	-	1.63	-	-	-
Изопропиламин	-	-	-	-	2.73

*Данные хромато-масс-спектрометрического анализа были разделены по укрупненным группам компонент. Расширенные данные приведены в приложении 1.

Исследуемые образцы пиролизного масла и отдельные его фракции имеют очень сложный состав, который включает в себя около 100 обнаруженных соединений (приложение 1). К преобладающим компонентам относятся фенольные соединения, кетоны, а также кислоты и ангидриды. Перечень обнаруженных компонент в целом сопоставим с данными других авторов [56].

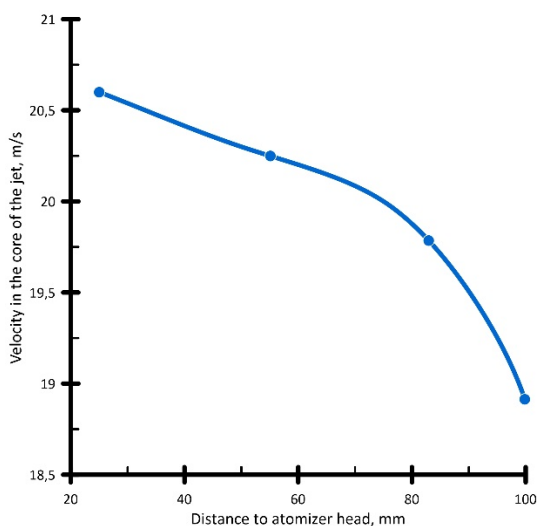
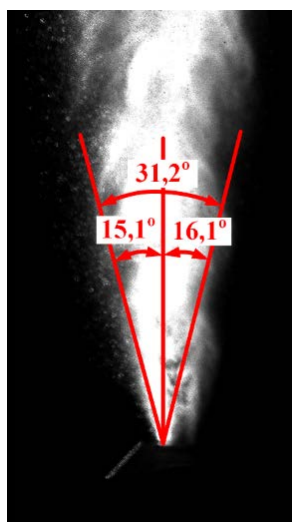
5.2 Распыл

Результаты экспериментальных исследований характеристик струи в процессе соосного распыления потока представлены на рисунке 15 в виде фотографии высокоскоростной визуализации и данных о распределении скоростей каплей топлива в поперечных сечениях струи.

На представленном изображении (рисунок 15а) угол раскрытия струи пиролизного масла после распыления обозначен линией красного цвета. Известно несколько способов определения угла раскрытия струи. Например в [57], отмечается, что нет единой методики для определения этой величины. Некоторые исследователи для определения геометрии струи используют прямую линию, проходящую через верхнюю часть контура струи [58-59]. В [60] предлагается использовать прямую подгонку с применением линейной регрессионной посадки на распылительной кромке [61-62]. В настоящей работе усредненное значение угла ($\bar{\theta}$) раскрытия установлено после обработки не менее 20 снимков каждого состава. Значение усредненной величины угла раскрытия струи определялось по формуле:

$$\bar{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n}$$

где θ_i – значение угла раскрытия струи на i -ом изображении; n – число изображений в совокупности.



а

б

Рисунок 15 - Угол раскрытия (а) и распределение скоростей капель топлива в поперечных сечениях струи (б) после распыления пиролизного масла

Из рисунка 15 (а) видно, что угол раскрытия струи после распыления, нагретого до 50 °С пиролизного масла составил 31.2°. Струя имеет достаточно однородную структуру с преобладающим размером капель не более 0.2 мм. Такие значения средних размеров капель достаточно характерны для масел после распыления, например [63]. При этом траектория движения капель проходит в пограничной области струи, которые в дальнейшем разрушаются за счет аэродинамического сопротивления внешней среды. Это приводит к возникновению облака аэрозольных частиц малых размеров в процессе распада струи. Важно отметить, что высокая вязкость топлива, препятствует деформации капель за счет аэродинамического сопротивления окружающей среды (воздух). Такие капли топлива, как правило, после столкновения с другими разрушаются на несколько капель меньшим размером. При этом их траектории движения после первичного дробления практически не изменяются и ориентированы хаотично. В результате это является одной из причин почему характеристики струи после распыления вязких суспензий ухудшаются.

Анализ результатов показал, что распределения скоростей капель суспензии по осевой координате в нескольких характерных поперечных сечениях струи – на расстояниях $Z=25$ (I), $Z=50$ (II), $Z=75$ (III) и $Z=100$ (IV) мм от форсунки (рисунок 5б) достаточно существенно отличаются. Установлено, что максимальные значения скоростей капель топлива достигаются непосредственно в центре струи (по осевой координате). В области регистрации струи (25-100 мм от форсунки по продольной координате) средняя скорость движения капель пиролизного масла снижается на 9%.

5.3 Зажигание и горение

Зависимости изменения времен задержки зажигания, пламенного и общего процесса горения одиночных капель исследуемого образца пиролизного масла от температуры греющей среды ($T_g = 400-800\text{ }^\circ\text{C}$) представлены на рисунке 16.

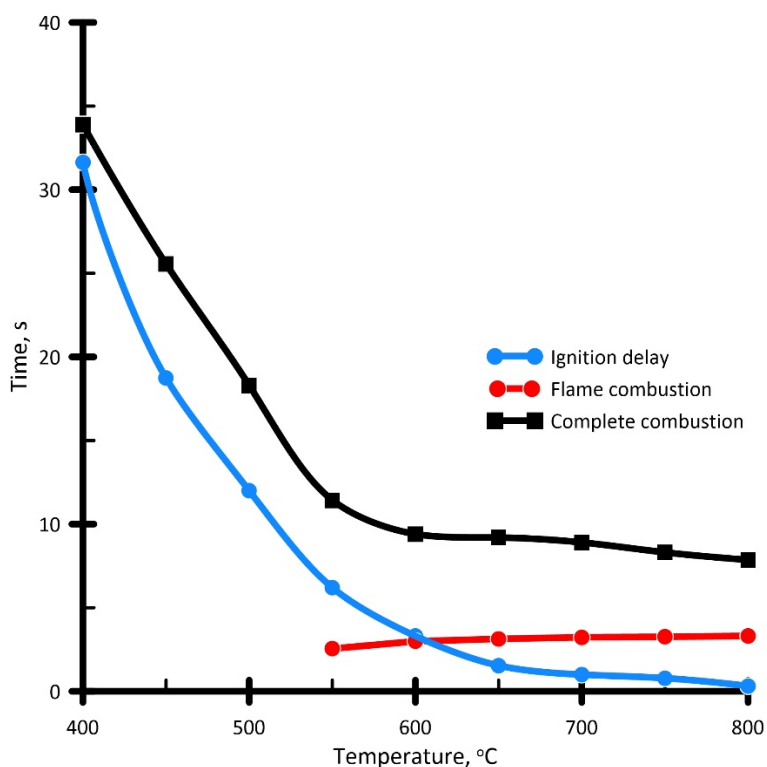


Рисунок 16 – Зависимости времени задержки зажигания, пламенного и полного горения одиночных капель образца пиролизного масла от температуры греющей среды 400-800 °C

