



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

Инженерная школа энергетики
13.04.03 Энергетическое машиностроение
Проектирование и диагностирование энергетических агрегатов
НОЦ И.Н. Бутакова

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Получение энергетически полезных продуктов из низкосортного торфа в смеси с отходами лесопиления методом термической конверсии

УДК: 66-974:[662.641+662.63]

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ11	Берикболов Алишер Кайратулы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Янковский С.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т. Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю. М.	Д.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Буваков К.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гиль А.В.	К.Т.Н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обеспечивать работу диспетчерско-технологического управления в границах зоны обслуживания организации нефтегазовой отрасли
ПК(У)-2	Способен обеспечивать поставки и свод балансов газа в границах зоны обслуживания организации газовой отрасли
ПК(У)-3	Способен организовывать поставки и контроль балансов газа в границах зоны обслуживания организации газовой отрасли
ПК(У)-4	Способен проектировать, конструировать и сопровождать на всех этапах жизненного цикла энергетические установки
ПК(У)-5	Способен организовывать работы по эксплуатации газотранспортного оборудования, станций охлаждения газа и газораспределительных станций (ГРС)
ПК(У)-6	Способен осуществлять руководство работами по контролю технического состояния и техническому диагностированию на объектах и сооружениях нефтегазового комплекса
ПК(У)-7	Способен осуществлять управление системой контроля технического состояния и технического диагностирования на объектах и сооружениях нефтегазового комплекса
ПК(У)-8	Способен выполнять техническое диагностирование средств противокоррозионной защиты и коррозионного состояния газотранспортного оборудования
ПК(У)-9	Способен осуществлять вибрационное диагностирование топливно-энергетических систем
ПК(У)-10	Способен выполнять работы всех видов сложности по организационному и техническому обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации тепломеханического оборудования ТЭС
ПК(У)-11	Способен осуществлять обеспечение промышленной безопасности при вводе в эксплуатацию, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, техническом перевооружении, консервации и ликвидации опасного производственного объекта



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

Инженерная школа энергетика
13.04.03 Энергетическое машиностроение
Проектирование и диагностирование энергетических агрегатов
НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Гиль А.В.
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5ВМ11	Берикболову Алишеру Кайратулы

Тема работы:

Получение энергетически полезных продуктов из низкосортного торфа в смеси с отходами лесопиления методом термической конверсии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2023 г., №31-67/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду; энергос затратам; экономический анализ и т. д.)</p>	<p>Объект аналитического исследования – Смесевые топлива на основе торфа и биомассы. Предмет исследования – топливо. Цель работы – исследование процессов термической конверсии смесевых твердых топлив на основе торфа и отходов лесопиления (с изменением доли последней в смеси до 75 %) с мониторингом получаемых полезных продуктов синтез-газа, жидких углеводов, био-углерода.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке (аналитический обзор литературных источников 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)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение (с обоснованием актуальности темы и цели работы). 2. Перспективы повышения энергетической привлекательности торфа и отходов лесопиления. 3. Материалы, описание объектов исследования. 4. Методика приготовления топливных композиций к исследованию. 5. Разработка экспериментального стенда и формирование методологии проведения эксперимента. 6. Результаты экспериментальных исследований газового, жидкого и твердого остатка при

	термическом разложении торфа, древесины и смесевых топлив на их основе. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность. Проанализировать рабочие места на предмет выявления основных опасностей и вредностей, оценить степень воздействия их на человека и природную среду. 9. Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна, к.э.н., доцент ОСГН
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович, д.т.н., профессор ООД
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Перспективы повышения энергетической привлекательности торфа и отходов лесопиления	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.02.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Янковский С.А.	к.т.н.		14.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ11	Берикболов А.К.		14.02.2023



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

Инженерная школа энергетики
13.04.03 Энергетическое машиностроение
Уровень образования Магистратура
Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова
Период выполнения осенний / весенний семестр 2022 /2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
5BM11	Берикболов Алишер Кайратулы

Тема работы:

Получение энергетически полезных продуктов из низкосортного торфа в смеси с отходами лесопиления методом термической конверсии
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01 июня 2023 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.01.2023	Выполнение анализа литературы и нормативно-технической документации	2
01.03.2023	Разработка и монтаж экспериментальной установки	2
05.04.2023	Проведение экспериментальных исследований, выполнение расчетов и анализ полученных результатов	7
10.05.2023	Финансовый менеджмент	7
20.05.2023	Социальная ответственность	7
27.05.2023	Выполнение раздела на иностранном языке	5
30.05.2023	Заключение, в том числе на иностранном языке	3
31.05.2023	Нормоконтроль	2
05.06.2023	Презентация	5
08.06.2023	Предзащита	60
	Итого	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Янковский С.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бугакова ИШЭ	Гиль А.В.	К.Т.Н		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ11	Берикболов Алишер Кайратулы		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 133 страниц, 25 таблиц, 58 источников, 16 рисунков, одного приложения.

Ключевые слова: экспериментальный стенд, термическое разложение, пиролиз, торф, биомасса, смесевое топливо, отходы, синтез-газ, жидкие углеводороды, биомасла, биоуголь, углеродный остаток.

Объектом исследования являлись топливная смесь на основе торфа с древесными отходами путем их смешения для термического разложения с последующим получением полезных продуктов.

Целью работы являлось исследование процессов термической конверсии смесевых твердых топлив на основе торфа и отходов лесопиления (с изменением доли последней в смеси до 50 %) с мониторингом получаемых полезных продуктов синтез-газа, жидких углеводородов, био-углерода.

Результаты исследований показали, что с увеличением доли древесной биомассы до 75 % в составе смесевое топлива на основе торфа способствует увеличению выделения горючих газов, жидких углеводородов, но уменьшился выход углеродного остатка.

В будущем планируется, что разрабатываемая технология в комплексе позволит переработать растительные отходы в местах их возникновения совместно с низкокалорийными топливами в несколько видов полезных продуктов с высокой добавочной стоимостью. А также позволит снизить выбросы в атмосферу и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Содержание

Определения и сокращения.....	10
Введение. Литературный обзор.....	11
1 Перспективы повышения энергетической привлекательности торфа и отходов лесопиления	20
1.1 Пиролиз. Методы пиролиза	20
1.2 Виды пиролиза.....	22
1.3 Классификация реакторов пиролиза	27
1.4 Продукты, получаемые при пиролизе.....	33
1.5 Вывод по разделу 1	35
2 Материалы, описание объектов исследования. Методика приготовления топливных композиций к исследованию	36
2.1 Торф.....	36
2.2 Биомасса	37
2.3 Методика приготовления топливных композиций.....	40
3 Разработка экспериментальных стендов и методологий проведения экспериментов	42
3.1 Экспериментальный стенд для получения синтез-газа и биоуглерода.....	42
3.2 Экспериментальный стенд для получения жидких углеводородов	44
3.3 Вывод по разделу 3	45
4 Результаты экспериментальных исследований по определению технических характеристик газового, жидкого, твердого остатка, полученного при термическом разложении торфа, древесины и смесевых топлив на их основе	46
4.1 Результаты экспериментальных исследований полученного синтез-газа	46
4.2 Вывод по подразделу 4.1	51
4.3 Результаты анализа газовых и жидких продуктов.....	52
4.4 Эксперименты по горению полученных продуктов.....	55
4.5 Выводы по подразделам 4.3 и 4.4.....	57
4.6 Результаты анализов углеродного остатка.....	58
4.7 Вывод по подразделу 4.6	62

4.8 Сравнение использования полукоксового остатка с торфо-древесных топлив и традиционного угля	63
4.9 Вывод по подразделу 4.8	64
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	67
5.1 Предпроектный анализ.....	67
5.2 Инициация проекта	72
5.3 Бюджет затрат на проектирование	75
5.4 Оценка рисков	82
5.5 Вывод по разделу 5	86
6 Социальная ответственность	89
6.1 Производственная безопасность.....	89
6.2 Опасные факторы.....	99
6.3 Экологическая безопасность.....	102
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
6.5 Вывод по разделу 6	105
Заключение	107
Список публикаций обучающегося.....	111
Список использованных источников	112
Приложение А	120

Определения и сокращения

В работе используются следующие определения и сокращения:

ТО – торф;

ДО – древесные опилки;

ЦПС – циркулирующий псевдооживленный слой;

ПС – псевдооживленный слой;

ТЭС – тепловая электростанция;

СКЗ – средства коллективной защиты;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДУ – предельно допустимый уровень;

ПДК – предельно допустимая концентрация.

Введение. Литературный обзор

Современное развитие государств тесно связано с обеспечением энергетических потребностей, таких как тепло, электроэнергия и продовольствие. Мировое производство электроэнергии играет особенно важную роль в этом процессе. На сегодняшний день более 61,3 % всей электроэнергии производится путем сжигания твердых видов топлива, основным из которых, является уголь [1]. За последние пять лет прирост использования угля для производства тепла и электроэнергии вырос более чем в 2 раза, что в последствии несет за собой увеличение негативного воздействия на окружающую среду [2, 3]. Таким образом, для снижения такого глобального воздействия требуется эффективное решение по очистке дымовых газов ТЭС или поиск альтернативных более экологичных топлив, что в последствии приведет к снижению загрязнения окружающей среды и уменьшению глобального потепления. Для решения этой проблемы, частичный переход на возобновляемые источники энергии позволит существенно снизить антропогенное воздействие ТЭС на окружающую среду [4].

Многие ученые и энергетики на протяжении многих десятилетий ищут такую альтернативу, и одним из потенциальных низкосортных видов топлива является торф и отходы лесопиления.

Торф, как топливный материал, имеет свои особенности, такие как низкая калорийность, высокую влажность и зольность, что ограничивает его эффективное использование в энергетике. Однако, повышение энергетической привлекательности торфа возможно через его глубокую переработку с целью увеличения энергетических характеристик.

Россия располагает колоссальными запасами торфа: по информации ВНИИТП (Всероссийский научно-исследовательский институт торфяной промышленности) (института торфяной промышленности) только разведанные оцениваются в 175,6 млрд т [5]. Это больше 35 % мировых запасов. А торф – ценнейший возобновляемый природный ресурс

растительного происхождения в отличие от нефти и газа, хотя во многих европейских странах так не считают. По производству и потреблению топливного торфа Россия занимает только третье место после Финляндии и Ирландии.

Расширение использования местных видов топлива и источников энергии, а также увеличение потребления и утилизации отходов в соответствии с тремя сценариями развития обращения с отходами являются одной из основных целей и приоритетов Экологической стратегии и энергетического плана Российской Федерации на период до 2030 года.

Также учитывая огромные запасы различных форм биомассы в Российской Федерации, энергетическая отрасль должна использовать биомассу в виде древесины в качестве одного из ключевых источников возобновляемой энергии. Россия является мировым лидером по общей площади лесов, причем более половины этой площади сосредоточено в Сибири, на Дальнем Востоке и Урале [6]. Каждый год формируется более 800 миллионов тонн биомассы, которая может быть использована в качестве топлива [7]. Кроме того, в процессе деятельности лесоперерабатывающих предприятий ежегодно образуется до 500 миллионов тонн перезрелой древесины и около 40% отходов сырья (щепа, опилки, стружка и т.д.) [8]. Запасы биомассы однолетних растений и сельскохозяйственных культур имеются в западных, южных и южносибирских районах России [7].

В соответствии с высказыванием Владимира Шевеленко, заместителя генерального директора ООО «Русфорест Менеджмент Групп» на «Биотопливном конгрессе», ежегодно в Российской Федерации в результате деятельности предприятий лесопромышленного комплекса ежегодно образуется около 68–74 млн м³ древесных отходов, и лишь 48%–58% из них перерабатывается. К примеру, структура древесных отходов мебельного производства по усредненным данным составляет: обрезки пиломатериалов – 33 %, опилки – 8 %, стружка – 22 %, обрезки древесных плит и фанеры – 37 %. В мебельном производстве преобладают кусковые отходы, их 69 %, а мягкие

отходы (опилки и стружка) составляют 31% [9]. Это говорит о том, что отходы от остатков лесного хозяйства, мебельного производства выпускаются в большом количестве.

Кроме того, по постановлению Правительства Российской Федерации от 20.01.2023 г. № 50 в законодательстве закреплён запрет на утилизацию древесины, оставшуюся в результате производственной деятельности. Согласно закону, все полученные остатки должны быть перенаправлены в переработку с последующим результатом в виде, готовой продукции, компонентов для других товаров, выработки тепловой энергии, мульчирования почвы.

Актуальность работы

Выше перечисленные моменты приводят к тому, чтобы использовать отходы переработки растительного сырья (древесных опилок, щепы, стружек) являются жизнеспособной альтернативой нефти и потенциальным сырьём для термической переработки. Эффективное использование данных отходов для получения ценного сырья (газообразного топлива, жидких углеводородов, биоугля) является одной из важнейших задач для энергетиков на сегодняшний день [10]. Один из возможных вариантов решения этой задачи – переработка отходов методом пиролиза совместно с низкосортными видами топлив, например, торфом. Пиротопливо, получаемое по технологии пиролиза, пригодно для прямого сжигания в котлах и способно заменить некоторые невозобновляемые источники энергии [8]. Синтез-газ получаемый при пиролизе смесевых топлив может быть применен в двигателях внутреннего сгорания и в газовых турбинах. Жидкие углеводороды могут стать частичной заменой мазутному топливу. В связи с вышеизложенным переработка смесевых топлив методом пиролиза [11] является достаточно актуальным направлением исследований. Таким образом, разрабатываемая технология в комплексе позволит переработать растительные отходы в местах их возникновения совместно с низкокалорийными топливами в несколько видов полезных продуктов с высокой добавочной стоимостью.

Целью работы являлось исследование процессов термической конверсии смесевых твердых топлив на основе торфа и отходов лесопиления (с изменением доли последней в смеси до 75 %) с мониторингом получаемых полезных продуктов синтез-газа, жидких углеводородов, биоуглерода.

Для достижения поставленной цели, был поставлен ряд задач:

- Провести анализ научных основ и технологий в области термохимической переработки смесевых топлив на основе древесины и торфа.
- Определить характер изменения свойств древесной биомассы и торфа в процессе пиролиза.
- Получить газообразное топливо (синтез-газ), жидкие углеводороды и био-уголь в процессе пиролиза смесевых топлив с изменением концентрации древесины в смеси от 10 % до 75 % по массе.
- Проанализировать полученные энергетические материалы по техническим и энергетическим характеристикам.

Научная значимость

1. Найден новый подход глубокой переработки низкосортного топлива в смеси отходами лесопиления методом термической конверсии с получением трех полезных продуктов: биоуглерод, жидкие углеводороды, синтез-газ.
2. Определен характер влияния температурного режима и времени пребывания сырья в реакторе термической переработки (пиролиза) на выход продуктов.
3. Научная новизна этого исследования заключается в разработке комплексного подхода к устойчивому производству энергии из отходов, который обладает значительным потенциалом для будущих исследований и практического применения.

Практическая значимость

1. Тысячи российских населенных пунктов расположены вдали от источников электроснабжения. Поставка топлива в эти районы обходится очень дорого, несмотря на то, что они содержат огромные запасы местного топлива – торфа. Импортируемое твердое топливо, мазут и дизельное топливо

в основном используются в российской коммунальной энергетике практически во всех областях.

Подобное привозное топливо значительно повышает стоимость самого топлива и увеличивает энергетический тариф. Поэтому для обеспечения потребностей коммунальных потребителей как электрической, так и тепловой энергией на базе мини-ТЭЦ, использующих в качестве топлива полученные ценные продукты от местных видов энергоресурсов – отходы лесопиления и торфа представляют собой реальной альтернативой существующему положению, способной к тому же значительно улучшить экологическую обстановку.

Такое импортное топливо существенно удорожает само топливо и тариф на электроэнергию. Для удовлетворения потребностей потребителей коммунальных услуг как в электрической, так и в тепловой энергии на основе мини-ТЭЦ использование в качестве топлива ценных продуктов, получаемых из местных видов энергоресурсов - отходы лесопиления и отходов торфа – является жизнеспособной альтернативой к текущему положению, которая также способна значительно улучшить экологическую обстановку.

2. Оптимизация процесса термической конверсии позволяет максимизировать выход ценных продуктов, таких как бионефть, синтез-газ и биоуголь, что приведет к увеличению маржинальной стоимости конечного продукта. Использование отходов для производства энергии может снизить затраты на их утилизацию, которые являются значительными расходами для бизнеса. Применение методов термической конверсии для переработки низкосортного торфа и отходов лесопиления в ценные продукты представляет возможность снижения затрат на утилизацию отходов и создания нового источника дохода от продажи конечных продуктов.

Для более глубокого понимания темы магистерской диссертации необходимо усвоить терминологию, связанную с соответствующей тематикой, а также изучить теоретические основы. Это поможет создать

надежный фундамент для понимания общих положений, что в свою очередь даст возможность анализировать источники по более узкой тематике.

В рассмотренной научной статье на тему «Исследования индивидуального пиролиза и совместного пиролиза смесей торфа и биомассы», авторами которой являются Юхуань Ли, Хунюй Чжао, Синь Суй, Сюэмэй Ван, Хунбин Цзи, был проведен процесс пиролиза на основе торфа и сосновых веток в качестве основного топлива [12]. В процессе исследования были получены данные термогравиметрического анализа (ТГА) при различных скоростях нагрева. Характеристики потери массы, которые были зарегистрированы при термогравиметрическом анализе во время температурного запрограммированного нагрева, объясняются преимущественно улетучиванием летучих фрагментов. Следует отметить, что скорость нагрева и соотношение смешивания образцов существенно влияют на потерю веса.

В данной исследовательской работе основные термины и понятия, связанные с процессом пиролиза отходов биомассы, были заимствованы из учебно-методического пособия Н. Г. Хутской «Энергосберегающие технологии термохимической конверсии биомассы и лигнокарбонатных отходов». В данном пособии [13] тщательно рассматриваются все важные аспекты проведения пиролиза, подробно и компактно изложена тема, а также представлены характеристики медленного и быстрого режимов пиролиза. Это позволяет достичь полного понимания процесса пиролиза и провести дальнейший анализ исследуемой тематики.

В статье на тему «Эффективность применения пиролизной технологии для получения альтернативного топлива из местных органических отходов», авторами, которыми являются Г. Н. Узаков, Р. Т. Раббимов, Л. А. Алиярова, С. А. Рахимов, представлено использование технологии пиролиза для производства альтернативных видов топлива из местных органических отходов актуальна и значима в современном мире [11]. Важным шагом в экономии энергии является использование нетрадиционных возобновляемых

источников энергии, которые не только помогают удовлетворить часть спроса на энергию, но и уменьшить воздействие на окружающую среду. Использование альтернативных источников энергии расширяется в результате роста стоимости традиционных энергоносителей. Одной из важнейших проблем в области энергосбережения и творческого роста экономики является принятие альтернативных источников энергии. Одним из возобновляемых источников энергии, которые могут быть использованы для производства жидкого и газообразного топлива, является биомасса. Важно помнить, что биомасса является возобновляемым источником энергии, отделяя ее от ископаемого топлива. Доля энергии и топлива, получаемого из биомассы, может быть значительно увеличена путем организации соответствующего воспроизведения, сбора и переработки. Можно решить проблему утилизации отходов, получить доступную энергию и ограничить количество экологически опасных выбросов в атмосферу путем получения топлива и электроэнергии из биомассы и местных органических отходов. Исследование жизнеспособности перерабатывающей биомассы показывает значительный потенциал ее использования в качестве источника энергии.

В работе авторов Рой П., Диас Г. на тему «Перспективы технологий пиролиза в биоэнергетическом секторе» представлена перспективная технология преобразования биомассы в возобновляемое биотопливо [14]. В этом исследовании представлен обзор текущих усилий и достижений, а также экологических и экономических аспектов этой технологии. В пиролизе лингоселлюлозная биомасса превращается в биоуголь или био-масло. Возможность сокращения выбросов парниковых газов в результате пиролиза зависит от используемой сырьевой базы, технологии превращения, размера установки пиролиза и способа использования сопутствующих продуктов. Медленный пиролиз может обеспечить большую экологическую выгоду, так как производит больше биоугля, который можно применять в почву для улучшения ее качества. Однако, быстрый пиролиз имеет лучшую экономический доход за счет производства более ценных продуктов.

Прибыльность пиролиза зависит от затрат на сырье, выхода продукции, способности производить более ценные продукты и масштаба производства. Мобильные технологии пиролиза могут стать решением проблем логистики сырьевой базы, поскольку они позволяют производить биоэнергию на месте добычи сырья. Технологические прогрессирующие разработки необходимо совмещать с политикой использования возобновляемых источников энергии, чтобы расширять производство возобновляемой энергии из пиролиза. Тем не менее, любые инвестиции в эту технологию должны учитывать более широкий анализ устойчивости, чтобы смягчить экологические и экономические риски.

В исследовании, проведенном Е. Ю. Сердюковой и Ю. В. Кожевниковой «Биомасса – источник сырья для производства альтернативных топлив», была рассмотрена актуальность и возможность использования растительного сырья для производства альтернативных видов топлива [15]. После анализа мирового рынка растительного сырья было определено, что наиболее подходящим для производства топлива на территории Российской Федерации является использование отходов деревообрабатывающих и деревоперерабатывающих предприятий, таких как еловые опилки, кленовые листья, сосновые шишки, а также торфяные отложения. Растительное сырье подвергалось процессу медленного пиролиза, в результате которого получались биопродукты: пиролизат широкого фракционного состава, газ и углистый остаток.

В статье А. В. Бриджуотере под названием «Обзор быстрого пиролиза биомассы и улучшения качества продукта» представлен обзор быстрого пиролиза биомассы для производства биомасла [16]. Описывается технология быстрой пиролиза, включая основные реакционные системы. Основной жидкий продукт характеризуется с учетом множества свойств, которые влияют на его использование. Эти свойства привели к всё более обширным исследованиям, направленным на изменение свойств, требующих модификации, и этот аспект рассматривается с точки зрения физического, каталитического и химического усовершенствования. Особое внимание

уделяется все более разнообразным методам и катализаторам, а также сложности и утонченности многофункциональных катализаторных систем.

В работе П. Басу «Газификация и пиролиз биомассы: практическое проектирование и теория» рассмотрены перспективы использования биомассы в энергетике и описаны наиболее перспективные методы ее термохимической деструкции [17]. Пиролиз растительной биомассы и ее смесей, а также торфа исследовался при температурах 550 °С и 800 °С в условиях стационарного и подвижного слоя.