Наибольшее значение времени задержки зажигания исследуемого образца пиролизного масла наблюдается при $T_g=400\text{ }^\circ\text{C}$. С повышением температуры греющей среды (от 400 °C до 800 °C) время задержки зажигания сокращается с 31.6 до 0.3 с и характеризуется экспоненциальной зависимостью, что также согласуется с результатами авторов других работ [64-65]. Важно отметить, что при температуре греющей среды свыше 500 °C наблюдается более интенсивное снижение параметра T_i . Это может быть связано с интенсификацией парообразования и выделения горючих продуктов, активирующих газофазное зажигание капли. Начиная с температуры $T_g = 600\text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается снижение динамики относительного изменения времени

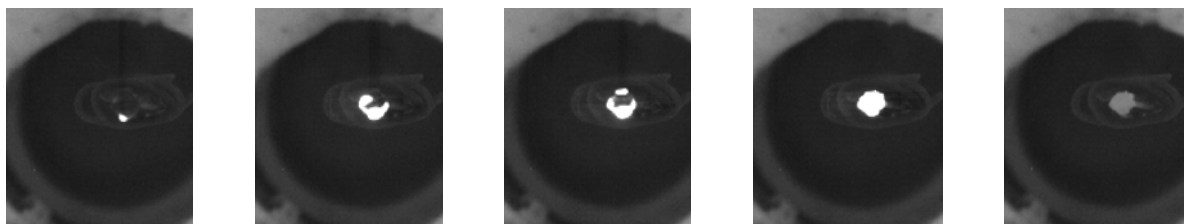
задержки зажигания. Аналогичная зависимость прослеживается и для общего времени процесса горения пиролизного масла.

В том числе отметим, что с ростом температуры греющей среды наблюдается увеличение времени горения одиночной капли пиролизного масла в режиме пламени, образование которого было зафиксировано в температурном интервале $T_g = 550 - 800$ °С. Данный эффект может быть связан с поверхностным коксованием капли в результате резкого повышения температуры греющей среды, что затрудняет диффузионное взаимодействие окислителя с горючими компонентами жидких углеводородов. Полученная зависимость времени пламенного горения исследуемых жидких углеводородов от роста температуры греющей среды также согласуется с литературными данными других авторов [66]. При этом общее время горения T_f имеет аналогичную зависимость, как и для параметра T_i .

На рисунке 17 представлены результаты (видеокадры) экспериментальных исследований процессов зажигания и горения одиночных капель исследуемых углеводородов в температурном интервале греющей среды 500-800 °С.

Процесс зажигания и горения исследуемых углеводородов можно разделить на несколько этапов аналогично [67]. Первый этап - это время инертного нагрева одиночной капли углеводорода. На втором этапе происходят процессы интенсивного испарения, образование летучих веществ и формирование смеси горючих газов. Третий этап – интенсивное химическое взаимодействие горючих компонент и окислителя в высокотемпературной газовой среде. Четвертый этап – гетерогенное горение, образующегося углеродного остатка.

500 °С



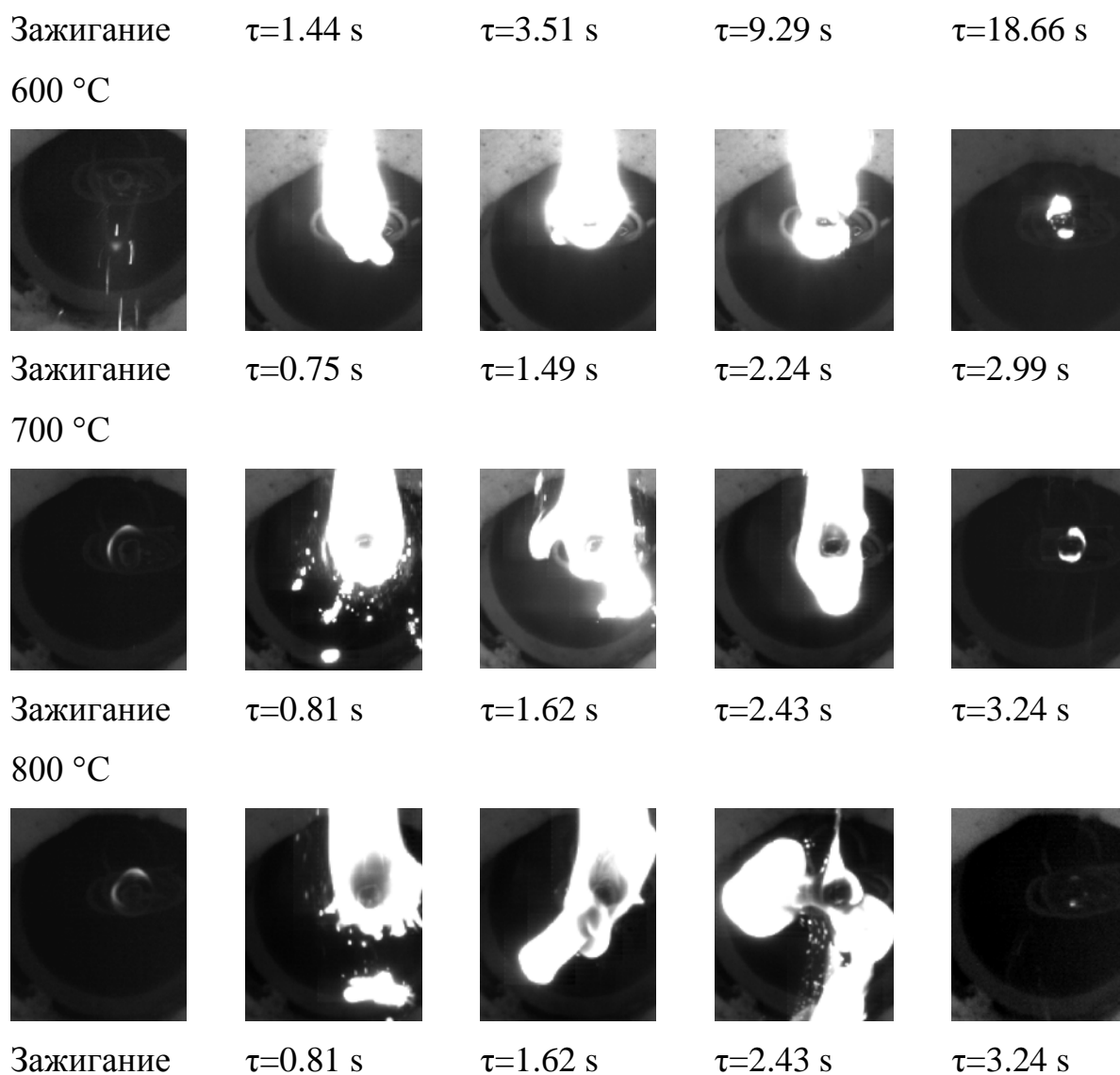
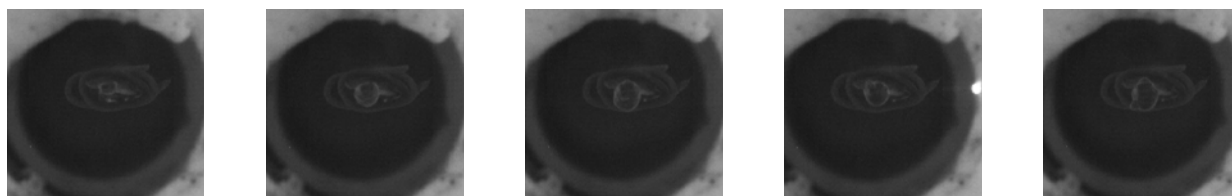


Рисунок 17 - Видеокадры зажигания и последующего горения капле пиролизного масла при температурах греющей среды 500-800 °С

По полученным видеокадрам возможно сформулировать физическую модель исследуемых процессов зажигания и последующего горения одиночных капле пиролизного масла. Так, после введения образца начальным характерным размером ($D=1.5$ мм) в камеру терморегулируемой печи начинается ее интенсивный нагрев. Далее компоненты углеводородов [68] начинают испаряться с приповерхностных слоев капли. Признаками, идентифицирующими эту стадию процесса (рисунок 18 являются трансформация поверхности капли, изменение ее размера по продольной и поперечной координатам, внешнего вида (переход от «глянцевого» к

«матовому»), что также согласуется с данными других работ [54, 69]. Эти процессы более или менее выражены в зависимости от температуры греющей среды.



Момент

$\tau=1.97$ s

$\tau=4.98$ s

$\tau=6.16$ s

$\tau=8.13$ s

ввода

Рисунок 18– Типичные видеокadres трансформации капли пиролизного масла в процессе инертного нагрева при температуре греющей среды 500 °С

В процессе инертного нагрева формируется паровое облако с горючей смесью [70] вокруг поверхности всей капли. Газофазное зажигание которой реализуется при достижении минимально необходимых концентраций паров углеводородов при соответствующей температуре.

Следом за газофазным зажиганием наблюдается образование постепенно развивающегося пламени вокруг капли, с выраженным изменением ее поверхности (рисунок 6). Это может указывать на то, что первичное испарение топлива (легких углеводородов) происходит с поверхности капли и последующей концентрации более тяжелых топливных компонент, делая оболочку капли более вязкой [71]. Исключением является горение капли пиролизного масла при температуре греющей среды 500 °С, процесс которого протекает без образования видимого пламени в режиме медленного горения (тления). Образование пламени было зафиксировано при температуре $T_g = 550$ °С (рисунок 6).

После начала интенсивного газофазного горения возникают микровзрывы, которые также сопровождаются с деформацией капли и отрывом от ее поверхности малых (менее 0.4 мм) по размеру капель в виде искрообразных спутников. Эпицентр образования микровзрывов наблюдается, как с

поверхности, так и с внутренней части капли пиролизного масла. При этом искажение формы капли в данный момент связано с возникновением непрерывных поверхностных микровзрывов. Внутренний микровзрыв происходит в результате формирования микропузырьков в более крупные пузырьки при парообразовании и перегреве. Далее пузырьки, содержащие горючие продукты сближаются с приповерхностным слоем капли, после частичного разрыва или нарушения структуры которого данные продукты высвобождаются из внутренней части капли в виде искрообразных спутников (капель). Согласно работе [51] образование микровзрывов является предшественником формирования пламенного горения капли.

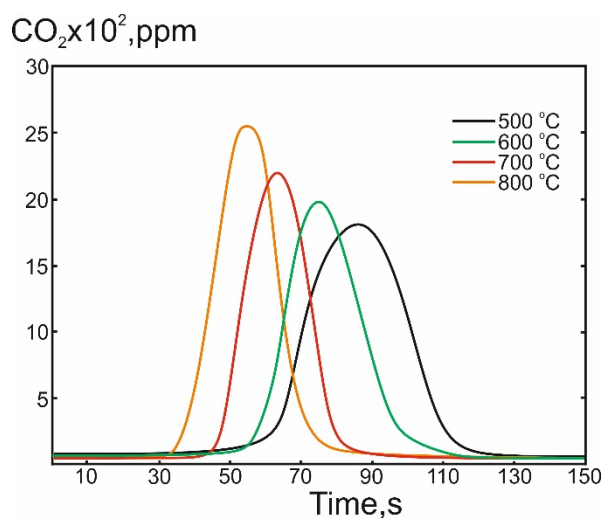
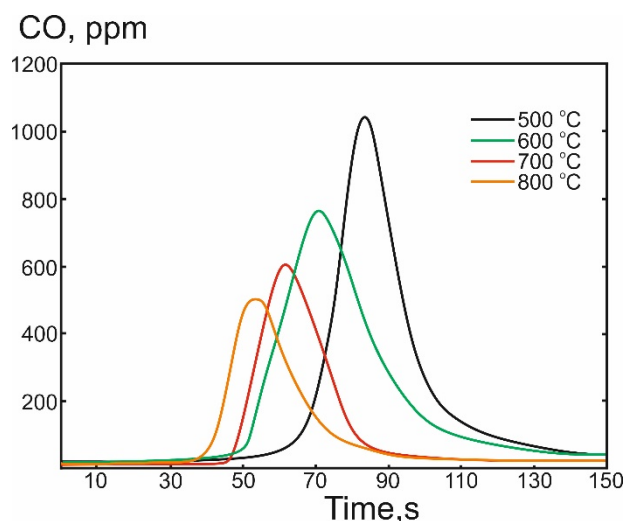
На частоту образования микровзрывов влияет температура греющей среды. Так, при $T_g = 700 \text{ }^\circ\text{C}$ и $800 \text{ }^\circ\text{C}$ возникновение микровзрывов наблюдается на всем временном интервале пламенного горения. В свою очередь повышение интенсивности, проявляющейся в количестве образующихся искрообразных спутников, частоте повторения и расстояния их отдаления от поверхности капли, можно связать с интенсификацией парообразования содержащейся воды в составе пиролизного масла (таблица 2).

Важно отметить, что расширение фронта горения при $T_g = 600 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$, размер которого превышает начальный характерный размер капли в несколько раз, начинается на раннем этапе пламенного горения. Таким образом, выгорание горючей смеси газов вблизи поверхности капли топлива способствует дополнительному нагреву всей капли. Далее по процессу наблюдается повышение интенсивности горения с образованием большого пламени, имеющего неустойчивую форму (в результате образования непрерывных микровзрывов). После выгорания летучих топливных компонент, поверхность капли осушается с интенсивным сужением фронта пламени. При этом в центре капли образуется углеродный остаток (рис. 4), дальнейший процесс термического преобразования которого протекает в режиме окисления. Энергии, выделяемой в процессе газофазного горения достаточно, чтобы ускорить процесс испарения углеводородов из жидкого ядра капли, развить

процесс распространения фронта гетерогенного горения от поверхности капли к ее центру, до тех пор, пока не выгорят углеводороды. В виду высокого содержания летучих компонент в рассматриваемом образце, данная стадия весьма непродолжительна и составляет 4.6-8.9 с в зависимости от температуры греющей среды (рисунок 6).