Термин «биомасса» включает в себя любой материал, полученный в результате фотосинтетических реакций. Источники биомассы делятся на три категории:

– Растительные отходы. Сюда входят бытовые древесные отходы, остатки сельскохозяйственных культур, отходы сельскохозяйственного производства и переработки, а также древесные отходы мельниц;

– Энергетические культуры: травы, быстрорастущие культуры, отходы сахарной свеклы и сахарного тростника, масличные семена, отходы зернового производства (пшеница, кукуруза, ячмень);

– Лесная продукция: деревья, щепа, кустарники, кора и опилки.

Источники биомассы имеют множество характеристик, таких как доступность, пригодность, стоимость и теплотворная способность.

В статье Ининшева Л.И., Архилова В.С., Маслова С.Г., Миханитьева Л.С. на тему «Торфяные ресурсы Томской области и их использование», представлены особенности торфяных ресурсов Томской области, приведена информация о структуре выявленных и разведанных запасов торфа в зависимости от региона, типа месторождения, степени разработки и вида запасов [18]. Также дана краткая информация о торфяных месторождениях как геологических структурах, описано их происхождение и методы их оценки с учетом направлений использования. Кроме того, в отдельной главе рассматриваются вопросы использования репрезентативных месторождений.

1 Перспективы повышения энергетической привлекательности торфа и отходов лесопиления

Под энерготехнологической переработкой твердого топлива понимается его химическая и термохимическая обработка с целью получения высококачественных топлив: твердого, жидкого и газообразного. Методы такой переработки классифицируются по характеру среды, в которой топливо подвергается деструкции (разложению): нейтральная или восстановительная среда (пиролиз топлива), окислительная среда (газификация топлива) и среда водорода (гидрогенизация). По тепловым условиям, при которых протекает процесс деструкции, его можно классифицировать как низкотемпературный процесс (температуры до 400 °С), среднетемпературный процесс (400–700 °С) и высокотемпературный процесс (900 °С и выше) [19].

Термические методы являются наиболее распространенными промышленными методами утилизации твердых органических отходов, из которых пиролиз является наиболее привлекательным. При правильной организации технического процесса этого метода переработки можно покрыть энергию, необходимую для процесса, и, кроме того, избыток вырабатываемого тепла можно использовать в технических или бытовых целях. Обработку как жидких, так и твердых продуктов можно сделать экономически эффективной [20].

1.1 Пиролиз. Методы пиролиза

Пиролиз – это процесс термохимического разложения органического вещества при высоких температурах в отсутствие кислорода. В процессе пиролиза крупные углеводородные молекулы биомассы распадаются на более мелкие углеводородные молекулы. Пиролиз обычно происходит в отсутствие кислорода при атмосферном или среднем давлении (0,1–0,5 МПа) и рабочей температуре 350–700 °С. Материал не сжигается, но химические соединения, входящие в его состав (такие как целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин), подвергаются пиролизу с получением горючего газа и биоугля [13].

В результате пиролиза органической биомассы можно получить несколько газовых продуктов, таких как CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , а также смолистые газы, которые могут быть конденсированы в горючую жидкость при температуре окружающей среды, например, пиролизное масло или бioneфть. Таким образом, процесс пиролиза биомассы позволяет получать три основных продукта: жидкий (бioneфть), твердый (уголь или биоуголь) и газообразный (синтез-газ) [13].

Пиролиз является наиболее интересным и перспективным методом переработки с экологической точки зрения, поскольку оно осуществляется под давлением и выделяет гораздо меньше газа, чем сжигание или газификация [21].

Использование продуктов пиролиза обладает значительным потенциалом для сокращения выбросов парниковых газов по сравнению с использованием ископаемого топлива и традиционных химических веществ. Оценка жизненного цикла является наиболее часто используемым подходом для количественной оценки экологических выгод и воздействия биоэнергии и биопродуктов [14].

Существует несколько режимов пиролиза, которые отличаются температурой, скоростью и продуктами разложения.

Рассматривая разные методы пиролиза и газификации древесины, можно определить типичный объем выхода продуктов на основе сухой массы [13], который представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Методы пиролиза и газификации древесины

Режим	Условия	Жидкость	Уголь	Газ
1	2	3	4	5
Быстрый	Умеренная температура, около 500 °С, короткое время пребывания паров ~ 1 с	75 %	12 %	13 %
Промежуточный	Умеренная температура, около 500 °С, короткое время пребывания паров ~ 10-20 с	50 %	20 %	30 %

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
Режим	Условия	Жидкость	Уголь	Газ
Медленный (карбонизация)	Низкая температура, около 400 °С, очень длительное время пребывания твердого вещества	30 %	35 %	35 %
Газификация	Высокая температура, около 800 °С, длительное время пребывания паров	5 %	10 %	85 %

Несколько исследовательских направлений проводятся для более детального изучения процесса пиролиза и включают медленный (до 60 °С/мин), промежуточный (от 1 до 10 °С/с), быстрый (от 10 до 200 °С/с) и мгновенный (свыше 1000°С/с) типы. Кроме того, в зависимости от температуры, процесс пиролиза может быть классифицирован на низкотемпературный (450–550 °С), среднетемпературный (~800 °С) и высокотемпературный (>900 °С) [22].

1.2 Виды пиролиза

1) Медленный пиролиз выделяется как наиболее эффективный метод преобразования биомассы в биоуголь, который находит широкое применение как в качестве удобрения, так и в качестве средства улучшения качества почвы. В литературе это постоянно подчеркивается как весьма многообещающая технология производства биоугля. Медленный пиролиз включает в себя подвергание паров условиям пиролиза в течение длительного времени, обычно длящегося несколько минут или даже дольше. Этот процесс включает в себя две различные разновидности: карбонизацию и обычный пиролиз, в основном используемый для получения угля [13].

Медленный пиролиз требует работы при относительно умеренных температурах в диапазоне от 350 до 700 °С, а также значительно более длительного времени выдержки, часто составляющего несколько часов или даже дней в зависимости от размера печи. В ходе этого процесса образуются

три различных продукта: биоуголь, который составляет приблизительно 35–40 % от массы исходной биомассы, а также влага и синтез-газ. На характеристики этих конечных продуктов значительное влияние оказывают такие факторы, как источник биомассы, температура и время выдержки. Как правило, медленный пиролиз предполагает проведение процедуры в течение нескольких часов, при этом максимальная температура находится в диапазоне от 400 до 500 °С [13].

Синтез-газ, полученный в результате процесса медленного пиролиза, обладает теплотворной способностью в диапазоне от 8 до 10 МДж/кг, преимущественно состоит из 10–25% водорода (H_2), 15–25% монооксида углерода (CO), 8–15 % метана (CH_4) и незначительных количеств этана, пропана, этилового спирта и ацетила алкоголь [13]. В медленном пиролизе, биомасса нагревается в среде, где содержание кислорода ограничено, и свойства угля определяются исходными свойствами биомассы, которые изменяются в процессе превращения в термически модифицированный уголь и генерации паров. При повышении температуры происходит дополнительное затвердевание и укрепление угля, что приводит к образованию большего количества летучих соединений. В таких условиях наиболее существенное влияние на свойства угля оказывает максимальная достигнутая температура [13].

На образование вторичного угля при медленном пиролизе влияют несколько факторов, включая размер частиц биомассы, давление внутри реактора пиролиза и состав паров внутри реактора. Следовательно, при использовании технологии медленного пиролиза при одной и той же температуре пиролиза выход и свойства биоугля могут значительно различаться из-за различий в степени образования частиц вторичного биоугля. Поэтому, чтобы точно определить качество биоугля, необходимо измерить поглощающую способность всех образцов, полученных путем медленного пиролиза [13].

При оптимизированном процессе медленного пиролиза для производства биоугля, из 100 кг беззольной сухой древесины производится 25 кг биоугля и 75 кг газообразных продуктов, состоящих из летучих веществ. Производство древесного угля из биомассы осуществляется путем пиролиза в крупных печах или ретортах. Результаты реакции зависят от типа биомассы и условий нагрева. Формирование угля способствуют большие размеры частиц и медленный нагрев, что увеличивает время контакта между летучими веществами и углеродом, а также приводит к образованию пиролигнинных жидкостей и летучих газов [13].

2) Быстрый пиролиз, осуществляемый в диапазоне температур от 450 до 600 °С и в отсутствие воздуха, облегчает процесс разложения, в результате которого образуется значительное количество газовых продуктов, включая синтез-газ, наряду с жидким веществом, известным как биомасло [14].

Основная цель, стоящая за использованием быстрого пиролиза, заключается в получении жидкого топлива из лигноцеллюлозной биомассы, представляющего собой жизнеспособную замену традиционному маслу в различных областях. Примечательно, что эти жидкие производные обладают потенциалом для производства различных специализированных и коммерческих химикатов. Отличительные особенности быстрого пиролиза заключаются в его способности обеспечивать удивительно высокие скорости нагрева и теплопередачи, что часто требует предварительного измельчения биомассы. В результате основной продукт быстрого пиролиза проявляется в виде биомасла, получаемого с впечатляющим выходом до 80% от сухой массы, наряду с образованием побочных продуктов, таких как полукокс и газ [13].

Быстрый пиролиз, который используется для производства жидких углеводородов, привлекает особый интерес, потому что жидкие продукты более удобны и дешевы в транспортировке и хранении, чем твердая биомасса [13].

На рисунке 1.1 представлена схема процесса быстрого пиролиза в псевдоожиженном слое.

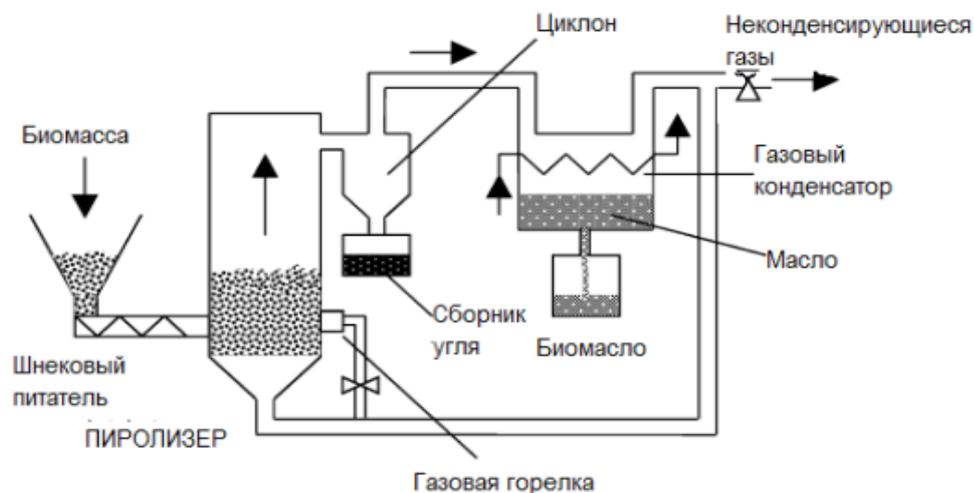


Рисунок 1.1 – Схема процесса быстрого пиролиза в псевдоожиженном слое

Бионефть, полученная из быстрого пиролиза, представляет собой плотную сложную смесь органических соединений, содержащих кислород, с теплотворной способностью, составляющей 50–70% теплотворной способности нефтяных топлив. Она может быть использована как топливо для котлов или транспорта, полученное из возобновляемых источников. Плотность бионефти (больше, чем исходной биомассы) составляет > 1 кг/л, что делает ее более экономически эффективным для транспортировки, чем биомасса. При быстром пиролизе, биомасса быстро распадается, производя пары, аэрозоли, газы и некоторое количество угля [13].

Для производства жидкостей методом быстрого пиролиза необходимы следующие условия [13]:

- Очень высокий уровень скоростей нагрева и теплопередачи в зоне реакции, который достигается за счет использования тонко измельченной биомассы;

- Температура реакции пиролиза тщательно контролируется и поддерживается на уровне около $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура паровой фазы составляет $400\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Важность температуры для выхода и спектра получаемых продуктов обсуждается далее в разделе о пиролизе жидкости;

- Время пребывания горячих паров минимально (обычно менее двух секунд);

- После реакции пары быстро охлаждаются, что приводит к образованию бионефти.

В процессе быстрого пиролиза задействован ряд стадий. Эти этапы включают первоначальную сушку исходного материала, обычно направленную на достижение уровня влажности до 10%, с целью минимизации содержания влаги в получаемом жидком продукте. Затем биомасса подвергается процессу дробления до получения частиц размером приблизительно 2 мм, что обеспечивает оптимальные условия для быстрой реакции пиролиза. После этого твердые частицы отделяются, образуя уголь, и одновременно облегчается сбор жидкого продукта, известного как биомасло [13].

Бионефть содержит большое количество кислородсодержащих соединений, из-за чего масла не смешиваются с углеводородами. Органические кислоты, такие как муравьиная и уксусная, которые образуются в результате разложения биомассы, снижают pH масла. Вода входит в состав бионефти и является неотъемлемой частью однофазного химического раствора. Влагосодержание в бионефти обычно составляет 15–35 %, и если содержание влаги превышает 30–45 %, возможно разделение фаз [13].

3) Мгновенный пиролиз представляет собой процесс быстрого превращения биомассы путем ее быстрого нагрева, при котором время реакции составляет несколько секунд или менее. Для обеспечения высокой скорости нагрева требуется специальная конструкция реактора, который может быть типа поточного реактора или реактора с псевдоожиженным слоем. Размеры частиц биомассы, которые подвергаются мгновенному пиролизу, должны быть достаточно малыми, на уровне 105–250 мкм, для обеспечения быстрого нагрева любого вида биомассы [23].

Мгновенный пиролиз включает в себя многогранный процесс, который можно разделить на различные типы, каждый из которых обладает своими уникальными характеристиками и рабочими параметрами [13].

– Мгновенный гидропиролиз: Этот конкретный процесс предполагает проведение гидропиролитического мгновенного пиролиза в атмосфере, богатой водородом, обычно поддерживаемой при давлении до 20 Мпа. Включение водорода создает среду, благоприятствующую быстрым реакциям пиролиза, что обеспечивает эффективную конверсию исходного сырья [13];

– Быстрый термический процесс: в рамках этого процесса исходное сырье подвергается быстрой деполимеризации и крекингу, что достигается за исключительно короткое время нагрева, составляющее от 30 миллисекунд до 1,5 секунд. Температура поддерживается в диапазоне от 400 до 950 °С, что способствует желаемому измельчению исходного сырья. Режим быстрого нагрева сводит к минимуму возникновение нежелательных побочных реакций, позволяя получать продукт, обладающий вязкостью, сравнимой с вязкостью дизельного топлива [13];

– Мгновенный пиролиз на солнечной энергии: Этот процесс использует концентрированную энергию солнечного излучения для облегчения мгновенного пиролиза. Солнечная энергия, используемая с помощью различных средств, таких как солнечные башни, солнечные концентраторы и солнечные печи, служит движущей силой быстрого термического разложения исходного сырья. Использование солнечной энергии в качестве основного источника тепла подчеркивает возобновляемые и устойчивые аспекты этого метода [13].

1.3 Классификация реакторов пиролиза

В настоящее время во всем мире существует множество разнообразных технологий пиролиза, что приводит к разработке различных конфигураций реакторов. Среди этих конфигураций реакторы с псевдооживленным слоем занимают видное место благодаря своей исключительной эффективности и обширной исследовательской направленности. В этих реакторах частицы

биомассы нагреваются за счет их взаимодействия с высокотемпературным потоком песка, обеспечивая эффективное термическое преобразование. Примечательно, что преобладающие конструкции реакторов пиролиза включают реакторы с плотным или подвижным слоем, псевдоожиженным слоем (ПС), циркулирующим псевдоожиженным слоем (ЦПС), реакторы сверхбыстрого пиролиза, реакторы с вращающимся конусом, абляционные реакторы и вакуумные реакторы, каждый из которых находит широкое применение [24].

Пиролизные реакторы, включающие плотный слой, существуют уже довольно давно, в них необходимое тепло для разложения биомассы может подаваться либо из внешнего источника, либо посредством процессов внутреннего сгорания [13]. На рисунке 1.2 показаны современные реакторы непрерывного действия, использующие движущийся слой, в которых широко используется щепа или гранулы.

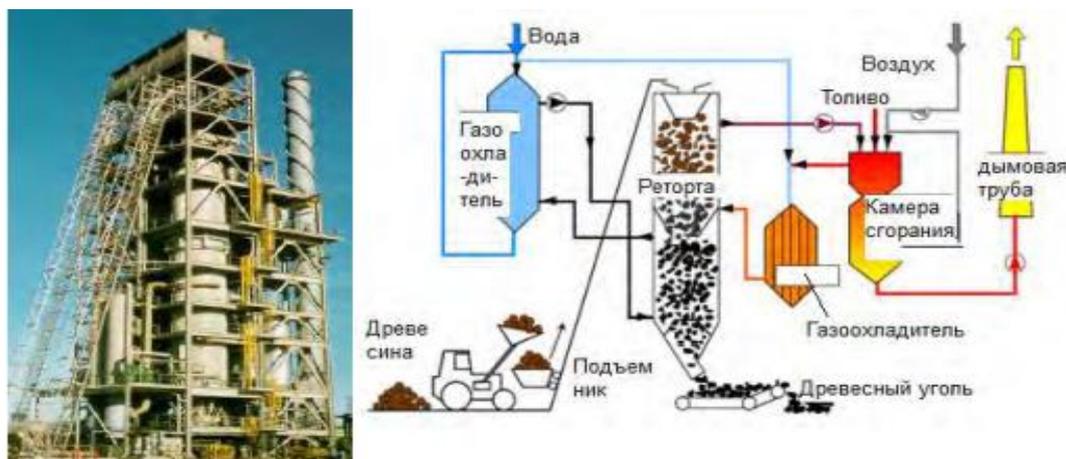
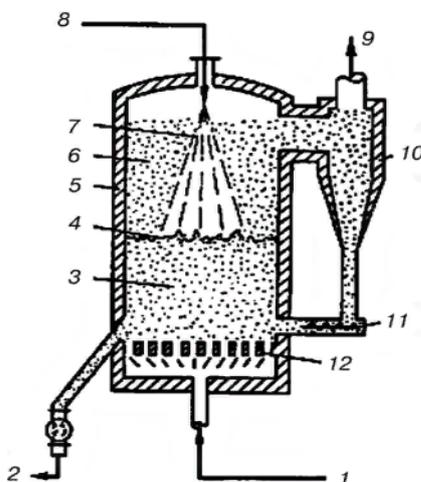


Рисунок 1.2 – Реактор непрерывного действия с движущимся слоем

Реакторы с кипящим слоем, как показано на рисунке 1.3, используют размолотую биомассу (размер 2–6 мм), которая поступает в кипящий слой с горячим песком. Псевдоожиженный слой приводится в движение инертным газом, который обычно рециркулируется через продукты сгорания. Это облегчает интенсивное перемешивание наиболее твердых материалов, уплотняющих слой, таких как песок, тем самым способствуя равномерному распределению температуры по всей поверхности. Стоит отметить, что время

пребывания твердых частиц внутри реактора превышает время пребывания газа, что подчеркивает увеличенную продолжительность их присутствия в системе [13].



1 – воздух для псевдоожижения; 2 – твердый продукт; 3 – слой инертного носителя (песок) в твердой фазе; 4 – граница псевдоожиженного слоя; 5 – корпус; 6 – унос золы; 7 – поток загружаемых отходов; 8 – загрузка отходов; 9 – отходящие газы; 10 – сепаратор; 11 – возврат пыли; 12 – решетка

Рисунок 1.3 – Реактор пиролиза псевдоожиженного слоя

Для достижения необходимой температуры для процесса пиролиза можно использовать либо газ, образующийся в процессе, который сжигается в слое, либо твердый биоуголь, который сжигается в отдельной топке, а затем передает тепло в материал слоя. Обычно продукты пиролиза содержат около 70–75% жидкости на сухую массу древесины. Твердый материал слоя, содержащий биоуголь, играет роль катализатора крекинга, поэтому его следует отделить от полученного газа, чтобы избежать вторичного крекинга и повысить выход жидких продуктов. Для этого частицы биоугля отделяются от газа при помощи циклонов [13].

Реакторы с циркулирующим псевдоожиженным слоем (ЦПС), изображенное на рисунке 1.4, работают по тому же принципу, что и реакторы с псевдоожиженным слоем. Однако эти реакторы обладают значительно более широким слоем, и твердые частицы непрерывно циркулируют по внешнему контуру, включая циклон. Этот гидродинамический режим, называемый

быстрым слоем, обеспечивает достижение равномерности температуры по всему объему установки. Примечательно, что скорость газа внутри ЦПС превышает скорость газа в реакторах с псевдооживленным слоем. Сочетание высокой скорости и исключительных возможностей перемешивания позволяет ЦПС обрабатывать значительное количество биомассы. По мере того, как газ и твердые частицы поднимаются по реактору, среднее время пребывания частиц биомассы превышает время пребывания газа, хотя и не в такой степени, как в реакторе с псевдооживленным слоем. Основное преимущество ЦПС заключается в его способности легко отделять и сжигать частицы биоугля, захваченные из реактора, во внешнем псевдооживленном слое. Теплота, выделяющееся при их сгорании, передается инертным твердым материалам слоя, которые впоследствии повторно вводятся в реактор по внешнему контуру. Этот динамический механизм циркуляции способствует эффективному использованию выделяющегося тепла [13].