5.4 Газофазные продукты горения

На рисунке 19 представлены зависимости выделения различных газофазных соединений (CO , CO_2 и NO_x) в продуктах горения исследуемого образца пиролизного масла при различных температурах греющей среды ($T_g=500-800$ °C).



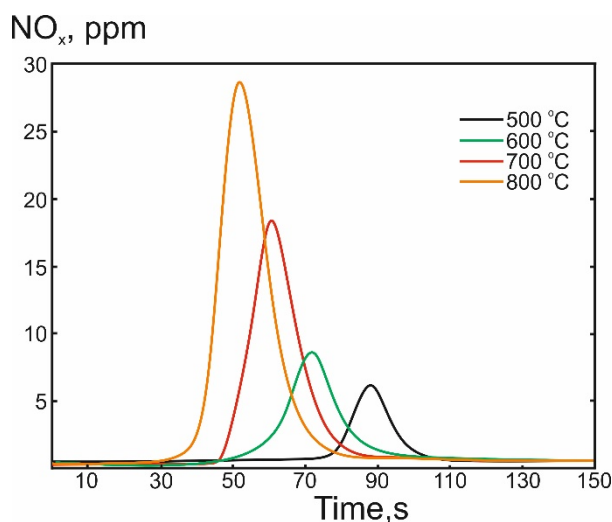


Рисунок 19 - Зависимости концентрации газообразных продуктов, образующихся при горении исследуемого образца пиролизного масла от времени при различных температурах греющей среды ($T_g = 500 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$)

Видно, что с ростом температуры греющей среды (от 500 до 800 °C) наблюдается снижение максимального значения концентрации CO в составе газофазных продуктов горения (около 60%), что обусловлено интенсификацией процесса горения жидких углеводородов при более высоких температурах. В свою очередь, с ростом T_g для всех рассматриваемых образцов наблюдается увеличение максимального значения концентрации CO_2 в газофазных продуктах горения от 1750 до 2510 ppm. При этом изменение зависимости максимальной концентрации выделения CO_2 от роста температуры греющей среды T_g имеет линейный характер. Увеличение концентрации CO_2 вероятнее всего обусловлено более интенсивным окислением образующегося CO при сравнительно постоянном значении общего времени процесса пламенного горения жидких углеводородов (рисунок 6) при более высоких температурах греющей среды (600-800 °C). Также можно добавить, что дополнительное окисление CO может быть связано с увеличением частоте образующихся микровзрывов (рисунок 6), которые могли способствовать интенсификации взаимодействия горючих топливных компонент и окислительной средой. В частности, это связано с тем, что при нагревании жидкого топлива, вода в микрокапельках испаряется

первой, так как является более летучей, чем жидкие углеводороды, что приводит к их дальнейшим микровзрывам. Это происходит при температуре, которая намного выше, чем температура кипения воды. Дисперсия капель топлива полезна для его смешивания с воздухом, что позволит активизировать воздушно-топливное взаимодействие. Таким образом, это усиливает вторичное распыление топлива во время его сгорания с образованием легковоспламеняющихся газов, таких как CO и H₂.

Важно добавить, что с повышением температуры греющей среды (от 500 до 800 °C) наблюдается сужение временных интервалов профилей, характеризующих выделение CO и CO₂ на 64%, что обусловлено сокращением общего времени горения одиночной капли пиролизного масла от момента ее зажигания до полного затухания (рисунок 6).

Повышение концентрационного максимума выделения NO_x при более высоких температурах греющей среды (начиная с 700 °C), можно связать с дополнительным вовлечением молекулярного азота из воздуха, что также согласуется с данными других работ [72].

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

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В связи с тем, что разрабатываемая установка ресурсоэффективной технологии замкнутого цикла пиролиза древесных отходов является бизнес проектом и производит несколько продуктов, то потребителями будут разные отрасли, как тепловые станции так и фермерское хозяйство.

6.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы

успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [2].

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

- Пиролиз древесных отходов

Пиролиз древесины позволяет получить не только древесный уголь, но и жидкие, газообразные остатки. На первой стадии отходы разделяются на отдельные части и сушатся.

Затем происходит сам пиролиз, в ходе которого мусор разлагается без доступа воздуха при температуре более 400 °С. Затем уголь охлаждается, а возникшие пары подвергаются конденсации.

В процессе пиролиза древесины участвуют лиственные деревья. Помимо угля, из жидкого остатка получают смолу, которая используется для производства уксуса, спирта и другой продукции. Полученный газ (газообразные остатки) — это в большей степени метан и углерод.

- Гидролиз древесных отходов

Метод гидролиза наравне с пиролизом относится к химической переработке древесины. Процесс довольно специфичен, ведь его принцип заключается в воздействии слабой кислоты на древесные отходы. В устройстве древесные отходы подвергаются воздействию повышенной температуры, кислоты и давления. В результате дерево разлагается на целлюлозу и гемицеллюлозу — свои основные компоненты. При разложении также образуется раствор углеводов (простых сахаров), в состав которых входит лигнин. В испарителе из лигнина получается фурфурол, метиловый спирт и уксусная/муравьиная кислота в виде паров.[1].

- Газификация древесных отходов

Газификация позволяет превратить твердое сырье (древесные отходы) в горючий газ. Сгорание осуществляется с ограниченной дозировкой кислорода, которого должно быть достаточно для появления оксидов углерода. Сжигание отходов газификационным методом позволяет получить безвредный источник энергии одновременно с утилизацией мусора. Установки для газификации функционируют по прямому, либо обращенному принципу. В первом случае газ движется вверх, а поступление воздуха осуществляется внизу под колосниковой решеткой. Во втором случае, газ движется вниз, а воздух поступает сверху[1].

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 17. Положения разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 11, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Таблица 11 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Динамическая точность	0,2	5	4	2	1	0,8	0,4
2.Простота эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
3. Надежность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4.Качество регулирования	0,2	5	5	3	1	1	0,6

Продолжение таблицы 11

5. Простота наладки	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
2.Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
3.Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	34	33	25	4,4	4,2	3,05

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (1)$$

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

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + \\ + 0,1 \cdot 3 + 0,02 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,4.$$

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

В данной работе используется разработка под номером 1. Далее будем рассматривать только ее.

6.2.1 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта [2].

В данном разделе проведем SWOT-анализ выбранного проектного решения. Для этого необходимо описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта, которые появились

или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Производство разных вторичных материалов: технический углерод, пиролизное масло, металлокорд;.</p> <p>С2. Низкая конкуренция на рынке переработки отходов</p> <p>С3. Производство продукции на современном высокотехнологичном оборудовании.</p> <p>С4. Осуществляет централизованный сбор отходов.</p> <p>С5.Высокая надежность установки.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокие транспортные расходы на транспортировку отходов.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость.</p> <p>Сл3.Потребность в высококвалифицированном персонале</p> <p>Сл4. Прямая зависимость от потребительского рынка.</p> <p>Сл5. Отсутствие четких характеристик продукции, для определения сферы применения.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Повышение спроса на продукт.</p> <p>В2. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ.</p> <p>В3. Повышение цен на иные топливные ресурсы не используемые для данного объекта.</p> <p>В4.Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В5.Понижение стоимости на компоненты установки.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности».</p> <p>1. Повышение спроса на продукт из-за перехода энергетики на современную технологию сжигания с применением ЦКС.</p> <p>2. Меньшая стоимость разработки в отличие от конкурентных за счет меньшего количества требуемой аппаратуры.</p> <p>3. Ужесточение норм на выбросы загрязняющих веществ приведет к поиску нового способа переработки на который ориентирована установка.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности».</p> <p>1. Повышение спроса на продукт приведет к повышению потребности в высококвалифицированном персонале.</p> <p>2. При повышении стоимости конкурентных разработок, стоимость разработки установки на их фоне может выглядеть не высокой.</p> <p>3. При понижении стоимости компонентов системы, стоимость системы также понизится.</p>

Продолжение таблицы 12

<p>Угрозы: У1.Отсутствие спроса на продукт. У2.Повышение стоимости на компоненты установки. У3.Усовершенствование конкурентных систем. У4.Появление новых проектных решений. У5.Введение государственных требований на использование отечественных компонентов.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы».</p> <p>1. Отсутствие спроса на продукт из-за ориентированности системы на конкретные объекты.</p> <p>2. При использовании современных компонентов, повышение стоимости на приведет к удорожанию установки в целом.</p> <p>3. Появление новых универсальных установок ориентированных на любую технологию переработки древесных отходов.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы».</p> <p>1. Отсутствие спроса на продукт из-за высокой стоимости.</p> <p>2. Появление новых проектных решений, не имеющих привязки к конкретным параметрам объекта.</p>
---	---	--

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

Основным достоинством такой переработки древесных отходов является ориентированность на современный способ технологии пиролиза, который в будущем будет активно использовать в России также как и за рубежом.

У установки также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны к цене самой установки и транспортировке отходов. Выявленные недостатки возможно устранить путем проведения дальнейшей модернизации установки с использованием новых технологий.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей

по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула [2]:

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [2].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i}, \quad (3)$$

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [2]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [2]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{Вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

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

Количество календарных дней в 2021 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 66 дней.

Коэффициент календарности равен [2]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,2 \approx 2.$$

В таблице 14 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

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

Продолжение таблицы 14

Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Определение целесообразности проведения ОКР	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	-	22	-	24	-	22,8	-	23	-	46
Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6
Составление пояснительной записки ВКР	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10

Пример расчета для первой строки:

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

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

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

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [2].


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

Таблица 15 – Календарный план-график проекта

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

Продолжение таблицы 15

11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Инженер	6															
12	Составление пояснительной записки ВКР	Инженер	10															

 - Руководитель

 - Инженер

6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

6.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме [2]. Затраты на оборудование приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Пиролизная установка	1	12 000 000	12 000 000
Итого			12 000 000

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

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

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{110 \cdot 120000000}{365 \cdot 7} = 5\,166\,340 \text{ руб./год.}$$

6.4.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [2].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [2]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (8)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [2]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

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

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника [2]:

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

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

Месячный должностной оклад руководителя и инженера:

$$Z_{\text{М}}^{\text{нач}} = Z_{\text{ТС}}^{\text{рук}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 60000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 117000 \text{ руб},$$

$$Z_{\text{М}}^{\text{мас}} = Z_{\text{ТС}}^{\text{инж}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 45000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 84825 \text{ руб}.$$

$$Z_{\text{М}}^{\text{снаб}} = Z_{\text{ТС}}^{\text{инж}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 56550 \text{ руб}.$$

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}}^{\text{нач}} = \frac{Z_{\text{М}}^{\text{рук}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{117000 \cdot 10,1}{243} = 4862,9 \text{ руб},$$

$$Z_{\text{дн}}^{\text{мас}} = \frac{Z_{\text{М}}^{\text{инж}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{84825 \cdot 11,07}{219} = 4287,7 \text{ руб}.$$

$$Z_{\text{дн}}^{\text{снаб}} = \frac{Z_{\text{М}}^{\text{инж}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{56550 \cdot 11,07}{219} = 2858,5 \text{ руб}$$

Основная заработная плата руководителя и инженера:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{нач}} = Z_{\text{осн}}^{\text{нач}} \cdot T_{\text{р}} = 4862,9 \cdot 20 = 97258 \text{ руб},$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{мас}} = Z_{\text{осн}}^{\text{мас}} \cdot T_{\text{р}} = 4287,7 \cdot 30 = 128631 \text{ руб}.$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{снаб}} = Z_{\text{осн}}^{\text{снаб}} \cdot T_{\text{р}} = 2858,5 \cdot 25 = 71462,5 \text{ руб},$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 14.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{М}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Начальник смены	60 000	0,3	0,2	1,3	117 000	4862,9	20	97 258
Мастер	45 000	0,3	0,15	1,3	84 825	4287,7	30	128 631

Продолжение таблицы 18

Снабженец	30 000	0,3	0,15	1,3	56 550	2858,5	25	71 462
Итого $Z_{осн}$								297 351

6.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [2].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [2]:

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

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

$$Z_{доп}^{нач} = k_{доп} \cdot Z_{доп}^{нач} = 0,12 \cdot 97285 = 11674,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп}^{мас} = k_{доп} \cdot Z_{доп}^{мас} = 0,12 \cdot 128631 = 15435,72 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп}^{снаб} = k_{доп} \cdot Z_{доп}^{снаб} = 0,12 \cdot 71462 = 8575,44 \text{ руб.}$$

6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [2].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [2]:

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

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%, для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность – 27,1%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и инженера:

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{нач}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{нач}} + Z_{\text{доп}}^{\text{нач}}) = 0,3 \cdot (97258 + 11674,2) = 32671,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{мас}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{мас}} + Z_{\text{доп}}^{\text{мас}}) = 0,3 \cdot (128631 + 15435,72) = 42220 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{снаб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{снаб}} + Z_{\text{доп}}^{\text{снаб}}) = 0,3 \cdot (71462 + 8575,44) = 24011,2 \text{ руб.}$$

6.4.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуги, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [2].

В данном случае к ним относятся транспортировка древесных отходов.

$$Z_{\text{контр}} = 8000 \text{ руб.}$$

6.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [2]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [2].