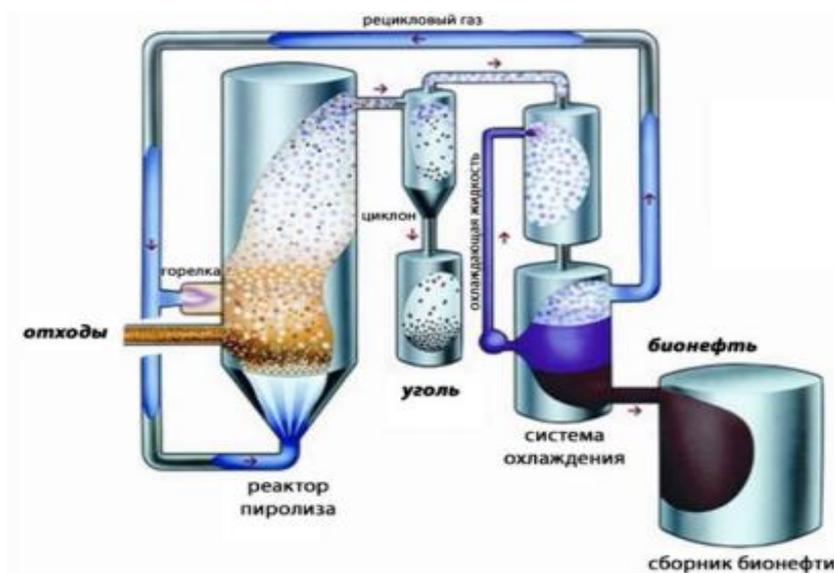


Рисунок 1.4 – Реактор пиролитического циркулирующего кипящего слоя

Реактор абляционного пиролитического разложения, представлена на рисунке 1.5, функционирует за счет использования высокого давления, создаваемого между частицей биомассы и нагретой стенкой реактора. Такое расположение способствует беспрепятственной передаче тепла от стенки к биомассе, что приводит к разжижению жидких продуктов, полученных из биомассы, подобно таянию замороженного сливочного масла при размещении на горячей

сковороде. Одновременно биомасса скользит вдоль стенки, оставляя за собой тонкую пленку жидкости, которая впоследствии испаряется, таким образом покидая зону пиролиза, расположенную между биомассой и стенкой. Исключительная эффективность этого процесса обусловлена быстрой передачей тепла и коротким временем пребывания газа, что приводит к выходу жидкого продукта, превышающему 80 %. Для создания необходимого давления между биомассой и стенкой реактора используется либо механический механизм, либо центробежная сила. В механической системе крупные частицы биомассы прижимаются к вращающейся горячей плите, создавая желаемое давление для эффективного пиролиза [13].

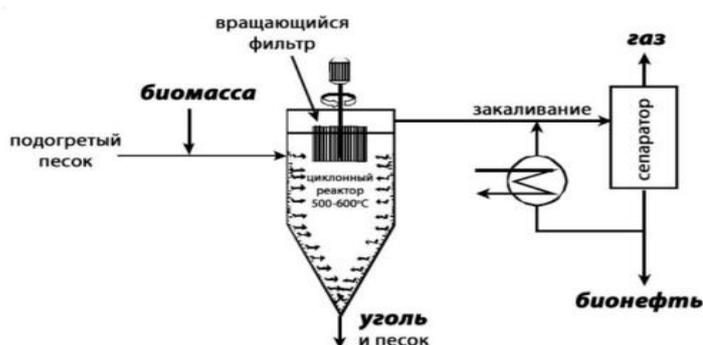


Рисунок 1.5 – Абляционный реактор пиролиза

В реакторе пиролиза с вращающимся конусом происходит введение частиц биомассы и дополнительных частиц твердого теплоносителя в нижнюю часть конуса, который вращается со скоростью от 360 до 960 оборотов в минуту. Под действием центробежной силы частицы отталкиваются от горячей стенки, заставляя их подниматься по спиральной траектории вдоль стенки. Это динамичное движение ускоряет процесс их нагрева с замечательным ускорением в 5000 К/с, что в конечном итоге приводит к их пиролизу в ограниченном кольцевом объеме, характеризующемся исключительным перемешиванием. Следовательно, образуется газовая фаза, содержащая пары биомасла, которая выходит через отдельный трубопровод. Что касается твердых компонентов, а именно биоугля и песка, то они мигрируют к верхней периферии вращающегося конуса, в конечном итоге попадая в конфигурацию псевдооживленного слоя [13].

В рамках этого реактора биоуголь подвергается сжиганию в псевдооживленном слое, где в процессе горения выделяется тепло, которое эффективно нагревает как конус, так и твердые частицы. Эти нагретые твердые частицы впоследствии перерабатываются, чтобы служить источником тепла для процесса пиролиза. Примечательно, что отличительной характеристикой этого реактора является его удивительно короткое время пребывания твердых частиц, составляющее всего 0,5 с, а также сравнительно короткое время пребывания газовой фазы, обычно составляющее 0,3 секунды. Эти сокращенные временные рамки способствуют получению жидких продуктов, составляющих примерно 60–70% от сухой массы, что повышает эффективность процесса. Кроме того, следует отметить, что использование газоносителя в рамках данного конкретного процесса пиролиза не требуется [13].

Крайне важно не только проводить всесторонние исследования, касающиеся стационарных технологий переработки биомассы, но и активно заниматься разработкой и внедрением мобильных систем, которые могут быть доставлены в места, богатые запасами биомассы, на примере такой мобильной установки быстрого пиролиза биомассы представлена на рисунке 1.6. В рамках таких систем сырье перерабатывается непосредственно на месте его добычи, а полученный энергетический продукт используется для удовлетворения энергетических потребностей близлежащих потребителей или для транспортных целей. Такой подход дает заметные преимущества, включая снижение затрат на топливо за счет снижения транспортных расходов, наряду с увеличением общего использования биомассы. Для достижения этой цели используются реакторы пиролиза, оснащенные шнековым конвейером с внешним подогревом. Многофункциональный шнековый конвейер эффективно выполняет две важные задачи одновременно: тщательное перемешивание сырья и точное регулирование времени пребывания в реакторе для биомассы. Компактность этих установок

обеспечивает их мобильность, облегчая их беспрепятственное развертывание и перемещение [15].



Рисунок 1.6 – Мобильная установка быстрого пиролиза биомассы

1.4 Продукты, получаемые при пиролизе

В зависимости от химических свойств исходного материала и требуемых свойств конечного продукта, различные режимы пиролиза могут быть применены с целью оптимизации процесса. Каждый режим обладает своими характеристиками и параметрами, которые могут быть оптимизированы для достижения желаемых результатов в соответствии с конкретными условиями эксперимента.

При проведении термического разложения смеси торфа и древесных опилок возможно получение трех видов продуктов методом медленного пиролиза:

- 1) Неконденсирующийся газовый продукт, содержащий монооксид углерода (CO), двуокись углерода (CO₂), водород (H₂), метан (CH₄) и высшие углеводороды, который называется «биогаз», «синтез-газ» или «пиролизный газ» [14];

Синтез-газ может быть применен в различных отраслях, таких как, электроэнергетика, теплоэнергетика в качестве топлива в газовых турбинах и котлах для получения электроэнергии и тепла. В производстве жидкого углеводородного топлива путем преобразования в биодизельное топливо или биоэтанол. Кроме того, синтез-газ может быть использован для производства

различных химических веществ, таких как метанол, аммиак, метан и ацетат. Синтетические виды топлива и газы, такие как дизельное топливо и авиационный керосин, могут быть получены с помощью синтез-газа наряду с синтетическим природным газом. Более того, синтез-газ может быть использован для производства углеродных материалов, таких как углеродные волокна, которые широко используются в авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности. Наконец, синтез-газ может быть использован для производства удобрений, таких как аммиачная селитра [14].

2) Жидкий продукт, называемый биомаслом, бioneфтью, пиролизным маслом или биосырьем;

Жидкие продукты, полученные из торфа и древесных опилок с помощью пиролиза, может быть использована в качестве альтернативного источника топлива для транспорта, включая дизельные двигатели и авиационные двигатели, и промышленности для отопления и генерации электроэнергии. В добавок, синтез-газ применим в виде сырья для химического производства, включая производство пластмасс, смол и растворителей, а также в роли основы для смазочных материалов и других специальных масел [14];

3) Продукт в виде углеродного остатка, так называемый биоуголь, который может быть использован в различных областях применения, включая использование в качестве добавки к почве (и при таком использовании обычно называется «биоуголь») или в качестве источника энергии в процессе преобразования.

Биоуголь получают при медленном пиролизе с использованием более низкой скорости нагрева ($0,1-0,8$ °C/с) и более длительной времени выдержки (5–30 мин или даже 25–35 ч) при температурах 300–550 °C. К примеру, температура печи выше 600 °C нежелательна, так как она увеличивает потребление электроэнергии и снижает выход биоугля, поскольку органические вещества сгорают, а целлюлоза и гемицеллюлоза разлагаются. Выход биоугля зависит от свойств исходного сырья, температуры обработки и скорости нагрева. Например, в травянистой биомассе содержится больше

минералов, чем в древесной биомассе, и, таким образом, дает меньше продукта [14]

Биоуголь может использоваться в самых разных областях, включая производство электроэнергии и тепла на тепловых электростанциях, что может помочь сократить использование ископаемого топлива и выбросы парниковых газов, также пригоден в качестве удобрения в сельском хозяйстве для повышения плодородия почвы и компонента в фильтрах для очистки воды и воздуха. Он также может использоваться в процессе создания железа, как альтернатива коксу в качестве компонента при производстве шихты для высокотемпературной плавки железной руды [14].

1.5 Вывод по разделу 1

В целом, перспективное применение полезных продуктов, полученных методом пиролиза демонстрируют и обладают потенциалом в различных отраслях промышленности и делают их привлекательными, устойчивыми и экологически чистыми альтернативными источниками энергии, и сырьем перед традиционным ископаемым топливом.

2 Материалы, описание объектов исследования. Методика приготовления топливных композиций к исследованию

2.1 Торф

Торф можно охарактеризовать как минерал органического происхождения, который обладает горючими свойствами и служит предшественником для образования угля. Он классифицируется как органическая порода и содержит максимум 50 % золы, что является результатом биохимического разложения растений водно-болотных угодий в условиях высокой влажности и ограниченной доступности кислорода. Торф обладает отличными физическими характеристиками по сравнению со своим ближайшим аналогом, бурым углем, включая более высокое содержание влаги, рыхлую структуру, низкую плотность и примечательный химический состав, состоящий из широкого спектра органических соединений, растворимых в воде и легко поддающихся гидролизу. Эти соединения включают гуминовые кислоты, сахара, битум, гемицеллюлозу и целлюлозу [25].

В Российской Федерации имеются общие запасы торфа, оцененные в 175,65 миллиардов тонн. Прирост торфяной массы в России составляет в среднем 1 мм в год, что эквивалентно 1 миллиарду кубических метров ежегодно [26].

Томская область занимает второе место по запасам торфа в Российской Федерации после Тюменской. На территории Томской области обнаружено 1444 торфяных месторождения общей площадью залежей 7988209 гектаров, с общими запасами и прогнозными ресурсами торфа в 30,7 миллиардов тонн [27].

Большое распространение на территории Томской области имеют месторождения площадью более 50 тыс. га, запасы торфа в которых составляют 67,8 % от общих запасов торфа области. Около 16,7 % запасов торфа сосредоточено на 65 месторождениях, имеющих площади от 10 до 50 тыс. га. Наибольшее количество месторождений (649) имеют площадь от

101 до 1000 га, которые по запасам торфа не превышают 4,5% всех запасов торфа Томской области [18].

В качестве исходного материала использован торф Суховского месторождения Томской области добытый с глубины 0,5–1 м и виде биомассы использовалась измельченная древесина – отходы переработки сосны (ООО Дзержинский ЛПК, г. Томск, Россия).

Месторождения полностью сложены одним типом залежи – низинным, относятся к группе среднеразложившихся торфов (степень разложения суховского торфа – 27 %). Теплотехнические характеристики торфа приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Теплотехнические характеристики образца торфа Суховского месторождения

Теплотехнические характеристики	Суховской торф
Влажность на рабочую массу W^r , %	6,51
Зольность на сухую массу A_d , %	15,29
Зольность на рабочую массу A_r , %	14,33
Выход летучих веществ V_{daf} , %	82,5
Рабочая теплота сгорания Q^r , МДж/кг	29,532

Выполнен полный технический анализ исходных топливных компонент и смесей на их основе (определены теплота сгорания, зольность, влажность и выход летучих) согласно методикам ГОСТ 147-2013 (ISO 1928-2009), ГОСТ 11022-95, ГОСТ 27314-91 (ISO 589-81), ГОСТ 6382-2001 [28–31].

2.2 Биомасса

Биомасса – это органический материал, производимый живыми организмами или получаемый из них. Она включает в себя различные формы живой материи, такие как растения, деревья, водоросли, микроорганизмы и животные отходы. Биомасса является одним из наиболее доступных и обновляемых источников энергии на планете [17].

Что отличает биомассу от ископаемого топлива, так это ее способность к регенерации, что делает ее возобновляемым ресурсом. Эта характеристика делает его очень привлекательным в качестве источника энергии или химических веществ. Каждый год в результате фотосинтеза образуется значительное количество биомассы, поскольку растения поглощают CO_2 из атмосферы. Когда биомасса сжигается, она высвобождает недавно поглощенный углекислый газ обратно в атмосферу, обычно в течение от нескольких лет до нескольких часов. Следовательно, сжигание биомассы не вносит существенного вклада в общий уровень содержания углекислого газа на Земле. С другой стороны, ископаемое топливо выделяет углекислый газ, который был поглощен миллионы лет назад. Таким образом, в сравнительном смысле биомасса считается «углеродно-нейтральной», поскольку при сжигании она существенно не увеличивает запасы CO_2 . Примерно 5 % биомассы Земли, общей массой 13,5 миллиардов тонн, потенциально может быть мобилизовано для производства энергии. Только это количество потенциально может покрыть около 26% мирового потребления энергии, что эквивалентно 6 миллиардам тонн нефти. Биомасса включает в себя широкий спектр организмов, от крошечных травинки до высоких деревьев, от мелких насекомых до крупных отходов животноводства, включая продукты, полученные из этих источников [17].

Существует разнообразие видов биомассы, которые могут быть использованы в качестве источников энергии. Основными видами биомассы являются: древесина (древесных отходов, опилок, щепы), сельскохозяйственные отходы (растительные остатки после сбора урожая, такие как солома, стебли, листья, кукурузные початки, трава), животные отходы (навоз), энергетические культуры (рапс, пшеница, кукуруза, сахарный тростник), биологические отходы (пищевые отходы, остатки пищи, садовые, кухонные отходы), водоросли, благодаря их способности к фотосинтезу [17].

Биомасса обладает рядом преимуществ, которые делают ее привлекательным и важным источником энергии. Вот некоторые из основных преимуществ биомассы [17]:

- Возобновляемость: Биомасса является возобновляемым ресурсом, так как растения и животные, из которых она образуется, могут быстро восполняться. В отличие от ископаемых топлив, процесс образования биомассы не занимает миллионы лет;

- Уменьшение выбросов парниковых газов: при сжигании биомассы освобождается углекислый газ, однако он был недавно поглощен растениями в процессе фотосинтеза. Таким образом, при сжигании биомассы не происходит значительного увеличения общего уровня углекислого газа в атмосфере, что делает ее "углеродно-нейтральным" источником энергии;

- Сокращение зависимости от ископаемых топлив: Использование биомассы в качестве источника энергии позволяет уменьшить зависимость от ограниченных запасов ископаемых топлив, таких как нефть, уголь и природный газ. Биомасса может быть произведена и использована на месте, что способствует местной энергетической независимости;

- Разнообразие и доступность: Биомасса включает в себя широкий спектр источников, таких как древесина, сельскохозяйственные отходы, растительные масла, животные отходы и другие биологические материалы. Эти ресурсы часто доступны локально и могут быть использованы для производства энергии или тепла;

- Создание рабочих мест и развитие экономики: Развитие биомассовой энергетики способствует созданию рабочих мест в сельском хозяйстве, лесной промышленности и производстве биотоплива. Это способствует развитию местной экономики и содействует устойчивому развитию;

- Возможность использования отходов: Биомасса может использоваться для обработки и переработки различных отходов, включая сельскохозяйственные отходы, древесные отходы и животные отходы. Таким

образом, биомасса способствует утилизации и переработке отходов, что помогает снизить их негативное воздействие на окружающую среду.

Все эти преимущества делают биомассу важным компонентом перехода к более устойчивой и экологически чистой энергетической системе.

В качестве совместного пиролиза дополнительной биомассы, были выбраны древесные опилки.

2.3 Методика приготовления топливных композиций

Приготовление компонентов осуществлялось в лабораторных условиях при температуре 293 К, давлении 101,3 кПа и влажности 75 %. Методика приготовления топливной композиции включала следующие этапы:

1) Чистка и сушка исходных образцов. Отходы деревообработки и торфа предварительно очищали от крупных включений и мусора, сушили в течение суток для удаления избыточной влаги при температуре 293 К;

2) Измельчение твердых горючих компонентов до состояния пыли. Для измельчения торфа и древесных опилок использовался лабораторный измельчитель Stegler LM-1000 (скорость вращения ротора 500 об/мин). Затем при помощи отсева лабораторного РЛ-1 и набора сит [31], отбиралась проба со средним размером частиц: для торфа около 80 мкм, а для древесных опилок тонины помола выделенный размер увеличивался до 200 мкм;

3) Подготовка навесок компонентов смеси при помощи аналитических весов ViBRA HT 84RCE (дискретность измерения – 10^{-4} г), исходя из расчета массы готового состава и соответствующих массовых долей компонентов;

Эксперименты проводились с разными пропорциями по массе торфа (ТО) и древесных опилок (ДО) в смеси: 1) ТО_100 % / ДО_0 %; 2) ТО_90 % / ДО_10 %; 3) ТО_75 % / ДО_25 %; 4) ТО_50 % / ДО_50 %; 5) ТО_25 % / ДО_75 %; 6) ТО_0 % / ДО_100 %. На рисунке 2.1, приведено изображение исходной топливной композиции торфа и древесных опилок в соотношении ТО_50 % / ДО_50 %.



Рисунок 2.1 – Топливная композиция торфа и древесных опилок
в соотношении 50 % / 50 %

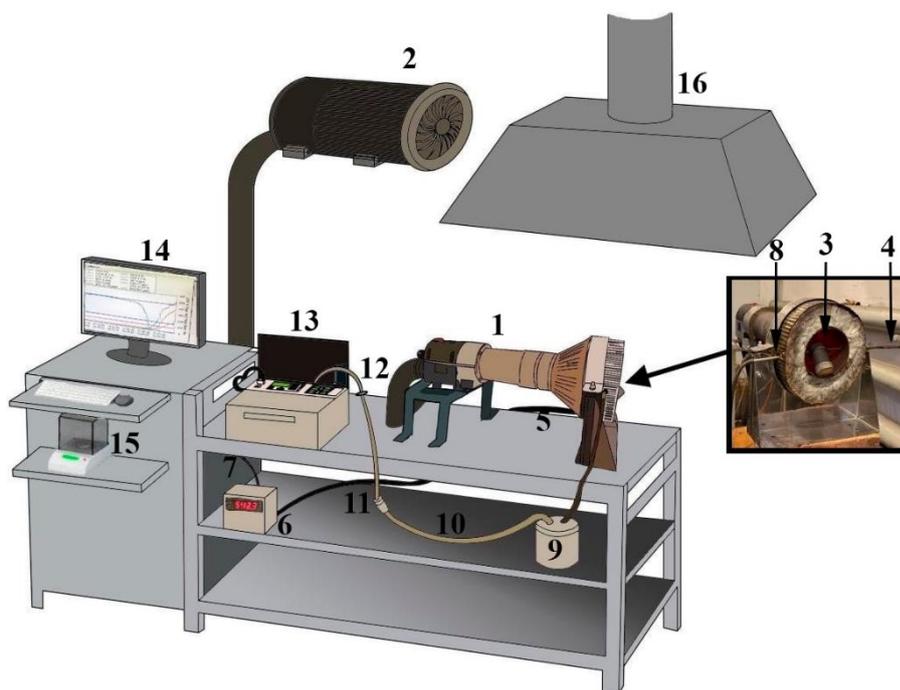
Для смешения топливных компонент и равномерного распределения частиц в смеси проводился процесс перемешивания в течение 7 минут шаровой барабанной мельнице. Полученная однородная смесь, подготовленная в разных пропорциях по массе, помещалась в тигель для эксперимента.

3 Разработка экспериментальных стендов и методологий проведения экспериментов

В процессе исследовательской работы был применен метод медленного пиролиза.

3.1 Экспериментальный стенд для получения синтез-газа и биоуглерода

На рисунке 3.1 приведена принципиальная схема экспериментального стенда, разработанного для исследования процессов пиролиза топливных композиций.



- 1 – нагнетатель воздуха; 2 – нагреватель воздуха; 3 – тигель с приготовленной топливной композицией; 4 – термопара; 5 – канал связи с электронным преобразователем сигнала термопары; 6 – электронный преобразователь сигнала термопары; 7 – передача данных с преобразователя сигнала термопары в моноблок (персональный компьютер); 8 – газоотводящий канал; 9 – конденсатосборник (влагоотделитель); 10 – газоотводящий канал с системой очистки смол и мелкодисперсных частиц находящийся в газовой среде; 11,12 – фильтры очистки газа от пыли и смол; 13 – газоанализатор; 14 – моноблок (персональный компьютер); 15 – аналитические весы; 16 – вытяжная вентиляция

Рисунок 3.1 – Схема экспериментального стенда

В первую очередь навеска массой 8 г взвешивалась на аналитических весах (15), после взвешивания помещалась в тигель (3), затем тигель крепили в нагревателе воздуха (1). Тигель с левой стороны крепился на металлический газоотводящий канал (8), и с правой стороны на термопару (4). С помощью нагнетателя воздуха (2), воздух подавался в воздушнонагреватель (1), с помощью которого нагревался тигель с навеской до температуры 560 °С внутри тигля. После достижения необходимой температуры процесс поддержания температуры осуществлялся до прекращения формирования газовых компонент, которые прекращали регистрироваться газоанализатором (13). Для осуществления защиты датчиков газоанализатора сформирована система газоочистки от смол и твердых летучих частиц (11, 12). Жидкие продукты пиролиза накапливались с помощью системы конденсации в охладителе (9). Проанализированные газовые компоненты после газоанализатора (13) выводились через вентиляцию (16).