Величина накладных расходов:

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

$$= 266874 + 32028 + 89662,4 + 8000 + 2411) \cdot 0,16 = 63836 \text{ руб.}$$

6.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [2].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Амортизационные отчисления	7232	Пункт 3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	266874	Пункт 3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	32028	Пункт 3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	89662	Пункт 3.4
5. Услуги сторонних организаций	8000	Пункт 3.5
6. Накладные расходы	63836	Пункт 3.6
7. Бюджет затрат НИИ		4672руб.

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

7.1.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом [2]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (14)$$

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

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

- регулирование тепловой нагрузки регулятором питания – исп. 1;
- регулирование тепловой нагрузки регулятором питания и регулятором топлива с импульсом «по теплу» - исп. 2;
- регулирование тепловой нагрузки регулятором топлива – исп. 3.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

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

$$I_{p2} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,65,$$

$$I_{p3} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 3,7.$$

Показатели ресурсоэффективности для 1 и 2 вариантов исполнения проекта равен 4,65 из 5, что говорит об эффективности использования ресурсов. Для 1 и 2 вариантов исполнения используется меньшее количество

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

Вывод по разделу

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

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

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

В третьей части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

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

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

8. Социальная ответственность

Введение

Пиролизная установка – это устройство, которое позволяет полностью решить проблему утилизации и переработки твердых бытовых отходов. Достоинством оборудования является экологичность и безопасность применения. В результате непрерывного пиролиза невостребованное сырье преобразовывается в качественные пользующиеся спросом материалы.

Электрическая станция представляет собой сложное инженерное сооружение, обеспечивающее основные технологические процессы по генерации, транспорту и распределению электроэнергии и тепловой энергии.

Одним из приоритетных направлений развития генерирующих компаний является внедрение доступных и эффективных методов переработки древесных отходов.

Основными методами переработки древесных отходов являются: газификация, сжигание и пиролиз.

В данном разделе рассматривается деятельность сменного инженера с точки зрения безопасности жизнедеятельности. Продолжительность рабочего дня сменного инженера, в соответствии со штатным расписанием на ЭС, составляет 8 часов. В соответствии с должностными инструкциями сменный инженер должен постоянно находиться на главном щите управления (ГЩУ).

Производственная деятельность инженера смены направлена на обеспечение бесперебойной работы и осуществление оперативно-технического руководства за турбинным оборудованием. Важнейшей задачей при эксплуатации газотурбинных установок является соблюдение правил и требований производственной и экологической безопасности.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В федеральном законе РФ от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», указано, что с вредными условиями труда сталкиваются рабочие на предприятиях горной и угольной промышленности, на металлургическом и абразивном производстве, в нефтяной и химической промышленности [26].

Государство предусмотрело, что люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями. Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в Постановлении Правительства [27].

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Законодательно предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации:

- уменьшение количества рабочих часов (36 часов в неделю и меньше);
- оплачиваемый отпуск, являющемся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней);
- происходит рост оплаты труда (не меньше 4% от оклада), – льготы для пенсионного обеспечения;
- бесплатное лечение и оздоровление;
- выдача расходных материалов – спецодежды, обеззараживающих средств [27].

Работодатель имеет право самостоятельно определять вид и размер компенсации за вредные условия труда, основываясь на Трудовом кодексе. Также он может инициировать повышение суммы. Все компенсации выплачиваются из страховых взносов работодателей по тарифам,

установленными страховыми организациями. В ряде регионов установлен специальный тариф за неблагоприятные природные условия [26].

Компенсация дополнительного отпуска за вредные условия труда для работника предусмотрена только за те дни, которые дает работодатель сверх минимального значения (более 7).

Все разновидности компенсаций не облагаются налогами. В то же время, если на данном уровне технологического развития имеется возможность устранить вредные производственные факторы, то выплата денежной компенсации уже таковой не считается. Поэтому, если выплата продолжается, то она подлежит налогообложению налог на доходы физических лиц на общих основаниях. Также из компенсационных выплат не удерживаются страховые взносы.

Кроме компенсаций, существует такое понятие как доплата за вредные условия труда, которая также может устанавливаться работодателем. Судебная практика указывает, что к такому роду доплат относится и так называемая компенсация морального ущерба сотрудникам, работающим в опасных условиях [27].

Неотъемлемой частью подготовки к работе и проверки знаний персонала является производственное обучение и система инструктажей, которая включает в себя вводный, первичный, повторный, внеплановый и целевой инструктажи.

К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие вводный инструктаж, обучение безопасным приемам и методам работы, инструктаж на рабочем месте по правилам внутреннего распорядка, технике безопасности при эксплуатации технологического оборудования по профессиям и выполнении отдельных видов работ, правилам пожарной безопасности на КС и успешно сдавшие экзамены на допуск к самостоятельной работе. Весь персонал должен уметь оказывать первую помощь пострадавшим.

Персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (СИЗ) в соответствии с типовыми отраслевыми нормами и характером выполняемой работы.

8.1.1 Компоновка рабочей зоны

Рабочее место, его оборудование и оснащение, применяемые в соответствии с характером работы, должны обеспечивать безопасность, охрану здоровья и работоспособность персонала. Конструкцией производственного оборудования и рабочего места обеспечивается оптимальное положение персонала, оно достигается регулированием: высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног. Конструкция регулируемого кресла оператора соответствует требованиям ГОСТ 21889-76 [28].

Аварийные органы управления расположены в зоне досягаемости моторного поля, при этом предусмотрены специальные средства опознавания и предотвращения их непроизвольного и самопроизвольного включения в соответствии с ГОСТ 12.2.003-91 [12].

Сидячие рабочие места оборудованы согласно ГОСТ 12.2.032-78 [29]. Конструкцией рабочего места обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Выполнение трудовых операций «часто» и «очень часто» обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля. При проектировании оборудования и организации рабочего места учтены антропометрические показатели мужчин (работают только мужчины).

На рабочем месте очень часто используемые средства отображения информации (монитор), требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости (проходит точно посередине тела, разделяя его на две симметричные половины). Часто используемые средства отображения

информации (шкаф КИП), требующие менее точного и быстрого считывания показаний, расположены в вертикальной плоскости под углом $\pm 30^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 30^\circ$ от сагиттальной плоскости. Редко используемые средства отображения информации (пульта управления, шкафы управления) расположены в вертикальной плоскости под углом $\pm 60^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 60^\circ$ от сагиттальной плоскости.

Взаимное расположение и компоновка рабочих мест обеспечивает безопасный доступ на рабочее место и возможность быстрой эвакуации при аварийной ситуации. Организация и состояние рабочих мест обеспечивает безопасное передвижение работающих.

По показателям тяжести трудового процесса работа оператора в соответствии с Р 2.2.2006-05 [30] относится к классу оптимальной (легкая физическая нагрузка. По показателям напряженности – к классу допустимой (напряженность труда средней степени). Допустимые условия труда характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не оказывают неблагоприятного действия в ближайшем и отдаленном периоде на состояние здоровья работников и их потомство. Допустимые условия труда условно относят к безопасным.

8.2 Производственная безопасность

Рассмотрим основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при эксплуатации пиролизной установки в таблице 17.

Таблица 21 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенные или пониженные параметры рабочей среды	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.[49]
2. Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.[51]
3. Движущиеся машины и механизмы на производстве зоны	+	+	+	ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные.»

8.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

8.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

На здоровье человека существенное влияние оказывают микроклиматические условия производственной среды, которые складываются из температуры окружающего воздуха, его влажности, скорости движения и излучений от нагретых предметов.

Отклонение параметров микроклимата приводит к нарушению теплового баланса. Например, понижение температуры окружающего воздуха приводит к увеличению теплоотдачи от организма за счет теплопроводности, конвекции и излучения

Параметры микроклимата в рабочей зоне главного щита управления (ГЩУ) необходимо поддерживать по СанПиН 2.2.4.548-96 [7] в соответствии с категорией работ.

Для категории Па:

- интенсивность энергозатрат 630...840 кДж/ч;
- облучаемая поверхность не более 25 %;
- интенсивность теплового облучения 100 Вт/м².

Для холодного времени года:

- температура воздуха 19...21 °С;
- температура поверхностей 18...20 °С;
- влажность 40...60 %;
- скорость движения воздуха 0,2 м/с.

Для теплого времени года:

- температура воздуха 21...23 °С;
- температура поверхностей 20...23 °С;
- влажность 40...60 %;
- скорость движения воздуха 0,3 м/с.

Для поддержания параметров воздушной среды в помещениях в соответствии с требованиями действующих санитарных и технологических норм, система вентиляции включает в себя:

- естественную вентиляцию во всех помещениях компрессорного цеха;
- приточно-отопительную вентиляцию в отсеках двигателя и нагнетателя;
- вытяжную вентиляцию в диспетчерской;
- установки кондиционирования воздуха;
- отопительные регистры с теплосетью.

При этом вентиляция должна обеспечивать:

- температурно-влажностный режим;
- предотвращение и снижение загазованности.

8.2.1.2 Повышенный уровень шума

Интенсивным источником шума являются предохранительные клапаны котлов. Экспериментальные измерения шума предохранительных клапанов показали, что на котельной установке высокого давления (186-10+5 Па) уровень звука в зоне обслуживания 98— 100 дБ А, на котле среднего давления (21,5-10+5 Па) соответственно 88—90 дБ А. Уровень звука в котельном зале при срабатывании клапанов составляет 105—110 дБ А. Шум от арматуры (задвижки, вентили, клапаны) вызывается главным образом дросселированием.

Допустимый уровень шума составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА [2].

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

- совершенствование технологии ремонта и своевременное обслуживание оборудования;
- использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи);
- использование средств звукопоглощения.

Средства индивидуальной защиты: ушные вкладыши; противозумный шлем; наушники [3].

Для создания нормальных условий работы дежурного персонала управление вынесено на блочные щиты. Шум, создаваемый системами управления цеха, работой персональных компьютеров, не превышает нормативные уровни шума. Сменный персонал может находиться в течение всей рабочей смены без СИЗ органов слуха [3].

8.2.1.3 Подвижные части производственного оборудования

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие получение травмы [12].

Ограждение не должно являться источником опасности и ограничивать технологических возможностей оборудования и его обслуживания [13].

Также необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица, имеющие на это право.

8.2.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

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

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

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

8.2.1.5 Расчет искусственного освещения

В качестве исходных данных будет использовано офисное помещение (рисунок 1), имеющее следующие размеры: длина 8 м (А), ширина 6 м (В), высота 3 м (Н). Высота рабочей поверхности $h_{\text{рп}} = 0,7$ м. Согласно СНиП 23-05-95* [8], требуется создать освещенность $E_{\text{н}} = 300$ Лк для системы общего освещения. Коэффициент отражения свежепобеленных стен $R_{\text{с}} = 70\%$, потолка $R_{\text{п}} = 50\%$.

Произведем расчет системы общего люминесцентного освещения.

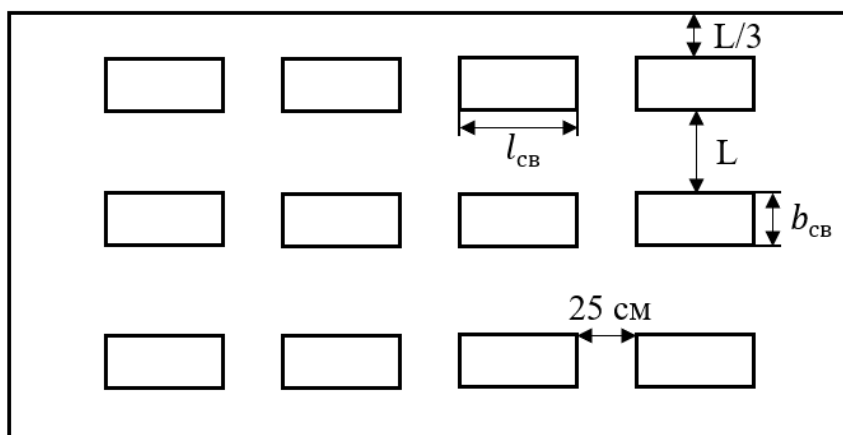


Рисунок 1 – Схема размещения светильников в помещении для люминесцентных ламп

Выбираем светильник типа ОД-2-40, имеющий 2 лампы, мощность 40 Вт, $\lambda = 1,4$, длину $l_{\text{св}} = 1230$ мм и ширину $b_{\text{св}} = 266$ мм.

На рисунке 2 показано размещение светильников в помещении.

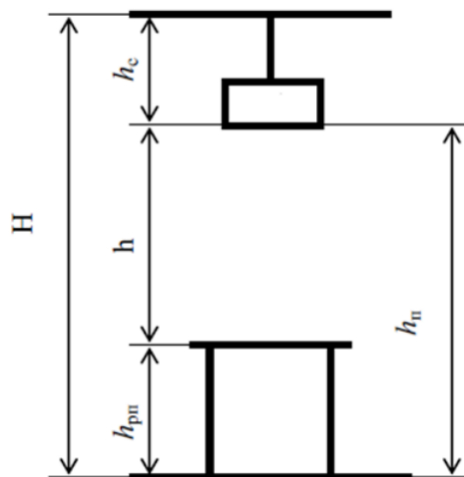


Рисунок 2 – Условное изображение допустимых расстояний между оборудованием

Высота подвеса светильника определяется по формуле:

$$h_{\text{п}} = H - h_{\text{с}},$$

где $h_{\text{с}}$ – расстояние светильников от перекрытия (свес), м.

Примем $h_{\text{с}} = 0,5$ м:

$$h_{\text{п}} = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ м.}$$

Полученное значение высоты подвеса является допустимым для принятого типа светильника.