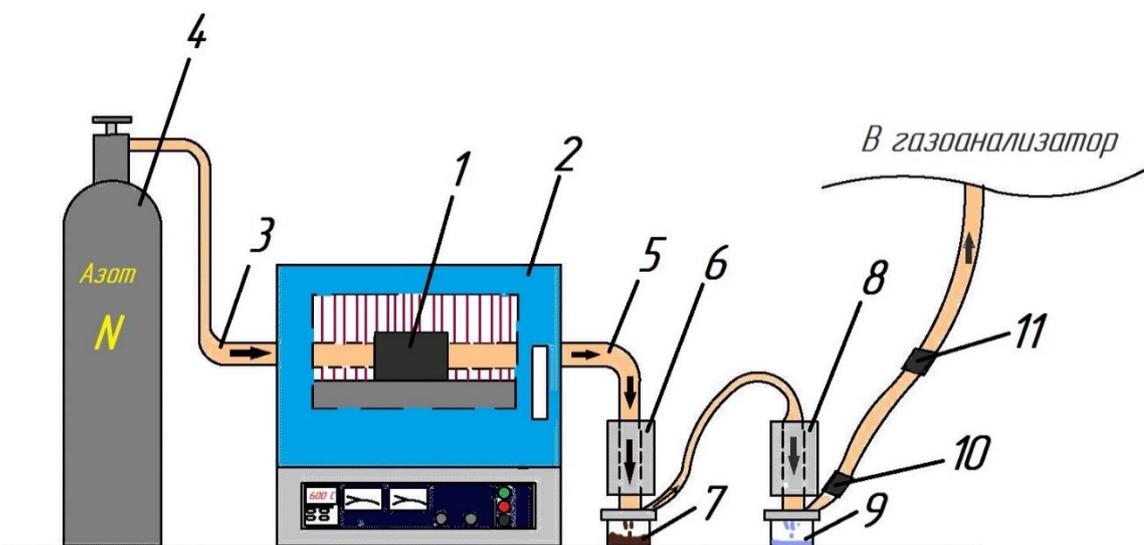
Недостатком данной конструкции заключается в том, что во время пиролиза с недостатком кислорода, был подан слишком большой объем воздуха в установку, что позволяло кислороду проникать через поры внутрь тигля. Когда небольшое количество кислорода вводилось в реакционную среду и реагировало с углеродом, формирующийся оксид углерода успевал окислиться до диоксида углерода, что приводило к увеличению выхода диоксида углерода. В результате этого, углеродный остаток, полученный в конце исследования, оказался частично окисленным и не дал желаемых результатов.

Преимуществом данной экспериментальной установки является возможность быстрого нагрева и охлаждения благодаря подаче воздуха. Однако из-за увеличения объема воздуха, тигель не был газонепроницаемым (газо-плотным), и в результате эксперимента стало ясно, что имелись потери горячих газов в такой постановки задач. В связи с этим было принято решение модернизировать установку для получения жидких углеводородов, сделав ее стационарной и исключив наличие кислорода.

3.2 Экспериментальный стенд для получения жидких углеводородов

В данной установке отсутствует подача нагреваемого воздуха, и тигель находится в печи, куда практически не поступает кислород, вместо этого осуществляется продувка азотом.

На рисунке 3.2 представлена схема стенда, используемого для исследования процессов пиролиза топливной композиции с получением жидких углеводородов.



1 – тигель с топливной композицией; 2 – муфельная печь;

3 – канал с подводом азота; 4 – баллон с азотом;

5 – продукто-отводящий канал; 6 – холодильный теплообменник;

7 – первый конденсатосборник (влагоотделитель); 8 – водяной охладитель

газов; 9 – второй конденсатосборник (влагоотделитель);

10, 11 – фильтры очистки газа от пыли и смол

Рисунок 3.2 – Схема экспериментального стенда с отсутствием кислорода продувкой инертным газом для получения жидких углеводородов

Образцы торфа и древесных опилок были приготовлены путем смешивания и взвешены на аналитических весах. Образец массой 130 ± 2 г был помещен в тигель (1), после чего закреплен в муфельную печь (2). Муфельную печь разогревали до температуры 600 °C со скоростью нагрева 10 °C/сек, конечная температура поддерживается в течение 50 минут до конца эксперимента.

С боковых сторон через печь в тигель крепился газо-подводящий металлический канал с азотом 100 мл/мин (3) для удаления остаточного воздуха, и с обратной стороны к металлическому каналу для выхода газового и жидкого продукта пиролиза (5). Металлический продукто-отводящий канал соединился непосредственно с холодильным охладителем (6) для конденсации газов и являлся важным элементов конверсии газов для получения жидкого топлива. Холодильный теплообменник (6) имел тип охлаждения труба в трубе с температурой охлажденной среды газов через стену -20°C . После прохождения холодильного теплообменника жидкость скапливалось в баке (7), остальные не сконденсировавшийся газы направлялись в следующий водяной охладитель (8) и таким образом происходила остаточная конденсация. После прохождения последней конденсации, газы поступали через фильтры очистки от пыли и смол в газоанализатор. Проанализированные газовые компоненты после газоанализатора выводились в атмосферу при помощи вытяжной вентиляции.

В экспериментальном стенде процесса пиролиза с отсутствием кислорода, органические материалы подвергаются нагреванию и разложению при высоких температурах и высоком давлении, что приводит к образованию газов более высокого качества, улучшению конденсации жидкостей и более полному разложению твердых остатков.

3.3 Вывод по разделу 3

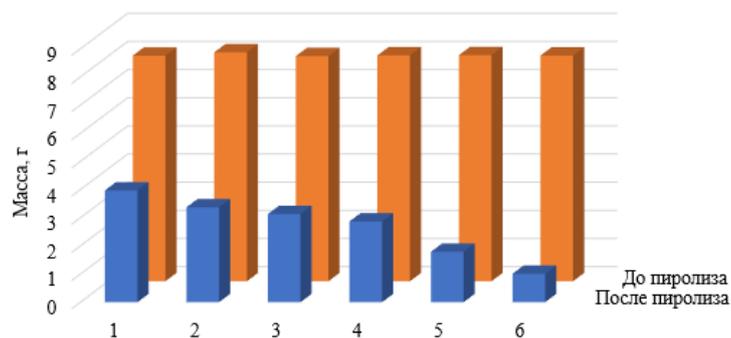
Следовательно, основным отличием между экспериментальными стендами для пиролиза с недостатком и отсутствием кислорода является среда процесса пиролиза. Эти факторы послужили продвижением к модернизации установки, что оказалось более эффективным и экономически выгодным в 8,5 раз, а также представляет меньше рисков в плане безопасности и экологических последствий работающему с оборудованием.

4 Результаты экспериментальных исследований по определению технических характеристик газового, жидкого, твердого остатка, полученного при термическом разложении торфа, древесины и смесевых топлив на их основе

4.1 Результаты экспериментальных исследований полученного синтез-газа

Исследования проводились в установке с недостатком кислорода. В ходе проведения исследования наблюдалась потеря массы топливных композиции при разложении органических соединений, что обусловлено повышением температуры реакции.

Органическое вещество в торфе включает в себя небольшое количество целлюлозы и некоторые производные лигнина, которые в основном не содержат гемицеллюлозы. Это связано с тем, что гемицеллюлоза полностью разлагается в процессе коалесценции торфа, но при этом количество целлюлозы значительно уменьшается, а структуры, полученные из лигнина, селективно сохраняются. Температура разложения гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина составляет 180–340 °С, 230–450 °С и свыше 500 °С соответственно [33]. Более высокая скорость нагрева приводит к более высокой пиковой температуре и, соответственно, к возрастанию скорости потери массы. Это связано с тем, что по мере увеличения скорости повышения температуры пиролиза увеличивается температурный градиент внутри и снаружи частиц, что приводит к более низкой степени реакции внутри частиц, чем снаружи частиц. В то же время газ, образующийся снаружи частицы, не успевает рассеяться, что может оказать определенное воздействие на внутреннюю часть частицы. Чем больше скорость нагрева, тем серьезнее гистерезис в процессе пиролиза [34]. На рисунке 4.1 и в таблице 4.1 представлены массы топливных композиций до и после проведения опыта.



(1 – торф_100%, древесина_0%; 2 – торф_90%, древесина_10%;
 3 – торф_75%, древесина_25%; 4 – торф_50%, древесина_50%;
 5 – торф_25%, древесина_75%; 6 – торф_0%, древесина_100%)

Рисунок 4.1 – Изменение массы смеси при пиролизе

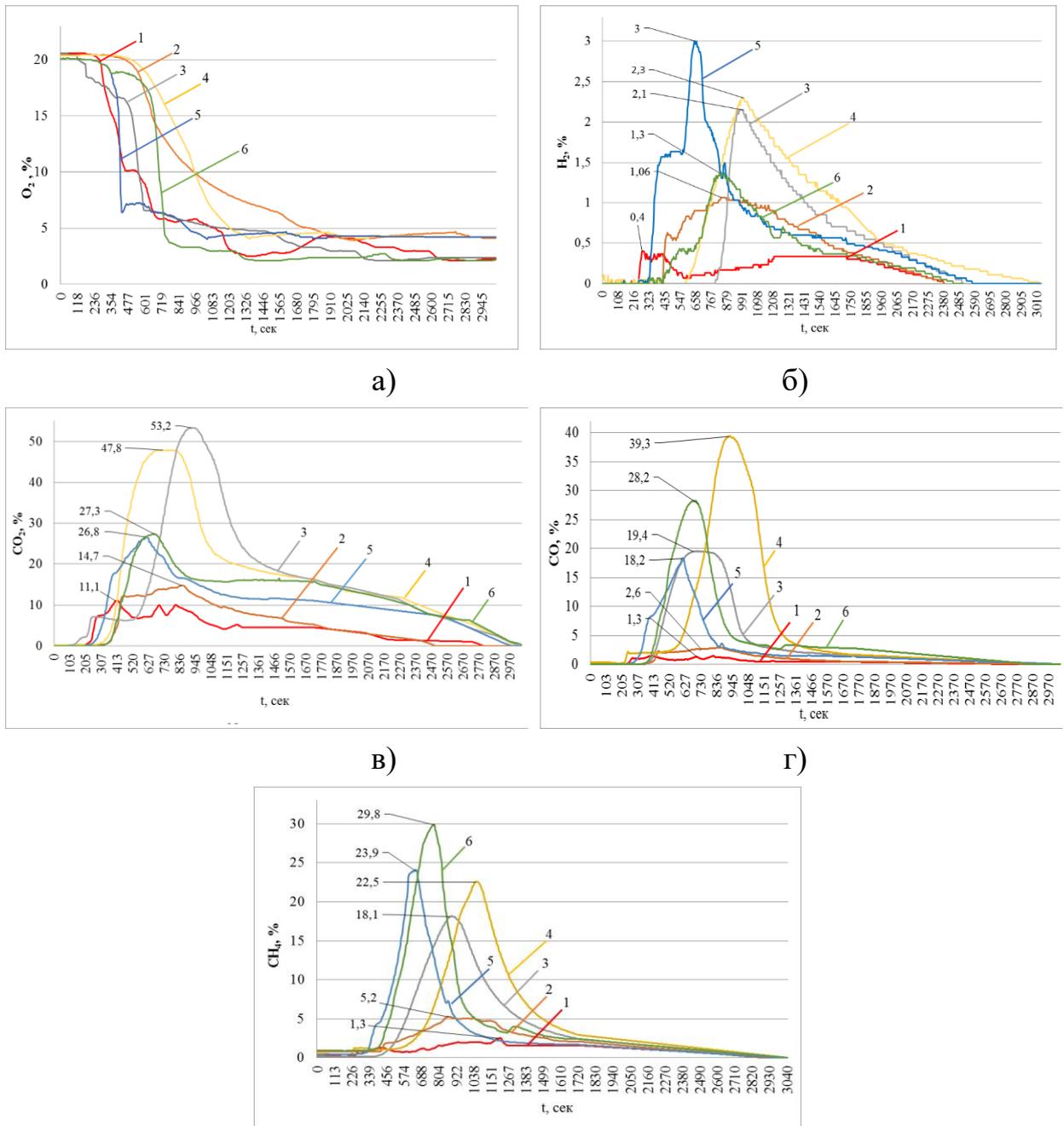
Таблица 4.1 – Масса топливных композиций

Топливные композиции	Масса образцов, г	
	До	После
Торф 100 %	8,013	3,969
Торф 90 %; Древесные опилки 10 %	8,131	3,369
Торф 75 %; Древесные опилки 25 %	7,996	3,234
Торф 50 %; Древесные опилки 50 %	8,022	2,869
Торф 25 %; Древесные опилки 75 %	8,031	1,79
Древесные опилки 100 %	8,015	1,01

В процессе совместного пиролиза древесных опилок и торфа, по мере того как доля опилок постепенно увеличивалась, выход полукокса постепенно снижался. Это указывает на то, что совместный пиролиз может иметь синергетический эффект, который способствует последующей газификации полукокса и вторичный крекинг тяжелой смолы в процессе пиролиза. При температуре 560° С выход газа постепенно увеличивается, это происходит за счёт увеличения температуры пиролиза.

При достижении температуры 540–560 °С неорганические минералы в торфе разлагались, а из древесных опилок выходили летучие вещества, образуя биоуголь. Анализ углеродного остатка показал существенное изменение веса диапазон изменений составил 28–30 % от исходной массы

топливной навески. Типичные результаты исследования газовых компонент при разложении топливных смесей, приведены на рисунке 4.2.



а – O₂, б – H₂, в – CO₂, г – CO, д – CH₄; 1 – торф_100%, древесина_0%;
 2 – торф_90%, древесина_10%; 3 – торф_75%, древесина_25%;
 4 – торф_50%, древесина_50%; 5 – торф_25%, древесина_75%;
 6 – торф_0%, древесина_100%)

Рис 4.2 – Изменение зависимости объемных долей газов от времени термического разложения смесевых топлив при разных соотношениях их по массе

Пиролиз – это один из различных типов процессов химического разложения, которые происходят при более высоких температурах в инертной атмосфере, что приводит к их разложению на более простые соединения [35]. В процессе пиролиза происходит снижение содержания кислорода в газовой фазе продуктов, поскольку он используется для окисления углерода и других элементов входящих в состав органических материалов. Как показано на рисунке 4.2, а, уменьшение кислорода во время пиролиза является естественным процессом, который приводит к образованию таких газов, как углекислый газ, водород, метан и монооксид углерода. В таблице 4.2, представлены данные подсчета подынтегральных площадей газов, полученных от разной концентрации топливных композиции.

Таблица 4.2 – Подынтегральная площадь газов

	Топливные композиции, %	Подынтегральная площадь газов, %			
		H ₂ , %	CO, %	CO ₂ , %	CH ₄ , %
1.	ТО_100%	5,44	2,246	6,634	4,509
2.	ТО_90% / ДО_10%	15,348	4,243	9,25	9,485
3.	ТО_75% / ДО_25%	18,018	20,892	26,441	20,723
4.	ТО_50% / ДО_50%	23,895	35,436	25,954	22,994
5.	ТО_25% / ДО_75%	23,958	23,12	16,431	17,908
6.	ДО_100%	13,333	14,059	15,318	24,379

Анализ рисунка 4.2 показал следующие результаты, повышение температуры пиролиза до 560 °С приводит к увеличению интенсивности выделения H₂ (рисунок 4.2, б). Торф состоит в основном из гуминовой кислоты, асфальтена, части целлюлозы и гемицеллюлозы, а древесные опилки состоят в основном из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина [12]. Кроме того, с увеличением доли древесных опилок в экспериментальных смесях выход H₂ постепенно увеличивался. Максимальную подынтегральную площадь показал анализ газов при разложении смеси топлив соотношении по массе равных 50 %, дальнейшее увеличение доли древесной компоненты в смеси не привело к улучшению синергетического эффекта. Образец ТО_50 % / ДО_50 % имеет

большую подинтегральную площадь при температуре пиролиза 560 °С равным, в то время как водород из ТО_100% является самым низким 5,44 %, ТО_25% /ДО_75% равен 18,018 % и для смеси ТО_75% / ДО_25% в 23,985 %, что связано с их разной концентрацией.

На рисунке 4.2, г, д, наблюдается тот же синергетический эффект по увеличению выхода горючих компонент СО и СО₂ их подинтегральные площади кривых для топливной смеси в соотношении компонент равных по массе существенно больше остальных смесевых топлив. В этом эксперименте при разложении карбоксильной и гуминовой кислоты в макромолекулярной структуре торфа образуется значительное содержание диоксида углерода. Однако основными источниками СО являются различные процессы, к ним относится разложение фенольных гидроксильных и карбонильных групп, а также расщепление эфирных связей, окисгенированных гетероциклов и расщепление короткоцепочечных алифатических углеводов, которые также могут образовывать СО [12]. Высокий выход СО₂ и СО с объемной долей 25,954 % и 35,436 % замечен у образца ТО_50% / ДО_50% с объемной долей оксида углерода.

Пиролиз был проведен на экспериментальном стенде, где имелся недостаток кислорода. В результате этого недостатка, образовавшийся оксид углерода успевал претерпеть окисление, превращаясь в диоксид углерода. В связи с этим, при увеличении выхода газовых компонентов при соотношении торфа и биомассы 50 / 50, особенно диоксид углерода, также увеличивался.

С постепенным увеличением концентрации древесных опилок в составе образцов при совместном пиролизе, выход СН₄ постепенно увеличивался при концентрации ТО_50 % / ДО_50 %, была равна 22,994 % (таблица 4.2). Вышеуказанные исследования доказали, что образование СН₄ сильно зависит от температуры пиролиза. При более высоких температурах пиролиза метиленовая группа, ароматические органические соединения, которые состоят только из сопряженной плоской кольцевой системы в макромолекулярных структурах торфа, может более легко реагировать с

водородом для образования CH_4 . Кроме того, высокая температура пиролиза способствует более эффективному связыванию каталитически активных участков и летучих веществ в полукоксе, что приводит к катализаторному расщеплению смолы на маломолекулярные газообразные продукты, включая CH_4 [12].

4.2 Вывод по подразделу 4.1

На основании результатов выполненных экспериментальных исследований процессов термической конверсии смесевых твердых с учетом изменения соотношений топлив с получением синтез-газа, можно сделать следующие выводы:

1) Увеличение доли древесной биомассы до 50 % составе смесевых топлив приводит к существенному синергетическому эффекту на основе торфа и способствует увеличению выделения горючих газов, в частности водорода, метана и оксида, диоксида углерода. А дальнейшее увеличение доли последней в смеси этот эффект не усиливает, а наоборот даже его снижает, что позволяет сделать вывод, что состав смесевых топлив на основе торфа и биомассы (отходы лесопиления) наиболее оптимален при соотношении компонент торф / древесина равных по массе;

2) Результаты непрерывного газового анализа показали, что увеличение скорости нагревания положительно сказывается на пиковой температуре, соответствующей максимальной скорости потери массы. На основе анализа экспериментальных исследований можно сделать вывод, что большое влияние на образование CH_4 оказывает температура пиролиза. При более высоких температурах метиленовая группа, связанная с ароматическим соединением в макромолекулярных структурах торфа, может легче реагировать с водородом в образовании CH_4 ;

3) Пиролиз в установке с недостатком кислорода имеет некоторые ограничения и недостатки, такие как низкая эффективность процесса, большое количество выбросов газов за счет плохой изоляции тигля, находящийся самой установке. Поэтому было принято решение усовершенствовать и собрать

более герметичную установку для проведения пиролиза с более эффективным и экологически безопасным процессом.

4.3 Результаты анализа газовых и жидких продуктов

Производства биомасло в настоящее время представляет особый интерес, поскольку жидкость можно хранить и транспортировать, а также использовать для получения энергии или в качестве энергоносителя.

Исследования проводились в муфельной печи с отсутствием кислорода. Как было описано в разделе 4.1 При нагревании смесей до температуры 600 °С происходит разложение целлюлозы, лигнина и других полисахаридов древесины, а также гумусовых веществ торфа. В результате разложения образуются газы, жидкости и биоуголь (углеродный остаток).

Анализ углеродного остатка показал существенное изменение веса диапазон изменений составил 34,7–43,389 % от исходной массы топливной навески при скорости нагрева 10 °С/сек.

В таблице 4.3 представлены массы топливных композиций до и после проведения исследования.

Таблица 4.3 – Масса топливных композиций

	Топливные композиции	Масса образцов, г				Синтез газ, %
		Исходное топливо, г	Углеродный остаток, г	Водяная жидкости, г	Смолистая жидкость, г	
1.	ТО_100 %;	132,019 (100 %)	57,283 (43,389 %)	7,7948 (5,904 %)	0,2778 (0,2104 %)	50,496
2.	ТО_50 % / ДО_50 %.	132,539 (100 %)	50,752 (34,692 %)	19,227 (13,143 %)	1,165 (0,7963)	51,369

Как можно заметить в выше представленной таблице 4.3, что при добавлении древесных опилок до 50% способствует увеличению выделению водяной, смолистой жидкости и синтез-газа, но при этом уменьшается углеродный остаток.

На рисунке 4.3, приведены полученные результаты жидких компонентов при разложении топливных смесей.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Топливо-водяная жидкости с первого конденсатора:

а – торф_100 %, древесина_0 %, б – торф_50 %, древесина_50 %;

Остаточные моночастицы высохшего жидкого топлива
со второго конденсатора: в – торф_100 %, древесина_0 %;

Остаточные влага высохшего жидкого топлива со второго конденсатора:

г – торф_50 %, древесина_50 %; Смолистая вязкая жидкость: д –
торф_100 %, древесина_0%; е – торф_50 %, древесина_50 %

Рисунок 4.3 – Полученные результаты жидких компонентов при
разложении топливных смесей

Водяная жидкость содержит количество воды в пределах от 5,9 % – 13,2 %, которая образует стабильную однофазную смесь, в зависимости от исходной смеси. Водяная жидкость имеет темно-коричневый цвет (рисунок 12, а, б) и состоит из очень сложной смеси насыщенных кислородом углеводов со значительной долей воды, как из исходной влаги, так и из продукта реакции [17]. Как можно наблюдать на рисунке 4.3, в, г в остаточном водном конденсаторе после испарения влаги в течение продолжительного времени можно обнаружить твёрдые фракции.

Смолистая жидкость, так называемая биомасло образуется в результате охлаждения и, в результате, происходит разложение продуктов на гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина [17]. Таким образом, биомасло содержит много активных веществ, которые способствуют ее необычным свойствам. Биомасло можно рассматривать как микроэмульсию, в которой непрерывной фазой является водный раствор продуктов разложения голоцеллюлозы, который стабилизирует прерывистую фазу макромолекул пиролитического лигнина с помощью таких механизмов, как водородные связи (рисунок 4.3 д, е). [17]. В процессе выдержки при температуре 600 °С и переход в более легкую фазу, как жидкое состояние дало результатом разрушения этой эмульсии. В некотором смысле его можно считать аналогом асфальтенов, содержащихся в нефти [17].

Выход углеродного остатка уменьшается с повышением температуры пиролиза, поскольку органические материалы сгорают, а целлюлоза и гемицеллюлоза разрушаются при более высоких температурах.

Наиболее важным параметром, влияющим на характеристики выхода газов и жидких углеводов, является температура пиролиза. Полученное содержание воды сконденсировавшегося от биомасла составила 5,904 %, точнее 7,794 г от общей массы для образца ТО_100 %. Полученная смолистая жидкость (бионефть) составила 0,2104 % или 0,2778 г от общей массы, соответственно. Отстальные 50,496 % остается на выход синтез-газа.

При термическом разложении смеси торфа и древесных опилок в соотношении по массе ТО_50 % / ДО_50 %, дало выход жидкости от биомасла 13,143 % (19,227 г), смолистая жидкость (биомасло) составила 0,7963 % (1,165 г), а также получено 51,369 % синтез-газа.

4.4 Эксперименты по горению полученных продуктов

В ходе эксперимента были проведены методы горения смолистой жидкости (биомасла). При сжигании биотоплива наиболее важной особенностью его состава является его высокое содержание влаги. Высокое содержание влаги в биомаслах способствует их низкой энергетической плотности, снижает адиабатическую температуру пламени и локальные температуры горения, а также снижает скорость реакции горения из-за относительно высокой температуры испарения и высокой удельной теплоемкости в паровой фазе. Кроме того, высокое содержание влаги затрудняет зажигание и увеличивает время задержки зажигания за счет снижения скорости испарения капель, что является ключевой дальнейшей проблемой при использовании биомасла в двигателях с воспламенением от сжатия. Слишком высокое содержание влаги в биомасле может негативно повлиять на качество горения, приводя к нестабильности пламени и ухудшению управляемости горения, что может привести к увеличению общего объема выбросов несгоревших частиц [36–38].

При горении биомасла полученной при термическом разложении ТО_100 % показала, что жидкость не вязкая, ее горение происходит более долгое время, это объясняется, тем что торф является низкокалорийным топливом. В процессе горения наблюдалось, что моночастицы остаточного торфа в составе горят и улетучиваются, а остальная жидкость испаряется и оставляя после себя черной сухой остаток.

Горение биомасла из смеси ТО_50 % / ДО_50 % показало лучший результат по сравнению с ТО_100 %, однако не достигает соответствующего уровню традиционной нефти. Процесс горения капли пиролизного масла начинается с испарения внутренней влаги, за которым следует нагрев легких

соединений, с селективным испарением и жидкофазным пиролизом тяжелых фракций [38, 39]

Во время жидкой фазы пиролизное масло проявляет свое весьма своеобразное поведение таких, как набухание, усадка и микровзрывы. Наблюдается синее пламя, за которым следует желтое, в конечном итоге происходит выделение дыма из капли. Как правило, по пламени также можно увидеть, что образуется некоторое количество искр, которые вырываются из пламени, таким образом происходит процесс сжигание более тяжелых соединений (рисунок 4.4). Заключительным этапом, после того как пламя погаснет, является выгорание твердого остаточного следа, размер которого сравним с диаметром исходной капли.



Рисунок 4.4 – Процесс горения бионефти смеси ТО_50 %/ДО_50 %

Сжигание биомасла можно разделить на две стадии. Как правило, первой стадией является испарение и сгорание легких соединений. Вторая стадия включает в себя сжигание более тяжелых соединений.

Сложно добиться воспламенения биотоплива, но после воспламенения оно может гореть стабильно. Трудности с воспламенением в основном обусловлены очень высокой теплотой испарения влаги. Это означает, что для достижения воспламенения биомасел требуется затратить больше энергии. Тем самым для улучшения воспламенения и горения пламя образца

ТО_50%/ДО_50% было добавлено легковоспламеняющаяся полярная добавка, как этанол при соотношении 1:1. Это дало более стабильное горение капли и эффективным средством для улучшения топлива.

4.5 Выводы по подразделам 4.3 и 4.4

На основании результатов выполненных экспериментальных исследований процессов термической конверсии смесевых твердых с учетом изменения соотношений топлив с получением жидких углеводородов, можно сделать следующие выводы:

При совместном пиролизе смесей торфа и древесных опилок предоставляет возможность получению жидких углеводородов, но в малом количестве. Для получения большего количества жидких углеводородов необходимо использовать более быстрый процесс пиролиза, такой как метод быстрый пиролиз или пиролиз на флотационной печи. Это связано с тем, что процесс быстрого пиролиза дает высокие выходы жидкостей до 75 мас. %, которые могут быть непосредственно использованы в качестве эффективного энергоносителя [13].

Совместный пиролиз торфа, отходов древесины и этанола может привести к производству биомасла с улучшенными характеристиками. Добавление этанола может способствовать повышению эффективности процесса воспламенения и горения, что может привести к снижению выхода токсичных компонентов. Полученное биомасло может иметь более высокую энергетическую плотность и лучшие свойства сжигания, что может сделать его более привлекательным в качестве топлива [38].

Воспламеняемость биомасел была проведена с помощью газовой горелки на длительность воспламенения, и было показано, что биомасла способны поддерживать горение и могут быть классифицированы как слабо горючие жидкости. Но данное топливо полученное в результате пиролиза торфа и опилок, не подходит для промышленного использования в качестве топлива и нуждается в дальнейшей модернизации с помощью таких процессов:

Один из способов усовершенствования жидких углеводородов – это гидроочистка. Гидроочистка представляет собой процесс, в ходе которого жидкие углеводороды проходят через катализатор, который удаляет различные примеси, такие как серу, кислород и азот. Результатом гидроочистки являются более чистые и стабильные жидкие углеводороды [39].

Другим способом усовершенствования жидких углеводородов является гидро-крекинг, который представляет собой процесс, в ходе которого жидкие углеводороды превращаются в меньшие молекулы под воздействием катализатора и водорода. В результате гидро-крекинга получают более легкие и более ценные продукты, такие как бензин, дизельное топливо и керосин [39].

Еще одним способом усовершенствования жидких углеводородов является каталитический крекинг, который представляет собой процесс, в ходе которого жидкие углеводороды разбиваются на более легкие молекулы при помощи катализатора. Результатом каталитического крекинга являются более легкие и более ценные продукты, такие как бензин и летучие нефтепродукты [38].

Таким образом, усовершенствование жидких углеводородов после пиролиза может быть достигнуто через применение различных методов обработки, что позволяет получить более чистые, более легкие и более ценные продукты, которые могут использоваться в различных отраслях промышленности.

4.6 Результаты анализов углеродного остатка

В данном подразделе представлены результаты исследования по влиянию температуры на состав и свойства биоугля, полученного пиролизом древесных опилок и торфа.

Технические характеристики (влажность, зольность, содержание летучих веществ) исходного образца были определены в соответствии ГОСТ Р 52911-2013 [40] «Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги»,

ГОСТ 11022-95 [29] «Методы определения зольности», ГОСТ Р 55660-2013 [41] «Определение выхода летучих веществ». Определение теплоты сгорания осуществлялось в соответствии с ГОСТ 147-2013 [28] «Топливо твёрдое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчёт низшей теплоты сгорания.» и предоставлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Характеристики топливных композиции исходного сырья

Параметр	Топливные композиции исходного сырья			
	ТО_100%	ТО_90% / ДО_10%	ТО_75% / ДО_25%	ТО_50% / ДО_50%
Технические характеристики				
Влажность W_r , мас%	6,51	6,75	6,15	6,55
Зольность A^d , мас, %	15,29	13,41	11,09	7,56
Летучие вещества V^{daf} , %	82,5	83,13	85,4	87,33
Аналитическая низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	31,91	30,68	28,63	23,647
Рабочая низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	29,532	28,252	27,342	22,291

Как можно заметить из представленной в таблице 4.4 в которой приведены характеристики топливных композиции исходного сырья, при разном соотношении смеси содержание зольности, влажности, выхода летучих веществ и низшая теплота сгорания показывает разный результат.

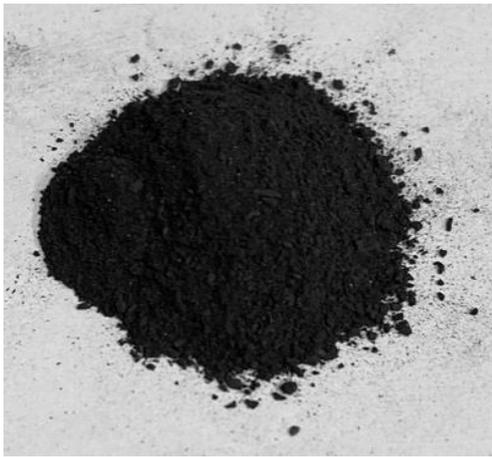
Древесные опилки содержат более высокую долю летучих веществ, таких как легковоспламеняющиеся углеводы и летучие органические соединения, которые быстро испаряются и сгорают при нагревании по сравнению с торфом. Поэтому при увеличении концентрации древесных опилок в смеси, увеличивается доля летучих веществ, что может снизить общую теплоту сгорания. Увеличение количества древесных опилок приводит к снижению аналитической низшей теплоты сгорания, калорийность древесных опилок составляет менее 18,2 МДж/кг. Если проанализировать

результаты, то торф 100 % обладает высокой калорийностью, равной 31,91 МДж/кг для аналитической пробы и 29,532 МДж/кг для рабочей низшая теплота сгорания, соответственно. Но при смешивании смеси с торфом в концентрации ТО_50% / ДО_50 % калорийность снижается до 23,647 МДж/кг и 22,291 МДж/кг для аналитической и рабочей низшей теплоте сгорания, соответственно.

Таблица 4.5 – Характеристики топливных композиции углеродного остатка

Параметр	Топливные композиции исходного сырья			
	ТО_100%	ТО_90% / ДО_10%	ТО_75% / ДО_25%	ТО_50% / ДО_50%
Технические характеристики				
Влажность W_r , мас%	0,13	0	0	0,57
Зольность A^d , мас, %	33,92	30,56	26,58	20,43
Летучие вещества, V^{daf} , %	–	–	–	–
Аналитическая низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	19,931	22,643	23,09	23,693
Рабочая низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	18,617	21,329	21,770	22,347

Как и в предыдущей таблице 4.5, характеристика топливных композиции углеродного остатка (таб. 6) при увеличении доли древесной биомассы до 50 % в составе смесового топлива на основе торфа приводит к линейному снижению зольности что позволяет уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу, а также к отсутствию влажности в образцах. Эти характеристики являются важными при эффективном использовании углеродного остатка в качестве топлива. На рисунке 4.5 представлены типичные образцы углеродных остатков. Пиролиз, проведенный в инертной среде при температуре 600 °С, позволяет получить углерод с практически полным отсутствием летучих компонентов, за исключением 1–2% оставшихся связей с лигнином.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

а) – торф_100%, древесина_0%; б) – торф_90%, древесина_10%;
в) – торф_75%, древесина_25%; г) – торф_50%, древесина_50%;
д) – торф_25%, древесина_75%; е) – торф_0%, древесина_100%)

Рисунок 4.5 – Углеродные остатка после термического разложения
смесевых топлив при разных соотношениях их по массе

Более высокие параметры зольности и влажности могут последующем пагубно повлиять на энергетическое оборудование. Мельчайшие твердые частицы золы, которые образуются при сгорании топлива, переносятся потоком газов и выходят из топки в виде золы, которая может осаждаться на поверхности, находящиеся в конвекционной зоне, приводя к снижению тепловой эффективности. Высокая влажность топлива влечет за собой ряд технических проблем: снижается теплота сгорания, что увеличивает расход топлива и затраты на его механическую подготовку и транспортировку. Также увеличивается объем продуктов сгорания и требуется больше энергии для работы дымососа. В результате этого повышается коррозия и загрязнение поверхности нагрева липкими отложениями, особенно воздухоподогревателя [42].

Повышенная влажность топлива может вызвать ряд трудностей: снижение теплоты сгорания и увеличение расхода топлива и затраты на его размол и транспорт, увеличение объемов продуктов сгорания и расход энергии на привод дымососа, усиление коррозии и загрязнение поверхности нагрева липкими отложениями, в особенности воздухоподогревателя [42].

Высокое содержание летучих компонентов может обеспечить более эффективное сгорание и больший выход тепловой энергии. Однако следует учитывать, что высокий выход летучих топлив может также повысить воспламеняемость и взрывоопасность топлива, поэтому при его использовании следует соблюдать соответствующие меры предосторожности [42].

4.7 Вывод по подразделу 4.6

Подводя итоги данного раздела, можно сделать вывод, что наиболее эффективным вариантом использования как исходного материала, так углеродного остатка на основе торфо-древесного топлива является соотношение 50 %, поскольку именно такое соотношение дает наилучшие технические характеристики. Также было описано последующие влияния

технических характеристик образцов таких, как влажность, зольность, выход летучих и теплота сгорания на энергетическое оборудование.

4.8 Сравнение использования полукоксосового остатка с торфо-древесных топлив и традиционного угля

Оценка потенциального использования топливных ресурсов в будущем, основанная на анализе технических характеристик топлив, представленных в таблице 4.4, 4.5 из разделе 4.5 и технических характеристик угля марки «Т» и «Д» в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Технические характеристики топлив

Параметр	Топлива			
	ТО_50 % / ДО_50 % (до пиролиза)	ТО_50 % / ДО_50 % (полукокс)	Уголь марки Т 100%	Уголь марки Д 100%
Технические характеристики				
Влажность W_r , мас%	6,55	0,57	5,32	5,83
Зольность A^d , мас, %	7,56	20,43	18,37	15,76
Летучие вещества, V^{daf} , %	87,33	–	25,56	12,36
Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	22,291	22,347	25,72	26,2

Выбор основных компонентов исследуемой смеси твердого топлива пал на угли, которые типичны для использования в энергетике, а именно каменные угли марки Т (тощий) месторождения «Алардинское» и марки Д (длиннопламенный) месторождения «Листвяжное» (месторождение Кузбасс, Россия), добываемые в Российской Федерации. Эти виды угля характеризуются относительно низким содержанием серы и высокой калорийностью, что делает их востребованными в качестве топлива на крупных тепловых электростанциях.

По данным представленных в таблице 4.6, можно видеть, что отличие по влажности исходного торфо-древесного топлива до процесса пиролиза от

традиционного угля не большая, всего 19 % и 11 % от углей марки Т и Д. В углеродной остатке и во все отсутствует влажность, так как влага выделялась вместе с летучими компонентами, поэтому углеродный остаток не содержит влагу.

Между образцами торфо-древесного топлива и угля наблюдается различие в зольности, где исходный образец торфо-древесного топлива имеет наиболее низкий и оптимальный показатель в 7,56 %, в то время как зольность углей составляет 18,37 % и 15,76 %. Однако зольность полукокса торфо-древесного топлива, равная 20,43 %, является достаточно высокой. Такая высокая зольность может привести к образованию большого количества золы и твердых остатков после сгорания, что может быть проблемой для дальнейшей эксплуатации в энергетическом оборудовании.

Теплота сгорания исходной смеси и полукокса в соотношении 50 % / 50 % не сильно отличился от углей марки Т и Д с разницей 3,5–4 Мдж/кг. Выход летучих веществ у образца торфо-древесного топлива составил 87,33 %, что является высоким результатом по сравнению с углями, у которых этот показатель равен 25,56 % и 12,36 %. Полученный полукокс не обладает выходом летучих компонентов, поскольку в ходе раннем термическом разложении все летучие вещества были удалены.

4.9 Вывод по подразделу 4.8

Среди всех сравниваемых топлив, исходное торфо-древесное топливо показывает лучший результат в этой категории. Использование торфо-древесного топлива в печах будет иметь ряд преимуществ перед традиционным топливом, которых можно выделить:

- 1) Низкая стоимость торфо-древесного топлива по сравнению с другими видами топлива, такими как уголь, нефть и газ;
- 2) Наличие месторождений торфа во многих регионах, что обеспечивает локальное производство топлива и уменьшает затраты на его транспортировку;

3) Торфо-древесные топлива производятся из биомассы и являются возобновляемыми источниками энергии, что дает им определенные преимущества перед углем, который является не возобновляемым природным ресурсом;

4) Возможность использования отходов деревообработки в качестве сырья, что позволяет решать проблему утилизации отходов и сокращать затраты на природные ресурсы.

Однако его использование в качестве источника тепла не является перспективным из-за высоких выбросов в атмосферу, включая диоксид углерода, оксиды азота и другие вредных веществ. Такие выбросы негативно влияют на окружающую среду и здоровье людей. Следовательно, его использование в качестве топлива нецелесообразно и не рекомендуется.

Использование полукокса, полученного из торфо-древесного топлива путем пиролиза, является более экологически чистым вариантом, чем использование угля. Полукокс содержит меньше серы и других вредных веществ, чем уголь, что позволяет снизить выбросы в атмосферу и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5BM11	Берикболову Алишеру Кайратулы

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н.Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.03 Энергетическое машиностроение

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы -1,15; - накладные расходы – 20%; - норма амортизации 20%.
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Проведение конкурентного анализа. Определение и сегментирование целевого рынка. SWOT-анализ проекта.
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Формирование плана и графика проекта: - определение структур работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта.
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление календарного плана проекта. Определение структуры работ. Подсчет бюджета исследования. Смета затрат на проект.
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Разработка инвестиционного плана и оценка рисков.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
<i>Матрица SWOT</i>
<i>График проведения и бюджет НТИ</i>
<i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
<i>Потенциальные риски</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM11	Берикболов Алишер Кайратулы		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

При рыночной экономике эффективное развитие предприятия может быть обеспечено только с присутствием грамотной проработки его финансовой системы. Заметно возрастает значение оценки конкурентоспособности разработки, а также расчет капитальных инвестиций и годовых эксплуатационных расходов проектируемого объекта.

Целью дипломной работы является исследование процессов термической конверсии смесевых твердых топлив на основе торфа и отходов лесопиления (с изменением доли последней в смеси до 75 %) с мониторингом получаемых полезных продуктов синтез-газа, жидких углеводородов, биоуглерода.

Целью данного раздела является расчет финансовой эффективности проекта. Такое обоснование позволяет находить оптимальные решения и предотвратить излишние затраты. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность НТИ;
- провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон;
- рассчитать бюджет НТИ;
- определить ресурсную и экономическую эффективность проекта.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для решения задачи анализа потенциальных потребителей необходимо провести исследование целевого рынка и его сегментирование [43].

В рамках данной работы под целевым рынком понимаются сегменты рынка, на котором в будущем возможна продажа разрабатываемого топлива. Сегментом рынка является выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих общими признаками.

Целевым рынком для данной работы является рынок производственных предприятий, тепло и электростанций, работающих на пылеугольном топливе.

5.1.2 Анализ конкурентных решений

Анализ конкурентоспособности композитного топлива на основе торфа и древесины позволяет определить наиболее вероятную позицию на рынке. Анализ конкурентных технических решений необходимо проводить с целью внесения коррективов в научное исследование. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны конкурентов [43].

Конкурентными разработками в данном случае будут являться композиционные топлива на основе угля (У) и топлива на основе угля и древесины (У/Д).

В таблице 5.1 приведена экспертная оценка основных технических характеристик данных смесей.

Таблица 5.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		У	У/Д	Т/Д	У	У/Д	Т/Д
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Энергоэкономичность	0,08	5	4	3	0,4	0,32	0,24
Энергоэффективность	0,06	3	4	5	0,18	0,26	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Цена	0,16	2	4	5	0,32	0,64	0,8
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Финансирование научной разработки	0,2	2	3	4	0,4	0,6	0,8

Продолжение таблицы 5.1

Срок выхода на рынок	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
Экологические критерии эффективности							
Влияние на окружающую среду	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
Утилизация остаточных отходов	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
Итого	1	38	40	39	3,4	3,87	4,04

В таблице 5.1 представлены основные конкуренты и критерии оценки конкурентоспособности. Каждый показатель конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателя определяется в соответствии с его значимостью для окружающей среды и экономической эффективности использования того или иного вида топлива, сумма всех показателей составляет 1 [43].

Совместное применение отходов лесопромышленного комплекса и торфа в качестве топлива способно существенно расширить сырьевую базу тепловых электрических станций, использующих в качестве основного топлива угольную пыль. В пиковых режимах работы возможно повышение маневренности котельных агрегатов.

5.1.3 SWOT-анализ

Одним из основных методов оценки конкурентоспособности является SWOT-анализ [38].

При проведении SWOT-анализа на первом этапе определяются сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта [43].

В таблице 5.2 приведён подробный SWOT-анализ компании, а также количественная оценка каждого критерия.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Энергоэффективность проекта;</p> <p>С2. Регионы обладают значительными запасами торфа.</p> <p>С3. Кратное сокращение выбросов отходов лесопиления и деревообрабатывающей промышленности;</p> <p>С4. Снижение выбросов антропогенных газов электростанцией.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Большое количество конкурентов</p> <p>Сл2.Сложность измельчения материала до однородности</p> <p>Сл3. Сложность в транспортировке и хранении.</p> <p>Сл4. Энергоэкономичность проекта.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Экономия природного топлива и переход на возобновляемый источник энергии;</p> <p>В2. Снижение затрат на уголь;</p> <p>В3. Снижение стоимости за единицу производимой энергии за счет снижения расходов на топливо.</p>	<p>Введение предложенной технологии позволяет повысить экономичность и энергоэффективность тепловых электрических станций. Технология позволяет сократить выбросы антропогенных газов в атмосферу и, за счет снижения использования возобновляемого источника энергии, снизить стоимость за единицу производимой электроэнергии.</p>	<p>Сложность в транспортировке и хранении топлива является весомой и нерешенной проблемой, которую необходимо будет решать в ходе эксплуатации нововведения.</p>

Продолжение таблицы 5.2

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на данный вид смесевого топлива.</p> <p>У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У3. Развитая конкуренция</p>	<p>Могут быть предъявлены повышенные требования к надежности работы энергетического котлоагрегата, использующего данный вид топлива. Следует уделить внимание технике безопасности при работе на оборудовании для подготовки предлагаемого топлива. Низкая себестоимость данного вида топлива позволяет конкурировать на рынке.</p>	<p>Отсутствие необходимого оборудования и длительный срок поставок комплектующих материалов может повлечь за собой отсутствие спроса на данную технологию.</p>
---	---	--

После составления матрицы SWOT можно сделать несколько важных выводов:

1) Необходимо совершенствовать технологию транспортировки и хранения предлагаемого топлива;

2) Необходимо искать решения по снижению стоимости данного вида топлива для возможности конкурировать на рынке. То есть, если сравнивать углем, то приходится в тройне переплатить для равного теплового сжигания между собой;

3) Для осуществления предлагаемой технологии необходимо готовить кадры, внося несущественные изменения в технику безопасности и правила эксплуатации котельного агрегата, использующего данный вид топлива.

5.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта [43].

Цели и результаты проекта

Для того, чтобы четко определить цели данного проекта необходимо провести анализ и выявить заинтересованные стороны проекта. В таблице 5.3 представлена информация по заинтересованным сторонам проекта.

Таблица 5.3 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Государство	Сокращение отходов лесопромышленного комплекса и эффективное использование колоссального запаса торфа, также сокращение расхода потребления угля как невозобновляемого энергетического ресурса.