Высота светильника над рабочей поверхностью находится по формуле:

$$h = h_{\text{п}} - h_{\text{рп}} = 2,5 - 0,7 = 1,8 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками:

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

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

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

Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3} \cdot L}{L} + 1 = \frac{6 - \frac{2}{3} \cdot 2,52}{2,52} + 1 \approx 3.$$

Количество светильников в ряду определяется по формуле:

$$n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3} \cdot L}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{8 - \frac{2}{3} \cdot 2,52}{1,23 + 0,5} \approx 4.$$

Размещаем светильники в три ряда, в каждом ряду 4 светильника. Учитывая, что в светильнике установлено 2 лампы, общее количество ламп составляет:

$$N_{\text{л}} = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} \cdot 2 = 3 \cdot 4 \cdot 2 = 24.$$

Индекс помещения находится по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{1,8 \cdot (8 + 6)} = 1,9 \approx 2.$$

Тогда коэффициент использования светового потока составляет:

$$\eta = 60\%.$$

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta},$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равный 1,5; Z – коэффициент неравномерности освещения (для люминесцентных ламп принимается равным 1,1).

Тогда световой поток лампы составляет:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 60\%} = 1650 \text{ Лм.}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу, соответствующую значению светового потока – лампа ЛД мощностью $P_{\text{л}} = 30$ Вт и с потоком 1650 Лм.

Проверяем выполнение условия:

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

$$-10\% \leq \frac{1650 - 1650}{1650} \cdot 100\% \leq +20\%;$$

$-10\% \leq 0\% \leq +20\%$ – входит в диапазон.

Определим электрическую мощность всей осветительной системы:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} = 30 \cdot 24 = 720 \text{ Вт.}$$

8.3 Экологическая безопасность

8.3.1 Защита атмосферы

В процессе работы электрических станций происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара.

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для очистки

дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая чистка.

Дымовые газы создают опасность загрязнения окружающей среды содержащимися в них токсичными веществами и тяжелыми металлами из-за этого формируются неблагоприятные экологические ситуации. Кроме того, дымовые газы являются причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования.

Одним из существенных путей воздействия дымовых газов на окружающую среду является вынос в атмосферу частиц серы, угарного газа с их поверхности в результате ветровой эрозии и последующее осаждение на почве и на поверхности водных объектов.

8.3.2 Защита гидросферы

Электрические станции забирают воду из водоемов. Перед тем как сбросить воду обратно в водоем ее остужают и очищают. Для очистки сточных вод используют механическую очистку, физико-химическую очистку, химическую очистку, биохимическую.

8.3.3 Защита литосферы

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

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

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – внешне неожиданная, внезапно возникающая обстановка, которая характеризуется резким изменением

установившегося процесса, оказывающая значительное отрицательное влияние на жизнедеятельность людей и окружающую среду.

На ГЩУ возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций:

- разрыв газопровода и утечка газа или узла подключения;
- пожар на территории;
- пожар на технологических установках;
- пожар в отсеке двигателя;
- пожар в отсеке нагнетателя.

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций необходимо:

- строгое соблюдение технологического процесса;
- строгое соблюдение правил техники безопасности, инструкций, нормативов по пожарной охране и промышленной санитарии;
- предотвращение образования взрывоопасных концентраций;
- своевременное проведение профилактических мероприятий и поддержание надёжной работы оборудования;
- контролировать правильность действий персонала, проверять уровень знаний и повышать квалификацию персонала.

Возможные чрезвычайные ситуации техногенного характера [24–25], способы предотвращения и борьбы с ними сведены в таблицу 22.

Таблица 22 – Анализ возможных чрезвычайных ситуаций

Наименование возможной ЧС	Условия возникновения ЧС	Возможные последствия ЧС	Способы и средства предотвращения	Меры по локализации
Воспламенение масла	Разрыв маслопровода, попадание масла на разогретые участки валопровода, проведение	Авария на агрегате, выход из строя системы	Контроль за плотностью маслопроводов, проведение пожароопасных работ при	Использование пожарной сигнализации и средств пожаротушения,

	пожароопасных работ вблизи маслообъектов	защиты, пожар.	наличии средств пожаротушения	прекращение подачи масла на объект
--	--	----------------	-------------------------------	------------------------------------

Продолжение таблицы 22

<p>Взрыв природного газа, используемого в качестве топлива</p>	<p>Утечка природного газа, наличие открытого источника пламени</p>	<p>Взрыв с разрушением несущих конструкций и агрегата, пожар</p>	<p>Постоянный контроль за плотностью тракта, особый контроль при проведении ремонтов, запрет пожароопасных работ вблизи блока топливного газа</p>	<p>Использование пожарной сигнализации и средств пожаротушения, прекращение подачи топливного газа. Расчёт остекления помещения нагнетателя</p>
<p>Короткое замыкание и возгорание кабелей</p>	<p>Механические повреждения, попадание воды, износ проводки, чрезмерное нагружение электросети</p>	<p>Пожар, авария генератора</p>	<p>Эксплуатация электропотребителей и кабелей генератора согласно утвержденным правилам</p>	<p>Использование пожарной сигнализации и средств пожаротушения отключение от электросети</p>
<p>Разрушение укрытия, повреждения оборудования или агрегата</p>	<p>Наводнение, сильный ветер, ураган</p>	<p>Поломка оборудования, взрывоопасная ситуация, повреждение линий связи</p>	<p>Прогноз погоды, оповещение персонала</p>	<p>Аварийный останов агрегата, разбор завалов, устранение повреждений</p>

Продолжение таблицы 22

Скачок напряжения, короткое замыкание	Попадание молнии	Выход из строя системы автоматического регулирования, оборудование, пожар в укрытии агрегата	Профилактические работы согласно графику	Аварийный останов агрегата
---------------------------------------	------------------	--	--	----------------------------

Выводы по разделу

По результатам выполнения раздела социальной ответственности было выполнено несколько важных задач:

В первом разделе были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Во втором разделе были рассмотрены основные вредные и опасные факторы пиролизной установки. Были предложены способы снижения или защиты от воздействия.

В третьем разделе были рассмотрены основные факторы, влияющие на экологию.

В четвертом разделе были рассмотрены вероятные ЧС. На примере характерной неисправности для изучаемого объекта был рассмотрен выход из аварийной ситуации и способы устранения неисправностей.

Заключение

Выполнено экспериментальное исследование низкотемпературного процесса пиролиза древесных брикетов. Процесс включал несколько стадий термической обработки: изотермический прогрев (при температуре 220 °С), пиролиз при температурах греющей среды 350-550 °С и последующее охлаждение получаемого полукокса в инертной среде азота. Нагрев древесного брикета осуществлялся косвенным способом, с помощью воздушного обогрева двустенного реактора.

Выполнено комплексное исследование технологических условий энергетического использования bio-oil. Определены физико-химические характеристики bio-oil, характер его распыла, процессов зажигания и горения с проведением анализа выделяемых газофазных продуктов сгорания при различных температурах греющей среды.

Была проведена оценка коммерческой ценности проекта. Технико-экономический анализ показал:

- коммерческий потенциал и перспективность проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
- структуру работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения
- определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.
- определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели.

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