Продолжение таблицы 5.3

Электростанция	Уменьшение выбросов антропогенных газов, снижение затрат на уголь.
Томский политехнический университет	Увеличение научных разработок, повышающих статус ВУЗа.

Цели и результат проекта представлены в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Экспериментальное исследование по определению влияния совместного использования торф и древесных отходов на энергетические, экологические и экономические характеристики.
Ожидаемые результаты проекта	Рассчитать и выяснить оптимальную концентрацию смеси торфяно-древесного топлива для максимальной эффективности сгорания такого топлива.
Критерии приемки результата проекта	Предоставление методики выполнения исследования, полнота, актуальность и объективность данных, структурированное изложение результатов проекта.
Требования к результату проекта	Эффективность использования данного топлива на предприятиях.

5.2.1 Организационная структура проекта

На этапе организационной структуры работы проекта решались следующие вопросы: определить, кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте [43].

Рабочая группа проекта состоит из научного сотрудника, координирующего деятельность проекта и исполнителя, выполняющего работы по проекту.

5.2.2 Планирование работ по проектированию

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [43]:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблицах 5.5 и составлен календарный план-график проведения НИОКР (таблица 5.6).

Таблица 5.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей научного исследования

	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный сотрудник
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Выбор направления исследований	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный сотрудник
Теоретические исследования	5	Проведение предварительных расчетов и обоснований	Исполнитель
	6	Очистка и сушка топлив	Исполнитель
	7	Определение энергетических характеристик смесового топлива	Исполнитель
	8	Определение количества газов, выбрасываемых в атмосферу при использовании топлива	Исполнитель

Продолжение таблицы 5.5

	9	Оценка и обсуждение результатов	Научный сотрудник
	10	Оценка эффективности полученных результатов	Научный сотрудник
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Исполнитель

Итого длительность работ в календарных днях научного сотрудника равняется 18 дней, а исполнителя 41 день.

5.3 Бюджет затрат на проектирование

В ходе выполнения данного раздела был произведен расчет материальных затрат на проектирование, затрат на заработную плату исполнителей научного исследования, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Материальные затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

Материальные затраты	Ед. изм.	Объем потребления	Тариф, руб/ед.	Итого, руб.
Торф	1	300 кг	1500	1500
Древесные опилки	1	300 кг	4500	4500
Электроэнергия	Кол. часов работы x потреб. мощн.	300 ч x 100 Вт = 30 кВт·ч	5,8 кВт·ч	174
Настольные весы Аксион ВКЕ-21	шт	800 гр	570	570
Белая бумага формата А4	Упаковка, шт	–	500	500
ИТОГО:				7244

Таблица 5.6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	T _{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев			март			апрель			май			июнь	
				2	3		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Научный сотрудник	3	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	6		▨												
3	Выбор направления исследований	Исполнитель	6		▨												
4	Календарное планирование работ по теме	Научный сотрудник	3			■											
5	Проведение предварительных расчетов и обоснований	Исполнитель	8				▨										
6	Очистка и сушка биомассы	Исполнитель	6					▨									
7	Определение энергетических характеристик смесового топлива	Исполнитель	3					▨									

Продолжение таблицы 5.6

8	Определение количества газов, выбрасываемых в атмосферу при использовании топлива	Исполнитель	3															
9	Выбор форсунки для распыления топлива	Исполнитель	3															
10	Оценка и обсуждение результатов	Научный сотрудник	6															
13	Оценка эффективности полученных результатов	Научный сотрудник	6															
14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Исполнитель	6															

5.3.1 Стоимость экспериментальной установки

Задачи проекта решаются на базе оборудования, находящегося в лаборатории газификации твердых топлив НИ ТПУ. Главным объектом развития и оптимизации технологии является экспериментальная установка, состоящая из нескольких основных элементов:

- 1) Высокотемпературная печь ПМ-1400;
- 2) Тепловой нагреватель LEISTER LHS 61L PREMIUM;
- 3) Дополнительные детали;
- 4) Координатное устройство;
- 5) Газоанализатор БОНЭР ТЕСТ-1;
- 6) Вытяжная вентиляция;
- 7) Компьютер.

В таблице 5.8 представлены специальное оборудование для экспериментальных исследований

Таблица 5.8 – Специальное оборудование для экспериментальных исследований

№ п/п	Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
1	Дополнительные детали	10000	–
2	Координатное устройство	19000	1
3	Вытяжная вентиляция	36000	1
4	Компьютер	25000	1
Итого		90000	

На такое оборудование, как муфельная печь, тепловой нагреватель и газоанализатор необходимо провести расчет амортизации, так как оборудование приобреталось не только для данного проекта и стоимость оборудования выше 100 тыс. руб.

Газоанализатор и высокотемпературная печь, тепловой нагреватель всегда работали одновременно, следовательно, амортизация рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{руб. год,}$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования высокотемпературной печи;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена оборудования;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы установки.

Амортизационные отчисления для высокотемпературной печи:

$$K_{\text{ам}} = \frac{41}{365} \cdot 350000 \cdot \frac{1}{5} = 7863,014 \text{ руб. год}$$

Амортизационные отчисления для газоанализатора:

$$K_{\text{ам}} = \frac{41}{365} \cdot 150000 \cdot \frac{1}{5} = 3369,863 \text{ руб. год}$$

Амортизационные отчисления для теплового нагревателя:

$$K_{\text{ам}} = \frac{41}{365} \cdot 300000 \cdot \frac{1}{5} = 6739,726 \text{ руб. год}$$

В таблице 5.9 представлены амортизационные отчисления каждого использованного оборудования.

Таблица 5.9 – Амортизационные отчисления

№ п/п	Наименование	Стоимость, руб	Количество
1	Высокотемпературная печь ПМ-1400	7863,014	1
2	Тепловой нагреватель LEISTER LHS 61L PREMIUM	3369,863	1
3	Газоанализатор БОНЭР ТЕСТ-1	6739,726	1
Итого		17972,603	

5.3.2 Затраты на заработную плату исполнителей темы

В данной НИР включается основная заработная плата научного руководителя и студента магистранта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей

системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется «Положением об оплате труда»). Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ - основная заработная плата;

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

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

Где Z_m – оклад работника за месяц;

M – количество рабочих месяцев без отпуска в течение года:

При отпуске в 24 рабочих дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

При отпуске в 48 рабочих дней – $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

В таблице 5.10 представлены показатели рабочего времени.

Таблица 5.10 – Показатели рабочего времени

Показатель	Дни
Календарное число дней	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезням)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	243

Определим основную заработную плату:

$$Z_{зп}(\text{исп}) = 16300 \cdot 1,3 = 21190 \text{ руб};$$

где 1,3 - районный коэффициент.

Определим зарплату за 1 день:

$$Z_{день}(\text{исп}) = 21190 \cdot \frac{11,2}{243} = 976,658 \text{ руб};$$

Определим основную заработную плату за отработанное количество дней:

$$Z_{осн}(\text{исп}) = 976,658 \cdot 41 = 40042,978 \text{ руб};$$

Определим основную заработную плату руководителя проекта:

$$Z_{\text{осн}}(\text{нс}) = 39300 \cdot 1,3 = 51090 \text{ руб},$$

где 1,3 - районный коэффициент.

Определим зарплату за 1 день:

$$Z_{\text{день}}(\text{нс}) = 51090 \cdot \frac{11,2}{243} = 2354,765 \text{ руб};$$

Определим основную заработную плату за отработанное количество дней:

$$Z_{\text{осн}}(\text{нс}) = 2354,765 \cdot 18 = 42385,77 \text{ руб};$$

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}$$

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

$$Z_{\text{доп}}(\text{исп}) = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}(\text{исп}) = 0,15 \cdot 40042,978 = 6006,447 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{доп}}(\text{нс}) = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}(\text{нс}) = 0,15 \cdot 42385,77 = 6357,865 \text{ руб}.$$

Определим полную заработную плату за весь период научного исследования:

$$\begin{aligned} Z_{\text{зп}}(\text{исп}) &= Z_{\text{осн}}(\text{исп}) + \text{доп}(\text{исп}) = 40042,978 + 6006,447 \\ &= 46\,049,425 \text{ руб} \end{aligned}$$

$$Z_{\text{зп}}(\text{нс}) = Z_{\text{осн}}(\text{нс}) + Z_{\text{доп}}(\text{нс}) = 42385,77 + 6357,865 = 48743,635 \text{ руб}$$

Их сумма равна $46049,425 + 48743,635 = 94\,793,06$ руб.

5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2023 г. отчисления во внебюджетные фонды 30,2 %.

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{зп}}(\text{исп}) + Z_{\text{зп}}(\text{нс})) = 0,302 \cdot 94793,06 = 28627,5 \text{ руб.}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие расходы: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы принимаются в размере 20% от затрат на заработную плату.

$$Z_{\text{накл}} = 94793,06 \cdot 1,2 = 113751,672 \text{ руб.}$$

5.3.5 Формирование бюджета затрат на проектирование

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на проектирование приведено в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	руб.	в %
Материальные затраты НТИ	1244	0,359
Затраты на заработную плату исполнителей темы	94 793,06	27,366
Отчисления во внебюджетные фонды	28 627,5	8,264
Накладные расходы	113 751,672	32,839
Оборудование	90 000	25,982
Амортизация	17 972,603	5,188
Итого	346 388,84	100

5.4 Оценка рисков

5.4.1. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные

неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты [43]. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу 5.12.

5.4.2 Определение экономической эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения [43].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

Где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. налоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля). Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a ; I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p ,$$

Таблица 5.12 – Реестр риска проекта

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Экономический кризис	Отсутствие бюджетного финансирования	2	2	Низкий	Прогнозирование экономической ситуации	Непредвиденная экономическая обстановка
2	Невостребованность исследований	Невостребованность исследований	2	5	Средний	Популяризация данного исследования	Незаинтересованность потребителей

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы 5.13.

Таблица 5.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	4	3
Влияние на окружающую среду	0,25	4	2
Энергосбережение	0,3	5	3
Надежность	0,25	4	4
Итого	1	26	19

$$I_{\Phi}^p = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,25 = 4,3;$$

$$I_{\Phi}^a = 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,25 = 3.$$

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{80000}{423989} = 0,19.$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_{ai}}{\Phi_{max}} = \frac{40000}{423989} = 0,095.$$

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности

и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\text{ф}}^p} = \frac{4,3}{0,19} = 22,6;$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_T^a}{I_{\text{ф}}^a} = \frac{3}{0,095} = 31,58.$$

$$\text{Э}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{22,6}{31,58} = 0,72.$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в таблицы 5.14.

Таблица 5.14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,095	0,19
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	31,58	22,6
4	Сравнительная эффективность исполнения	0,73	

5.5 Вывод по разделу 5

В данном разделе был проведен расчет проекта по анализу эффективности использования смесового топлива на основе торфа и отходов лесопиления. Для этого были решены следующие задачи:

- 1) составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения;
- 2) составлена смета затрат на проект;
- 3) рассчитан бюджет научного исследования и реализации проекта;
- 4) Определена экономическая эффективность проекта.

Несмотря на достаточно высокие затраты для реализации данного проекта, такие как разработка проекта, материальные затраты, затраты на заработную плату сотрудникам, срок окупаемости достаточно мал.

Такой вид топлива может быть экологически более благоприятным, чем использование традиционных видов топлива, таких как уголь или нефть. Это связано с тем, что использование отходов лесопиления, которые в противном случае могли бы быть выброшены на свалку или сожжены, позволяет уменьшить количество отходов и снизить воздействие на окружающую среду.

Эффективность использования смесового топлива на основе торфа и отходов лесопиления может зависеть от технических характеристик используемого оборудования. Например, смесь может иметь отличия в качестве сгорания, что может потребовать модификации топливной системы для достижения максимальной эффективности.

Расходы на производство смесового топлива на основе торфа и отходов лесопиления могут быть выше, чем на производство традиционных видов топлива, что может отрицательно сказаться на его экономической эффективности.

Однако, с учетом растущей потребности в экологически чистых источниках энергии, смесовое топливо на основе торфа и отходов лесопиления может представлять собой перспективное направление для дальнейшего исследования и развития.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5BM11		Берикболову Алишеру Кайратулы	
Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н.Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.03 Энергетическое машиностроение

Тема ВКР:

Получение энергетически полезных продуктов из низкосортного торфа в смеси с отходами лесопиления методом термической конверсии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> — Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. — Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> смесевое топливо на основе торфа и древесной биомассы <i>Область применения:</i> Энергетика <i>Рабочая зона:</i> научно-исследовательская лаборатория <i>Размеры помещения:</i> 10 x 10 м <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> высокотемпературная печь, тепловой нагреватель <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Термическая конверсия смесевого топлива</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность:</p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов; 1.2. Анализ выявленных опасных факторов;</p> <ul style="list-style-type: none"> — Термические источники опасности; — Электроопасность; — Пожароопасность; 	<p>1. Вредные факторы:</p> <p>1.1. Недостаточная освещенность; 1.2. Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; 1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 1.4. Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 1.5. Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; 2. Опасные факторы: 2.1. Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Приведен расчет освещения рабочего места; 2.2. Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Выбросы в окружающую среду — Решения по обеспечению экологической безопасности 	<p>Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>1. Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 2. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>ГОСТы, СанПиНы, СНИПы</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

30.04.2023 г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		30.04.2023 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM11	Берикболов Алишер Кайратулы		30.04.2023 г.

6 Социальная ответственность

В выпускной квалификационной работе представлены исследования по термическому разложению смесевых топлив на основе торфа и отходов лесопромышленного комплекса.

Областью применения данной разработки является любая электрическая станция или районная котельная, имеющая в оборудовании котлы, работающие на пылевидном топливе.

Охрана труда – совокупность нормативных, технических и правовых актов, мероприятий и правил, целью которых является сохранение здоровья и жизни работника в процессе трудовой деятельности. Данные мероприятия могут быть организационно-технического, санитарно-гигиенического, социально-экономического, лечебно-профилактического, реабилитационного характера. Условия труда оказывают прямое воздействие на здоровье человека и его состояние в процессе работы, что обуславливает их отвечать всем требованиям безопасности и санитарно-гигиеническим требованиям. Все факторы, воздействующие на работника в процессе осуществления трудовой деятельности, принято разделять на два типа: вредные и опасные производственные факторы.

Рабочим местом является лаборатория газификации твердых топлив НИ ТПУ. Размер лаборатории 10×10 м. Оборудование, на котором совершаются основные рабочие процессы – высокотемпературная печь ПМ-1400 с температурой при работе 600 °С, тепловой нагреватель Leister LHS 61L Premium, с температурой при работе 540–560 °С.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Недостаточная освещенность

Для обеспечения требуемой освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, создаваемое сочетанием естественного и искусственного освещения. При данном этапе развития осветительной техники целесообразно использовать люминесцентные лампы, которые по

сравнению с лампами накаливания имеют большую светоотдачу на ватт потребляемой мощности и более естественный спектр.

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

В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы:

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

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

Таблица 6.1. Параметры помещения

Параметр	Обозначение	Значение, м
Длина	A	10
Ширина	B	10
Высота помещения	H	3,5
Свес	h_c	0,4
Высота Р.П.	h_p	0,8
Высота от светильника до Р.П.	h	$H - h_p - h_c$
Коэффициент отражения стен	$\rho_{ст}$	70 %
Коэффициент отражения потолка	ρ_n	70
Коэффициент запаса	K_3	1,3
Коэффициент неравномерности	Z	1,1

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

Световой поток лампы определяется по формуле [44]:

$$\Phi_{\text{рас}} = E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z / N \cdot h$$

где E_H – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95 [45], лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли (табл. 6.1.) [44];

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$.
Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

N – число ламп в помещении;

h – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен τ_c и потолка τ_n .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h} (A + B)$$

Проведем расчет индекса помещения:

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 10 \cdot 10 = 100 \text{ м}^2.$$

Индекс:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{100}{2,35 \cdot (10 + 10)} = 2,127.$$

Согласно этим данным коэффициент использования светового потока будет равен 51 % или в долях = 0,51.

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно [44].

Согласно указанной методике выбираем тип источника света.

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

Из уравнения светового потока ламп находим количество ламп для помещения:

$$N = E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot \frac{Z}{\Phi} \cdot h = \\ = 200 \cdot 100 \cdot 1,3 \cdot 1,1 / 2800 \cdot 0,51 = 20,028.$$

Принимаем $N = 24$ лампы или 12 светильников.

Размещаем светильники в 3 ряда по 4 светильника в ряду с соблюдением условий:

L – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются L_A и L_B);

L – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются L_A и L_B);

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

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

Сначала определим световой поток расчетный.

$$\Phi = E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot \frac{Z}{\Phi} \cdot h = 200 \cdot 100 \cdot 1,3 \cdot \frac{1,1}{24} \cdot 0,51 = 2336,601 \text{ лм};$$

Проведем проверку выполнения условия соответствия:

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

Подставляя численные значения получаем:

$$10\% \leq (2800 - 2336,601) / 2336,601 \cdot 100\% \leq + 20\%;$$

$$10\% \leq +19,832\% \leq + 20\%.$$

Результат расчета укладывается в допустимые пределы.

Определим мощность осветительной установки:

$$P = N \cdot Pi = 24 \cdot 40 \text{ Вт} = 960 \text{ Вт.}$$

Теперь определим расстояния между светильниками по длине и ширине помещения.

$$10000 = 3 \cdot L_A + 4 \cdot 1230 + \frac{2}{3} \cdot L_A;$$

$$L_A = (10000 - 4920) \cdot \frac{3}{11} = 1385,455 \text{ мм};$$

$$\frac{L_A}{3} = 461,818 \text{ мм};$$

$$10000 = 2 \cdot L_B + 3 \cdot 266 + \frac{2}{3} \cdot L_B;$$

$$L_B = (10000 - 798) \cdot \frac{3}{8} = 3450 \text{ мм};$$

$$\frac{L_B}{3} = 1150 \text{ мм.}$$

Рисуем схему размещения светильников на потолке для обеспечения общего равномерного освещения (рисунок 6.1).

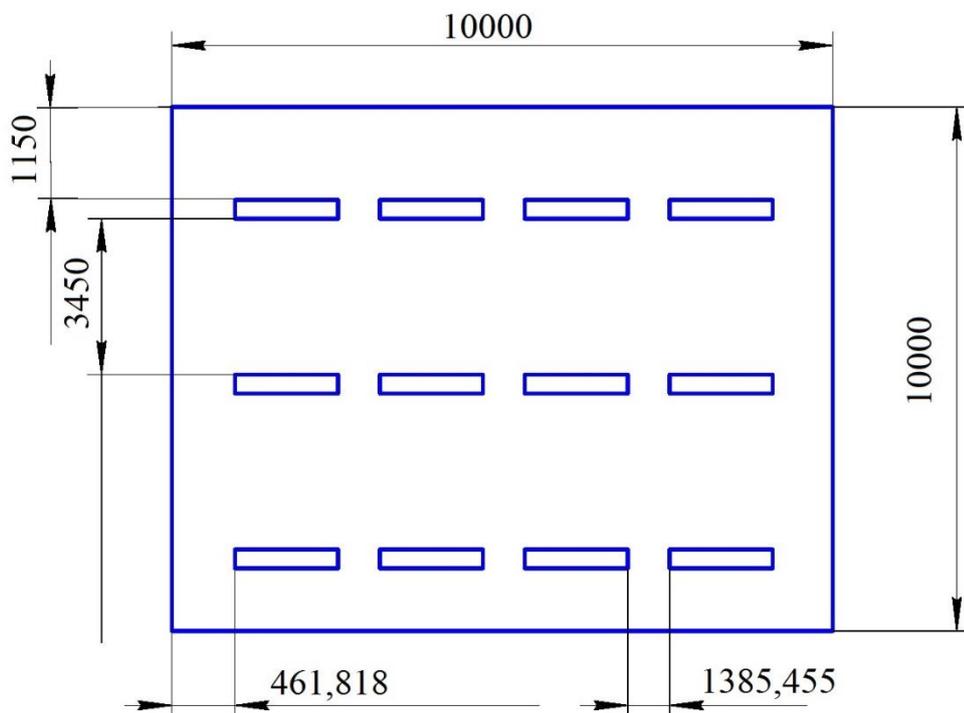


Рисунок 6.1 – План размещения светильников на потолке

6.1.2 Отклонение показателей микроклимата в помещении

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

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2 – Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0,1
Теплый	23-25		0,2

Таблица 6.3 – Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0,5
Теплый	22	28	20-80	<0,5

Общая площадь рабочего помещения составляет 42 м², объем составляет 147 м³. По СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам [46].

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

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостатком – приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40 м³ [47]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м³, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [48]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [49].

6.1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ

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

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80 дБА [50].

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

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

- изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов, например, любой пористый материал – шамотный кирпич, микропористая резина, поролон и др.);

- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

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

6.1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 [46] напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц [47]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В [47]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м;

поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76) [51].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) облучения [47]:

- до 10 мкВт/см², время работы (8 часов);
- от 10 до 100 мкВт/см², время работы не более 2 часов;
- от 100 до 1000 мкВт/см², время работы не более 20 минут при условии пользования защитными очками;
- для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Средствам коллективной защиты человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- заземление экрана вокруг источника;
- защита рабочего места от излучения;

Средствам индивидуальной защиты человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного

характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

– Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

6.1.5 Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ

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

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

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

В данном проекте используют следующие токсиканты, представленные в табл. 1, их класс опасности, ПДК:

- аэрозоли (взвеси);
- химические реагенты.

В процессе проведения работ одним из основных вредных факторов является испарение летучих продуктов при выполнении монтажно – сборочных работ (пайка, наладка и т.д.). Испаренные летучие продукты применяемых при пайке припоев и флюсов могут нанести вред здоровью человека. Согласно [52] по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;

– 4-й - вещества малоопасные.

Свинцово – оловянные припои имеют максимальный первый класс опасности, и имеют ПДК (по свинцу) $0,05 \text{ мг/м}^3$, присутствуют в основном в виде аэрозолей.

Канифоль имеет 3 класс опасности и ПДК 4 мг/м , способна вызвать аллергические реакции и присутствует в виде аэрозоля. Спирт этиловый имеет 4 класс опасности, ПДК 100 мг/м^3 и присутствует в виде паров.

Воздействие свинца вызывает анемию, гипертензию, почечную недостаточность, иммунный токсикоз и токсичность для репродуктивных органов. Неврологические и поведенческие последствия воздействия свинца считаются необратимыми. Спирт и канифоль способны вызвать аллергические реакции и обладают местно-раздражающим действием, однако менее вредны по сравнению с воздействием свинца.

Средствам коллективной защиты человека от опасного воздействия токсикантов осуществляется следующими способами:

В основном все мероприятия направлены на удаление паров свинца и прочих продуктов пайки путем применения местной и общей принудительной вентиляции с последующей фильтрацией или абсорбцией, рециркуляция не допускается.

Также применяется периодическая очистка поверхностей от осаждающихся на них продуктов пайки.

Средствам индивидуальной защиты человека от опасного воздействия токсикантов осуществляется следующими способами:

– Необходимо применять респираторы с абсорбционной приставкой.

6.2 Опасные факторы

6.2.1. Электроопасность. Класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R заземления, СКЗ, СИЗ

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц . По опасности электропоражения комната

относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [46].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются:

$$I < 0,1 \text{ А}; U < (2 - 36) \text{ В}; R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}.$$

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

- защитное заземление, зануление;
- малое напряжение;
- электрическое разделение сетей;
- защитное отключение;
- изоляция токоведущих частей;
- оградительные устройства.

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

Средства индивидуальной защиты:

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

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

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

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой,

кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б [53].

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам) [54].

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

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

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

Причины возникновения пожара электрического характера:

- короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

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

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

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

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

- специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 [55] и СНиП 2.04.05-86 [56];

- специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

- первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77 [57], пенные огнетушители ТУ 22-4720-80 [58], ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

- автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений предвзрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 6.2, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

6.3 Экологическая безопасность

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

К таким веществам относятся:

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

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

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

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

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

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

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

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть:

- газобаллонные калориферы (запасные обогреватели);
- дизель или бензоэлектрогенераторы;
- запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека);
- теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта.

Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лаборатории газификации твердых топлив НИ ТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

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

6.5 Вывод по разделу 6

В заключение всего вышеперечисленного хочется отметить основную задачу, поставленную данным разделом, формирование у индивида

социальной ответственности перед другими людьми и окружающей его средой обитания, а также необходимости выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий окружающего мира.

Результатом проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;

- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве;

- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;

- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС.

- получены практические знания по поиску и применению региональных стандартов ГОСТов в разных областях безопасности.

Заключение

В результате проведения исследований при выполнении выпускной квалификационной работы выполнены описания объектов исследования, разработано две экспериментальные установки, разработаны две методики проведения исследований, выполнено более 120 натурных экспериментов, выполнен технический анализ получаемых полезных продуктов, а именно синтез-газа, углерода и жидких углеводородов. В результате проведения исследований, было установлено, что первоначальная установка показала менее эффективные результаты по получению трех полезных продуктов, из-за присутствия присосов в тигель от нагнетаемого горячего воздуха. Результаты анализа полученных продуктов после проведения исследований при применении второй установки показали ее более эффективную работоспособность по сравнению с первой установкой. Было установлено существенное увеличение формирования горючих газовых компонент с высоким содержанием водорода, метана и оксида углерода, был увеличен объем углерода в результате термической конверсии топлив, а также был увеличен выход объема жидких углеводородов, что является существенным положительным результатом проделанной работы над исследованиями.

В ходе проведения исследований установлено, что увеличение доли древесной биомассы до 50 % составе смесового топлива на основе торфа и отходов лесопиления приводит к синергетическому эффекту по существенному увеличению формирования жидких углеводородов более чем в 4 раза по сравнению с однородным торфом, и горючих газов, в частности водорода, метана в 17,5 раза, оксида углерода в 4 раза и метана 4,2 раза по сравнению с составом синтез-газа получаемого при пиролизе однородного торфа и при таких условиях повысилось качество получаемого углерода.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что дальнейшее увеличение доли древесины в смеси не приводит к такому синергетическому эффекту, что позволило установить наиболее эффективный состав смеси торфа и биомассы в соотношении по массе 50:50 %.

В рамках диссертационной работы были выполнены сравнения технических характеристик углеродного остатка из торфо-древесных топлив с характеристиками традиционных энергетических каменных углей марок Т (Тощий) и Д (Длиннопламенный). Использование полукокса, полученного из торфо-древесного топлива путем пиролиза, является более экологически чистым вариантом, чем использование угля. Глубокая переработка низкосортных топлив, позволяет наиболее эффективно получать полезные энергетические продукты, такие как полукокс, который практически не содержит серы и других вредных веществ, чем уголь, что позволяет снизить выбросы в атмосферу и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

В результате выполненных исследований в рамках диссертационной работы можно сделать вывод, что метод термической конверсии низкосортных топливных смесей, сформированных на основе торфа и отходов лесопиления, представляет собой эффективный и перспективный подход к получению трех высокомаржинальных полезных продуктов синтез-газ, углерод и жидкие-углеводороды, которые будут более востребованы на энергетическом рынке как на территории Российской Федерации, так и в других соседних государствах.

Conclusion

As a result of the research during the final qualification work, descriptions of research objects were made, two experimental installations were developed, two research methods were developed, more than 120 field experiments were performed, technical analysis of the obtained useful products, namely synthesis gas, carbon and liquid hydrocarbons, was performed. The research has revealed that the initial setup showed less efficient results in obtaining the three valuable products due to the presence of suction cups in the crucible of the supplied hot air. The results of the analysis of the obtained products using the second setup demonstrated its higher efficiency compared to the first setup. There was a significant increase in the formation of combustible gas components with high hydrogen, methane, and carbon monoxide content. The carbon volume resulting from thermal conversion of fuels was increased, as well as the yield of liquid hydrocarbons, which is a significant positive outcome of the research.

During the research, it was determined that increasing the proportion of woody biomass to 50% in the mixed fuel based on peat and logging waste leads to a synergistic effect of significantly increasing the formation of liquid hydrocarbons by more than 4 times compared to homogeneous peat, and combustible gases, particularly hydrogen and methane, by 17.5 times and carbon monoxide by 4 times, and methane by 4.2 times compared to the composition of syngas obtained by pyrolysis of homogeneous peat. Under these conditions, the quality of the produced carbon was also improved.

The analysis of the results of the experimental research showed that further increasing the proportion of wood in the mixture does not lead to such a synergistic effect, which allowed determining the most effective composition of the peat and biomass mixture at a mass ratio of 50:50 %.

Within the framework of the dissertation work, comparisons of the technical characteristics of the carbon residue from peat-wood fuels with the characteristics of traditional energy-grade coals of grades T (Lean) and D (Long-flaming) were performed. The use of semicoke obtained from peat-wood fuel by pyrolysis is a more

environmentally friendly option compared to coal usage. Deep processing of low-grade fuels allows for the most efficient production of valuable energy products, such as semicoke, which practically does not contain sulfur and other harmful substances found in coal, thereby reducing emissions into the atmosphere and minimizing the negative impact on the environment.

As a result of the conducted research within the dissertation work, it can be concluded that the method of thermal conversion of low-grade fuel mixtures based on peat and logging waste represents an effective and promising approach to obtaining three high-margin valuable products: syngas, carbon, and liquid hydrocarbons, which will be in high demand in the energy market both in the Russian Federation and in other neighboring countries.

Список публикаций обучающегося

1. Берикболов А.К. Исследование процессов термической конверсии смесевых твердых топлив с получением полезных продуктов: материалы II Всероссийской с международным участием молодежной конференции / А.К. Берикболов, А.Д. Мисюкова, С.А. Янковский. – Томск: ТПУ, 2022. – С. 336–638.
2. Берикболов А.К. Влияние доли древесных отходов на процессы воспламенения смесевых топлив сформированных на основе бурых углей различных месторождений: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Студент–наука» / А.К. Берикболов, А.Д. Мисюкова, С.А. Янковский. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», – 2022. – С. 53–338.
3. Berikbolov, A.K. Influence of Grinding Methodology and Particle Size on Coal and Wood Co-Combustion via Injection Flame Opening Angle / A.K. Berikbolov, Misyukova A.D., Yankovskaya N.S., Yankovsky S.A., Vagner M.A. - Text : electronic // Energies. – 2023. – Vol. 16 (11), – P. 15. – <https://doi.org/10.3390/en16114469>.

Список использованных источников

1. Международное энергетическое агентство: официальный сайт. – Париж. – Обновляется в течение суток. – URL: [http:// https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity](http://https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity) (дата обращения: 19.02.2023). – Текст: электронный.
2. Prins, M.J. Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction. Doctor Thesis. – Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2005. – 165p.
3. Van Loo S. The handbook of biomass combustion and co-firing / Sjaak van Loo and Jaap Koppejan. – London: Sterling VA, 2008. – 231 p.
4. Renewables make the difference. European Commission. – Luxembourg: – Publications Office of the EU. – 2010. – 23 p.
5. Рахманкулов, Д.Л. Мировые запасы угля и перспективы его использования / Д.Л. Рахманкулов, С.В. Николаева, Ф.Н. Латыпова Ф.Ш. Вильданов., С.Ю Шавшукова // Башкирский химический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 21–28.
6. Яровая, С.А. ЛесПромИнформ / С.А. Яровая // Специализированный информационно-аналитический журнал. – 2023. – № 1. (171). – С. 60.
7. Кузнецов, Б.Н. Актуальные направления химической переработки возобновляемой растительной биомассы // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – № 19. – С. 77–85.
8. Арбузова, Е.В. Технологические аспекты повышения эффективности использования энергетического потенциала биомасс России / Е.В. Арбузова, С.Е. Щеклеин, А.А. Холмаков, И.А. Гладилов, А.Г. Шастин // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – №.3 (107). – С. 82–88.
9. Рахманкулов, Д.Л. Успехи и проблемы производства альтернативных источников топлива и химического сырья. Пиролиз биомассы / Д.Л. Рахманкулов, Ф.Ш. Вильданов, С.В. Николаева, С.В. Денисов // Башкирский химический журнал. – 2008. – Т. 15. – №. 2. – С. 36–52.

10. Яровая, С.А. ЛесПромИнформ / С.А. Яровая // Специализированный информационно-аналитический журнал. – 2023. – № 5 (167). – С. 66.

11. Узаков, Г. Н. Эффективность применения пиролизной технологии для получения альтернативного топлива из местных органических отходов / Узаков Г. Н., Раббимов Р. Т., Алиярова Л. А., Рахимов С. А. // Молодой ученый. – 2014. — № 4 (63). – С. 280–283.

12. Li Y. Studies on individual pyrolysis and co-pyrolysis of peat–biomass blends / Yuhuan L. Hongyu Z. Xin S. Xuemei W. Hongbing J. // Thermal decomposition behavior, possible synergism, product characteristic evaluations and kinetics. – 2022. – Vol. 310. – pp. 14.

13. Хутская, Н.Г. Энергосберегающие технологии термохимической конверсии биомассы и лигнокарбонатных отходов. Учебно-методическое пособие. Топливо и его использование / Н.Г. Хутская, Г.И. Пальченок. // Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент. – Минск: БНТУ, 2014. – 53 с.

14. Roy P., Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A review / P. Roy, G. Dias // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 77. pp. 59–69.

15. Сердюкова Е. Ю. Биомасса - источник сырья для производства альтернативных моторных топлив / Е. Ю. Сердюкова, Ю. В. Кожевникова, Е. А. Чернышева, А. В. Гершун // Возобновляемые источники энергии. – Москва: ООО "МАКС Пресс", 2018. – 369–375 с.

16. Bridgwater A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading / A. V. Bridgwater // Biomass and bioenergy. – 2012. – Vol. 38. – pp. 68–94.

17. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory / P. Basu. – USA: Elsevier, 2018. – 551 p.

18. Инишева, Л.И. Торфяные ресурсы Томской области и их использование / Л.И. Инишева, В.С. Архипов, С.Г. Маслов, Л.С. Михантьева;

Сиб. НИИ торфа СО РАСХН, Том. политехн. ун-т. – Новосибирск : СО РАСХН, 1995. – 83 с.

19. Сидоров, Д. И. Производство биогаза методом быстрого пиролиза как альтернатива ископаемых источников энергии / Д. И. Сидоров // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2017. № 2. – С. 254–255.

20. Тунцев, Д.В. Исследование процессов термокондуктивного разложения отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, А.Р. Садртдинов, Э.К. Хайруллина, И.С. Романчева // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 20. – С. 185–187.

21. Мишустин, О. А. Обзор развития и применения технологии пиролиза для переработки отходов / Мишустин О.А., Желтобрюхов В. Ф., Грачева Н.В., Хантимирова С. Б. // Молодой ученый. – 2018. – № 45. – С. 42–45.

22. De Wild P. Biomass pyrolysis for chemicals / P. De Wild, H. Reith, E. Heeres // Biofuels. – 2011. – Vol. 2. – P. 185–208.

23. Goyal, H.V. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review / H.V. Goyal, D. Seal, R.C Saxena // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2008. – Vol. 12. – P. 504–517.

24. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory / P. Basu. – Text: electronic // Published by Elsevier Inc. – 2010. – Vol. 21. – P.189–221.

25. Штин С. М. Применение торфа как топлива для малой энергетики / С. М. Штин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – №. 7. – С. 82–96.

26. Никулин А.Н. Оценка объемов образования различных видов органических топливных ресурсов и анализ перспектив их использования в народном хозяйстве // Актуальные проблемы географии и геоэкологии. – 2012. – Т. 6. – №2. – С. 56.

27. Торфяные месторождения Томской области. Справочник по состоянию изученности на 01.01.1996 г. Новосибирск: – СНИИГГиМС, 1997. – С. 405.

28. ГОСТ 147-2013. Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания. Термины и определения: дата введения 2015-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107606> (дата обращения: 21.02.2023). Текст: электронный.

29. ГОСТ 11022-95. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. Термины и определения: дата введения 1997-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024148> (дата обращения: 21.02.2023). Текст: электронный.

30. ГОСТ 27314-91. Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги. Термины и определения: дата введения 1993-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024258> (дата обращения: 21.02.2023). Текст: электронный.

31. ГОСТ 6382-2001. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. Термины и определения: дата введения 2003-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029223> (дата обращения: 21.02.2023). Текст: электронный.

32. ГОСТ Р 51568-99. Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Термины и определения: дата введения 2000-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026135> (дата обращения: 10.02.2023). Текст: электронный.

33. Mishra R. K. Pyrolysis kinetics and thermal behavior of waste sawdust biomass using thermogravimetric analysis / R. K. Mishra, K. Mohanty // Bioresource technology. – 2018. – Vol. 251. – P. 63–74.

34. Shen Y. Catalytic pyrolysis of biomass with potassium compounds for Co-production of high-quality biofuels and porous carbons / Y. Shen, N. Zhang, S. Zhang // Energy. – 2020. – Vol. 190. – P. 116–431.

35. Demirbas A. An overview of biomass pyrolysis / A. Demirbas, G. Arin // Energy sources. – 2002. – Vol. 24. No5. – P. 471–482.
36. Shaddix C. R., Hardesty D. R. Combustion properties of biomass flash pyrolysis oils: final project report. – Albuquerque: Sandia National Lab, 1999. – 71p.
37. Shihadeh A. Impact of biomass pyrolysis oil process conditions on ignition delay in compression ignition engines / A. Shihadeh, S. Hochgreb // Energy & fuels. – 2002. – Vol. 16, No3. – P. 552–561.
38. Moloodi S. Experimental investigation of the effects of fuel properties on combustion performance and emissions of biomass fast pyrolysis liquid-ethanol blends in a swirl burner / S. Moloodi. – Toronto: University of Toronto, 2011. – 120 p.
39. Shaddix C. R. Effects of char content and simple additives on biomass pyrolysis oil droplet combustion / C. R. Shaddix, P. J. Tennison // Symposium (International) on Combustion. – 1998. – Vol. 27, No2. – P. 1907–1914.
40. ГОСТ Р 52911-2013. Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги Термины и определения: дата введения 2015-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107159> (дата обращения: 09.03.2023). Текст: электронный.
41. ГОСТ Р 55660-2013. Топливо твердое минеральное Определение выхода летучих веществ. Термины и определения: дата введения 2015-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200106276> (дата обращения: 09.03.2023). Текст: электронный.
42. Лебедев, В. М. Котельные установки и парогенераторы: энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника, тепло- и электрообеспечение специальных технических систем и объектов: учебник для студентов вузов железнодорожного транспорта / В. М. Лебедев; под ред. В. М. Лебедева. – Москва: Учеб.-методический центр по образованию на ж.-д. трансп., 2013. – 374 с.
43. Гаврикова, Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р.

Тухва-тулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 58 с.

44. Бородин, Ю.В. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 101 с.

45. Свод правил естественное и искусственное освещение строительные нормы и правила: (СНиП 23-05-95): официальное издание: утверждено Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 05.08.2017: введены в действие 20.11.2019. – Москва: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2017. – 100 с.

46. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) официальное издание: утверждено Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 03.06.2003 введены в действие 20.11.2019. – Москва: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 41 с.

47. ГОСТ 54 30013-83. Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Термины и определения: дата введения 1984-01-01. – URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=47453 (дата обращения: 24.04.2023). Текст: электронный.

48. ГОСТ 12.4.154-85. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Термины и определения: дата введения 1986-07-01. – URL: [http:// https://docs.cntd.ru/document/1200005824](http://https://docs.cntd.ru/document/1200005824) (дата обращения: 25.04.2023). Текст: электронный.

49. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: (ГН 2.2.5.1313-03) официальное издание: утверждено

Постановлением Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации от 27.04.2003 введены в действие с 15.06.2003. – Москва: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 270 с.

50. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ): (СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96) официальное издание: утверждено Постановлением Государственного комитета санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации от 08.04.1996. введены в действие 08.04.1996. – Москва: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2002. – 28 с.

51. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: (СанПиН 2.2.4.548-96) официальное издание: утверждено Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 01.10.1996. введены в действие 01.10.1996. – Москва: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. – 12 с.

52. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: (СН 2.2.4/2.1.8.562-96): официальное издание: утверждено Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31.10.1996 г: введены в действие 31.10.1996 – Москва: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. – 19 с.

53. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: (НПБ 105-03): официальное издание: утверждено приказом МЧС России от 18.06.2003 г: введены в действие 08.01.2003 – Москва: ФГУП ЦПП, 2003. – 47 с.

54. Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы: (СНиП 2.01.02-85) официальное издание: утверждено постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 17.12.1985. введены в действие 01.01.1987 – Москва: ФГУП ЦПП, 2003. – 32 с.

55. ГОСТ 12.4.021-75. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования" Термины и определения: дата введения 1975-11-13. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005274> (дата обращения: 29.04.2023). Текст: электронный.

56. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование: (СНиП 2.04.05-86): официальное издание: утверждено Управлением стандартизации и технических норм в строительстве Госстроя СССР от 15.12.1986: введены в действие 01.01.1988. – Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 64 с.

57. ГОСТ 9230-77. Огнетушители CO₂ (углекислотные) передвижные. Технические условия. Термины и определения: дата введения 1987-10-28. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/0/4294808/4294808406.pdf> (дата обращения: 30.04.2023). Текст: электронный.

58. ТУ 22-4720-80. Огнетушитель химический воздушно-пенный ОХВП-10. Термины и определения: дата введения 1981-01-01. – URL: <http://https://nd.gostinfo.ru/print.aspx?control=27&id=5645068&print=yes> (дата обращения: 30.04.2023). Текст: электронный.

Приложение А

(обязательное)

Prospects for increasing the energy attractiveness of peat and sawmill waste

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM11	Берикболов Алишер Кайратулы		

Консультант школы отделения (НОЦ) И.Н.Бутакова ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Янковский С. А.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Тайдонова С.С.	к.ф.н.		
Доцент	Полякова Н.В.	к.ф.н., доцент		

Prospects for increasing the energy attractiveness of peat and sawmill waste

The energy technological processing of solid fuel refers to its chemical and thermochemical treatment aimed at obtaining high-quality fuels: solid, liquid, and gaseous. The methods of such processing are classified according to the nature of the medium in which the fuel undergoes decomposition: neutral or reducing environment (fuel pyrolysis), oxidizing environment (fuel gasification), and hydrogen environment (hydrogenation). Based on the thermal conditions at which the decomposition process takes place, it can be classified as a low-temperature process (temperatures up to 400 °C), medium-temperature process (400–700 °C), and high-temperature process (900 °C and above) [13].

Thermal methods are the most commonly used industrial methods for the utilization of solid organic waste, among which pyrolysis is the most attractive. With proper organization of the technical process of this processing method, it is possible to cover the energy required for the process, and moreover, excess heat generated can be used for technical or domestic purposes. The treatment of both liquid and solid products can be made economically efficient [14].

1.1 Pyrolysis. Pyrolysis methods

Pyrolysis is the process of thermochemical decomposition of organic matter at high temperatures in the absence of oxygen. During pyrolysis, large hydrocarbon molecules of biomass break down into smaller hydrocarbon molecules. Pyrolysis typically occurs in the absence of oxygen at atmospheric or moderate pressure (0.1-0.5 MPa) and operating temperatures of 350-700 °C. The material is not burned, but the chemical compounds it contains (such as cellulose, hemicellulose, and lignin) undergo pyrolysis to produce combustible gas and biochar [15].

As a result of the pyrolysis of organic biomass, several gaseous products can be obtained, such as CO₂, CO, H₂, CH₄, as well as tar gases that can be condensed into a combustible liquid at ambient temperature, for example, pyrolysis oil or bio-oil. Thus, the biomass pyrolysis process allows for the production of three main

products: liquid (bio-oil), solid (charcoal or biochar), and gaseous (synthesis gas) [15].

Pyrolysis is considered the most interesting and promising method of processing from an ecological standpoint since it is conducted under pressure and releases significantly less gas compared to combustion or gasification [16].

The utilization of pyrolysis products has significant potential for reducing greenhouse gas emissions compared to the use of fossil fuels and traditional chemicals. Life cycle assessment is the most commonly used approach to quantitatively assess the environmental benefits and impacts of bioenergy and bioproducts [17].

There are several pyrolysis modes that differ in temperature, rate, and decomposition products.

By considering different methods of wood pyrolysis and gasification, it is possible to determine the typical volume of product yields based on dry mass [15], which is presented in Table 1.

Table 1. Methods of pyrolysis and gasification of wood

Mode	Conditions	Liquid	Coal	Gas
Fast	Moderate temperature, around 500 °C, and a short residence time of vapors (~1 second).	75 %	12 %	13 %
Intermediate	Moderate temperature, around 500 °C, and a short residence time of vapors (~10-20 seconds).	50 %	20 %	30 %
Slow (carbonation)	Low temperature, around 400 °C, and a very long solid residence time.	30 %	35 %	35 %

Continuation of table 1

Gasification	High temperature, around 800 °C, and a prolonged residence time of vapors.	5 %	10 %	85 %
--------------	--	-----	------	------

Several research directions are being pursued for a more detailed study of the pyrolysis process, including slow (up to 60 °C/min), intermediate (1 to 10 °C/s), fast (10 to 200 °C/s), and flash (above 1000 °C/s) types. Additionally, depending on the temperature, the pyrolysis process can be classified as low-temperature (450–550°C), medium-temperature (~800 °C), and high-temperature (>900 °C) [18].

1.2 Types of pyrolysis

1) Slow pyrolysis stands out as the most efficient method of converting biomass into biochar, which finds wide application as both a fertilizer and a soil quality improvement agent. In the literature, this is consistently emphasized as a highly promising technology for biochar production. Slow pyrolysis involves subjecting vapors to pyrolysis conditions for an extended period, usually lasting several minutes or even longer. This process includes two distinct variations: carbonization and regular pyrolysis, primarily used for charcoal production [15].

Slow pyrolysis operates at relatively moderate temperatures ranging from 350 to 700°C and requires significantly longer residence times, often lasting several hours or even days, depending on the furnace size. Three different products are formed during this process: biochar, which accounts for approximately 35-40% of the initial biomass mass, as well as moisture and synthesis gas. The characteristics of these final products are influenced by factors such as biomass source, temperature, and residence time. Typically, slow pyrolysis entails conducting the procedure for several hours, with a maximum temperature ranging from 400 to 500 °C [15].

The synthesis gas obtained from the slow pyrolysis process has a calorific value ranging from 8 to 10 MJ/kg and consists primarily of 10–25% hydrogen (H₂), 15–25% carbon monoxide (CO), 8-15% methane (CH₄), and minor amounts of ethane, propane, ethyl alcohol, and acetyl alcohol [15]. In slow pyrolysis, biomass is heated in an oxygen-limited environment, and the properties of the resulting char

are determined by the original properties of the biomass, which undergoes thermal modification to form char and generate vapors. With increasing temperature, further solidification and strengthening of the char occur, leading to the formation of a higher amount of volatile compounds. In such conditions, the maximum temperature achieved has the most significant influence on the properties of the char [15].

Several factors influence the formation of secondary char in slow pyrolysis, including the particle size of the biomass, the pressure inside the pyrolysis reactor, and the composition of vapors within the reactor. Therefore, when using the slow pyrolysis technology at the same pyrolysis temperature, the yield and properties of the biochar can vary significantly due to differences in the degree of formation of secondary char particles. Hence, to accurately determine the quality of biochar, it is necessary to measure the adsorption capacity of all samples obtained through slow pyrolysis [15].

In an optimized slow pyrolysis process for biochar production, 25 kg of biochar and 75 kg of gaseous products, consisting of volatile substances, are produced from 100 kg of ash-free dry wood. The production of wood charcoal from biomass is carried out through pyrolysis in large furnaces or retorts. The reaction results depend on the type of biomass and heating conditions. Char formation is promoted by large particle sizes and slow heating, which increases the contact time between volatile substances and carbon, leading to the formation of pyrolygineous liquids and volatile gases [15].

2) Fast pyrolysis, conducted in the temperature range of 450 to 600 °C and in the absence of air, facilitates the decomposition process, resulting in the formation of a significant amount of gaseous products, including synthesis gas, along with a liquid substance known as bio-oil [17].

The primary objective behind the use of fast pyrolysis is to obtain liquid fuel from lignocellulosic biomass, which serves as a viable substitute for conventional oil in various applications. Notably, these liquid derivatives have the potential for the production of various specialized and commercial chemicals. The distinctive features of fast pyrolysis lie in its ability to provide remarkably high heating rates

and heat transfer, often requiring biomass pre-processing such as grinding. As a result, the main product of fast pyrolysis manifests as bio-oil, obtained with an impressive yield of up to 80 % of the dry mass, along with the formation of by-products such as char and gas [15].

Fast pyrolysis, utilized for the production of liquid hydrocarbons, garners special interest because liquid products are more convenient and cost-effective for transportation and storage compared to solid biomass [15].

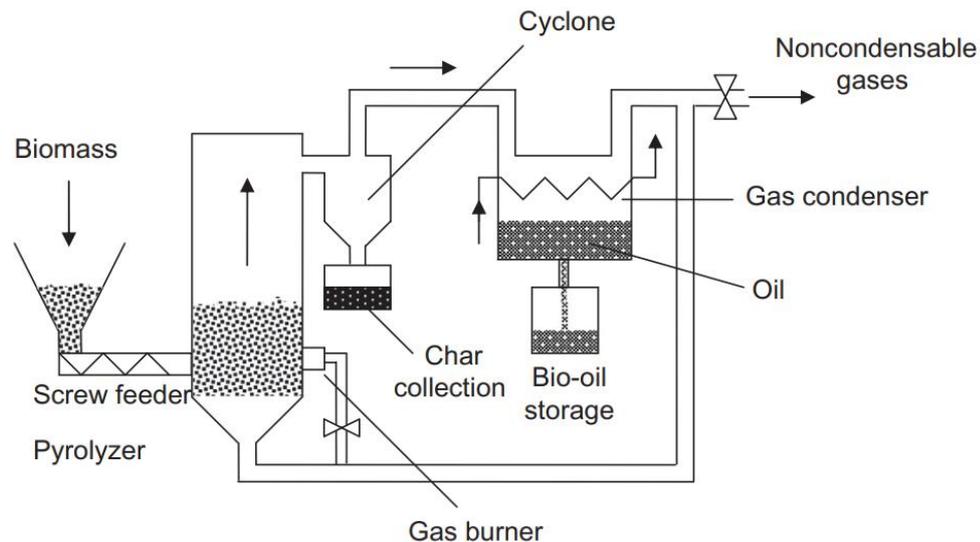


Figure 1 – Diagram of the fast pyrolysis process in a fluidized bed

The bio-oil obtained from fast pyrolysis represents a dense complex mixture of oxygen-containing organic compounds, with a calorific value comprising 50–70% of the calorific value of petroleum fuels. It can be used as fuel for boilers or transportation derived from renewable sources. The density of bio-oil (greater than the initial biomass) exceeds 1 kg/L, making it more economically efficient for transportation than biomass. During fast pyrolysis, biomass rapidly decomposes, producing vapors, aerosols, gases, and some char [15].

To produce liquids through the fast pyrolysis method, the following conditions are required [15]:

- A very high level of heating rates and heat transfer in the reaction zone, achieved by using finely ground biomass.
- The pyrolysis reaction temperature is carefully controlled and maintained at around 500 °C, while the vapor phase temperature ranges from 400 to 450 °C. The

significance of temperature on the yield and spectrum of the obtained products is further discussed in the section on liquid pyrolysis.

- The residence time of hot vapors is minimal (usually less than two seconds).
- After the reaction, the vapors are rapidly cooled, leading to the formation of bio-oil.

The process of fast pyrolysis involves several stages. These stages include the initial drying of the feedstock, typically aiming to achieve a moisture level of 10% to minimize water content in the resulting liquid product. Then, the biomass undergoes grinding to obtain particles of approximately 2 mm in size, providing optimal conditions for fast pyrolysis reaction. Subsequently, solid particles are separated, forming char, while facilitating the collection of the liquid product known as bio-oil [15].

Bio-oil contains a significant amount of oxygen-containing compounds, which hinders its miscibility with hydrocarbons. Organic acids, such as formic and acetic acids, formed during biomass decomposition, lower the pH of the oil. Water is a constituent of bio-oil and an integral part of the single-phase chemical solution. The moisture content in bio-oil usually ranges from 15 % to 35 %, and if the moisture content exceeds 30–45%, phase separation may occur [15].

3) Instant pyrolysis is a process of rapidly converting biomass through fast heating, with a reaction time of a few seconds or less. To achieve high heating rates, a special reactor design is required, which can be a fluidized bed reactor or a pseudo-liquid layer reactor. The particle size of biomass subjected to instant pyrolysis needs to be sufficiently small, ranging from 105 to 250 μm , to ensure rapid heating of any type of biomass [19].

Instant pyrolysis encompasses a multifaceted process that can be divided into different types, each with its unique characteristics and operating parameters [15].

- Hydro-pyrolysis: This specific process involves conducting hydro-pyrolytic instant pyrolysis in a hydrogen-rich atmosphere, typically maintained at pressures up to 20 MPa. The inclusion of hydrogen creates an environment

conducive to rapid pyrolysis reactions, ensuring efficient conversion of the feedstock [15].

- Fast thermal process: Within this process, the feedstock undergoes rapid depolymerization and cracking, achieved through extremely short heating times ranging from 30 milliseconds to 1.5 seconds. The temperature is maintained within the range of 400 to 950°C, facilitating desired feedstock fragmentation. The fast heating regime minimizes the occurrence of undesired side reactions, allowing the production of a product with viscosity comparable to diesel fuel [15].

- Solar-driven instant pyrolysis: This process utilizes concentrated solar energy to facilitate instant pyrolysis. Solar energy, harnessed through various means such as solar towers, solar concentrators, and solar furnaces, serves as the driving force for the rapid thermal decomposition of the feedstock. The use of solar energy as the primary heat source emphasizes the renewable and sustainable aspects of this method [15].

1.3 Classification of Pyrolysis Reactors

Currently, numerous pyrolysis technologies exist worldwide, leading to the development of various reactor configurations. Among these configurations, pseudo-liquid layer reactors hold a prominent position due to their exceptional efficiency and extensive research focus. In these reactors, biomass particles are heated through their interaction with a high-temperature sand flow, ensuring efficient thermal conversion. It is noteworthy that predominant pyrolysis reactor designs include fixed or fluidized bed reactors, pseudo-liquid layer reactors (PLR), circulating pseudo-liquid layer reactors (CCL), super-fast pyrolysis reactors, rotary cone reactors, ablative reactors, and vacuum reactors, each finding wide applications [20].

Pyrolysis reactors incorporating a dense layer have been in existence for quite some time, where the necessary heat for biomass decomposition can be supplied either from an external source or through internal combustion processes [15]. Figure 2 illustrates modern continuous-action reactors utilizing a moving bed, where chips or pellets are widely employed.

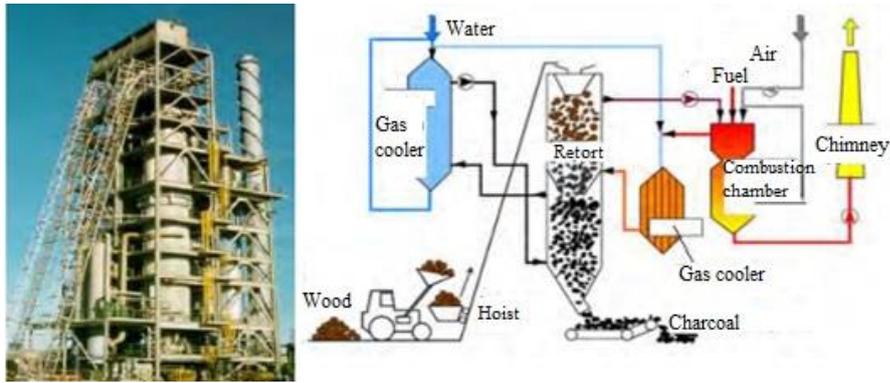
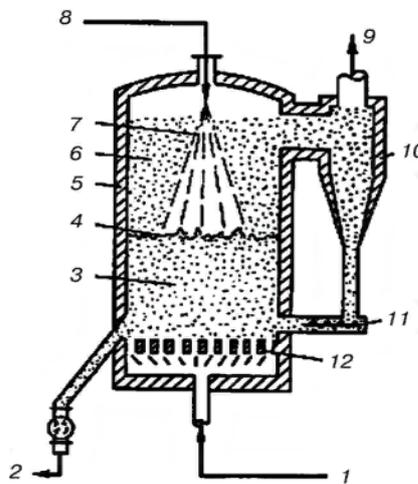


Figure 2 – Continuous reactor with a moving layer

Fluidized bed reactors, as shown in Figure 3, utilize finely ground biomass (size 2–6 mm) that is fed into a fluidized bed with hot sand. The pseudo-liquid layer is set in motion by an inert gas, which is typically recirculated through the combustion products. This facilitates intense mixing of the most solidifying materials, such as sand, thereby promoting uniform temperature distribution across the surface. It is worth noting that the residence time of solid particles inside the reactor exceeds the residence time of gas, emphasizing the extended duration of their presence in the system [15].



- 1 — fluidized air; 2 — solid product; 3 — inert carrier layer (sand) in solid phase;
 4 — fluidized bed boundary; 5 — housing; 6 — ash entrainment;
 7 — loaded waste stream; 8 — waste loading; 9 — waste gases;
 10 — separator; 11 — dust return; 12 — grate

Figure 3 – Fluidized bed pyrolysis reactor

To achieve the required temperature for the pyrolysis process, either gas generated during the process, which is combusted in the bed, or solid biochar

combusted in a separate furnace can be used. Typically, pyrolysis products contain around 70–75% liquid on a dry wood basis. The solid material in the bed, containing biochar, acts as a cracking catalyst, so it needs to be separated from the obtained gas to avoid secondary cracking and enhance the yield of liquid products. For this purpose, biochar particles are separated from the gas using cyclones [15].

Circulating fluidized bed reactors (CFB), as depicted in Figure 4, operate on the same principle as pseudo-liquid layer reactors. However, these reactors have a significantly wider bed, and solid particles circulate continuously along the external loop, including cyclones. This hydrodynamic regime, known as fast fluidization, ensures uniform temperature throughout the reactor volume. Notably, the gas velocity inside CFB exceeds that in pseudo-liquid layer reactors. The combination of high velocity and exceptional mixing capabilities allows CFB to process a significant amount of biomass. As the gas and solid particles rise through the reactor, the average residence time of biomass particles exceeds the gas residence time, although not to the same extent as in pseudo-liquid layer reactors. The primary advantage of CFB lies in its ability to easily separate and burn biochar particles entrained from the reactor in the external pseudo-liquid layer. The heat released during combustion is transferred to the inert solid materials in the bed, which are subsequently reintroduced into the reactor via the external loop. This dynamic circulation mechanism contributes to the efficient utilization of the released heat [15].

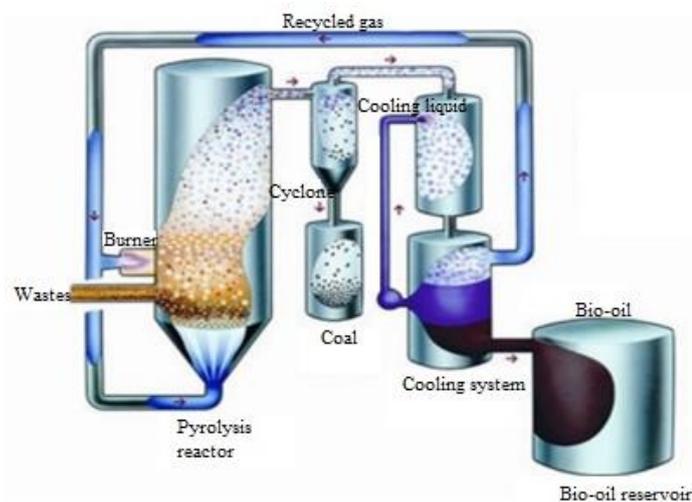


Figure 4 – Pyrolysis reactor of the circulating fluidized bed

The ablative pyrolysis reactor, shown in Figure 5, operates by utilizing high pressure created between the biomass particle and the heated reactor wall. This arrangement facilitates unhindered heat transfer from the wall to the biomass, resulting in the liquefaction of the obtained liquid products from the biomass, similar to melting frozen butter on a hot frying pan. Simultaneously, the biomass slides along the wall, leaving behind a thin film of liquid that subsequently evaporates, thereby exiting the pyrolysis zone located between the biomass and the wall. The exceptional efficiency of this process is attributed to rapid heat transfer and short gas residence time, resulting in a liquid product yield exceeding 80 %. To create the necessary pressure between the biomass and the reactor wall, either a mechanical mechanism or centrifugal force is used. In a mechanical system, large biomass particles are pressed against the rotating hot plate, creating the desired pressure for efficient pyrolysis [15].

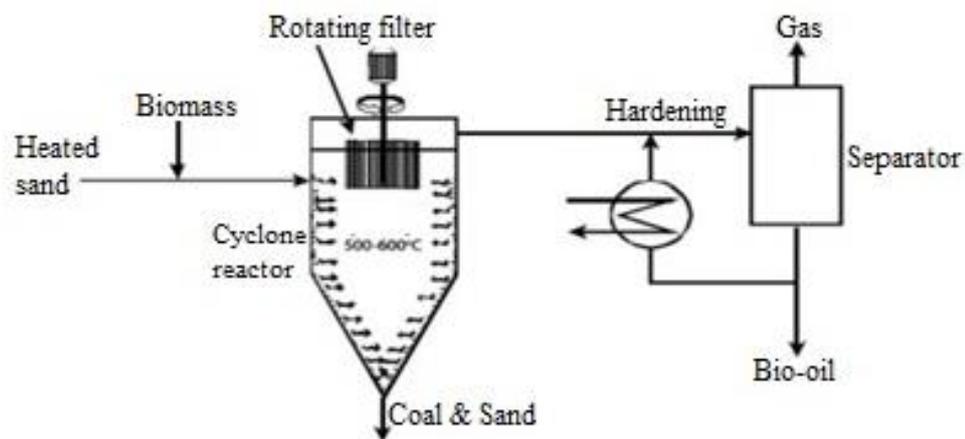


Figure 5 – Ablative pyrolysis reactor

In the reactor with a rotating cone, biomass particles and additional solid heat carrier particles are introduced into the lower part of the cone, which rotates at a speed of 360 to 960 revolutions per minute. Under the action of centrifugal force, the particles are pushed away from the hot wall, causing them to rise along a spiral trajectory along the wall. This dynamic motion accelerates their heating process with an impressive acceleration rate of 5000 K/s, ultimately leading to their pyrolysis in a limited annular volume characterized by exceptional mixing. As a result, a gas phase is formed, containing vapors of bio-oil, which exits through a separate

pipeline. As for the solid components, namely biochar and sand, they migrate to the upper periphery of the rotating cone, eventually entering the configuration of a pseudo-liquid layer [15].

Within this reactor, biochar undergoes combustion in the pseudo-liquid layer, where heat is released, effectively heating both the cone and solid particles. These heated solid particles are subsequently recycled to serve as a heat source for the pyrolysis process. It is noteworthy that the distinguishing characteristic of this reactor is its remarkably short residence time for solid particles, only 0.5 seconds, as well as a relatively short residence time for the gas phase, typically around 0.3 seconds. These reduced time frames contribute to obtaining liquid products comprising approximately 60–70% of the dry mass, enhancing process efficiency. Additionally, it should be noted that the use of a gas carrier is not required within this specific pyrolysis process [15].

It is crucial not only to conduct comprehensive research on stationary biomass conversion technologies but also to actively develop and implement mobile systems that can be deployed in biomass-rich locations. Within such systems, the raw material is processed directly at the extraction site, and the resulting energy product is utilized to meet the energy needs of nearby consumers or for transportation purposes. This approach offers notable advantages, including reduced fuel costs through decreased transportation expenses, along with increased overall biomass utilization. To achieve this goal, pyrolysis reactors equipped with an externally heated screw conveyor are employed. The multifunctional screw conveyor efficiently performs two important tasks simultaneously: thorough mixing of the feedstock and precise control of the residence time in the reactor for the biomass. The compactness of these installations ensures their mobility, facilitating their easy deployment and movement [15].



Figure 6 – Mobile installation of rapid pyrolysis of biomass

1.3 Products Obtained from Pyrolysis

Depending on the chemical properties of the feedstock and the desired properties of the final product, various pyrolysis regimes can be applied to optimize the process. Each regime has its own characteristics and parameters that can be optimized to achieve desired results under specific experimental conditions.

When conducting the thermal decomposition of a mixture of peat and sawdust, three types of products can be obtained through slow pyrolysis:

- 1) Non-condensable gas product, containing carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), hydrogen (H₂), methane (CH₄), and higher hydrocarbons, referred to as «biogas», «synthesis gas», or «pyrolysis gas» [17].

Synthesis gas can be applied in various industries such as power generation and heat production as fuel in gas turbines and boilers to generate electricity and heat. It can be used for the production of liquid hydrocarbon fuels by converting it into biodiesel or bioethanol. Additionally, synthesis gas can be utilized for the production of various chemicals like methanol, ammonia, methane, and acetate. Synthetic fuels and gases such as diesel fuel and aviation kerosene can be obtained using synthesis gas alongside synthetic natural gas. Moreover, synthesis gas can be employed for the production of carbon materials like carbon fibers, widely used in industries such as aviation, automotive, and others. Lastly, synthesis gas can be utilized for fertilizer production, such as ammonium nitrate [17].

2) Liquid product referred to as bio-oil, bio-crude, pyrolysis oil, or biocrude;

The liquid products obtained from peat and sawdust through pyrolysis can be used as an alternative fuel source for transportation, including diesel engines and aviation engines, as well as for heating and power generation in industrial applications. Additionally, bio-oil can be utilized as a feedstock for chemical production, including the manufacturing of plastics, resins, solvents, and as a base for lubricants and other specialty oils [17].

3) Carbonaceous residue product, known as biochar, which can be used in various applications, including its utilization as a soil amendment (often called "biochar" when used for this purpose) or as an energy source in the conversion process.

Biochar is obtained through slow pyrolysis using a lower heating rate (0.1–0.8 °C/s) and a longer residence time (5–30 minutes or even 25–35 hours) at temperatures of 300–550 °C. For instance, furnace temperatures above 600 °C are undesirable as they increase energy consumption and decrease biochar yield due to the combustion of organic matter and the degradation of cellulose and hemicellulose. The biochar yield depends on the properties of the feedstock, processing temperature, and heating rate. For example, herbaceous biomass contains more minerals than woody biomass, resulting in a lower biochar yield [17].

Biochar can be applied in various fields, including power and heat production in thermal power plants, which can help reduce the use of fossil fuels and greenhouse gas emissions. It is also suitable as a soil amendment in agriculture to enhance soil fertility and as a component in filters for water and air purification. It can be used in ironmaking as an alternative to coke as a component in iron ore sintering for high-temperature iron smelting [17].

In general, the promising applications of valuable products obtained through pyrolysis demonstrate their potential in various industries, making them attractive, sustainable, and environmentally friendly alternative sources of energy and raw materials compared to traditional fossil fuels.