

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Специальность Энергетическое машиностроение
Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы

Термическая переработка низкосортных топлив для слоевого сжигания

УДК 662.65:662.612.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Суздальцев Виталий Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Табакаев Р.Б.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПГС и ПГУ	Заворин А.С.	Д.Т.Н., профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3; ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	деятельности, в том числе на иностранном языке	
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	Требования ФГОС ВО (ПК-9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
 Специальность Энергетическое машиностроение
 Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Суздальцеву Виталию Евгеньевичу

Тема работы:

Термическая переработка низкосортных топлив для слоевого сжигания

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 592/с от 07.02.2017 года

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1 июня 2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Низкосортные топлива Томской области в составе: торф, древесина в виде щепы и опилок, отруби, скорлупа кедровых орешек, солома, бурый уголь Таловского месторождения. 2. Теплотехнология «Способ изготовления топливных брикетов из биомассы» (патент РФ 2484125 от 16.04.2012).
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Низкосортное энергетическое топливо и проблемы его сжигания в слоевых топочных устройствах. 2. Теоретические основы термической переработки низкосортного органического топлива. 3. Методические основы экспериментальных исследований термической переработки низкосортного органического топлива. 4. Результаты исследования и их обсуждение. 5. Анализ результатов.
Перечень графического материала	1. Методика исследования. 2. Материальные балансы термической

	переработки низкосортных топлив. 3. Схема распределения тепловых затрат и тепловыделения при термической переработке топлив.
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Грахова Елена Александровна, ассистент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Бородин Юрий Викторович, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Иностранный язык	Исакова Юлия Ивановна, доцент кафедры иностранных языков

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

3. Методические основы экспериментальных исследований термической переработки низкосортного органического топлива.
4. Результаты исследования и их обсуждение.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.03.2017 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Табакаев Р.Б.	канд. техн. наук		13.03.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Суздальцев В.Е.		13.03.2017

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Суздальцеву Виталию Евгеньевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научно-технического проекта (НТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.	- Примерный бюджет проекта - 250 000 руб.; - В реализации проекта задействованы 2 человека: научный руководитель и инженер; - Для реализации проекта необходима аудитория для проведения экспериментальных исследований и одно рабочее место с ПЭВМ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов.	- ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; - Распоряжение Правительства Российской Федерации № АД-П9-5120 «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года» от 18 июля 2013 г.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	- Отчисления по страховым взносам 27,1 % от ФОТ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТП.	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование; - Потенциальные потребители результатов НТП; - Анализ и оценка научно-технического уровня проекта; - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. Разработка устава научно-технического проекта.	Данный раздел не разрабатывается.
3. Планирование процесса управления НТП: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок.	- Планирование выполнения проекта; - Расчет бюджета проекта.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График Ганта.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Суздальцев Виталий Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Суздальцеву Виталию Евгеньевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Рассматриваемая рабочая зона представляет собой аудиторию № 117 4 корпуса НИ ТПУ, в которой студентом проводились экспериментальные исследования низкотемпературной термической переработки низкосортных топливно-энергетических ресурсов в энергетически ценные продукты, предназначенные для использования в широком диапазоне энергетического оборудования.

В помещении существует опасность поражения электрическим током и возникновения возгорания. Помимо этого, на находящихся в данном помещении людей могут оказывать влияние такие вредные факторы, как некачественное освещение и ненадлежащее состояние микроклимата.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)

Вредные и опасные факторы, которые может создать объект исследования:

1 Повышенная температура поверхности установки;

2 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований:

1 Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;

2 Повышенная температура воздуха рабочей зоны;

3 Недостаток естественного света.

Необходимо определить нормативные значения данных факторов для данного помещения. Предложить мероприятия по уменьшению воздействия вредных факторов и привести возможные средства защиты.

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны

Рассматриваемая рабочая зона не оказывает существенного воздействия на

– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	атмосферу, гидросферу и литосферу. Срок эксплуатации комплектующих данного оборудования достаточно велик. По истечении срока службы часть передается на восстановление, а часть поступает в отходы.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Наиболее возможными ЧС в рассматриваемой рабочей зоне являются поражение людей электрическим током и возникновение пожара. Для их предупреждения необходимо строгое соблюдение правил безопасности и норм, определяющих порядок работы с оборудованием. Персонал и студенты для допуска к работе должны изучить технику безопасности и уметь правильно действовать в случае ЧС. Рассмотреть средства, определяющие действия при возникновении ЧС и ликвидации их последствий (например, план эвакуации и средства пожаротушения).
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Определить порядок и организацию работы в рассматриваемом помещении, обеспечивающие безопасные и комфортные условия труда, с соблюдением санитарных и технологических норм

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бородин Юрий Викторович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Суздальцев Виталий Евгеньевич		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 151 страницу, 15 рисунков, 13 таблиц, 71 источник, 3 приложения.

Ключевые слова: термическая переработка, низкосортное топливо, торф, биомасса, бурый уголь, отходы, слоевое сжигание, пиролиз, полукокс, смола, газ, твердое композитное топливо, теплотехнические характеристики, материальный баланс, тепловой баланс, водогрейный котел.

Объектом исследования является низкосортное энергетическое сырье, а именно, уголь Таловского месторождения, пробы торфа № 1–3 из Томской области, отруби, солома, щепа, скорлупа кедровых орехов и опилки.

Целью работы является исследование термического воздействия на характеристики и свойства низкосортных топлив применительно к слоевому сжиганию.

В процессе исследования проводится: разработка методики проведения термической переработки, определение теплотехнических характеристик исходного сырья, термическая переработка исследуемых проб топлива, определение теплотехнических характеристик продуктов переработки, составление материальных и тепловых балансов, сравнение возможности энергетического использования полученных продуктов на примере конкретного котельного агрегата.

В результате проведенной работы решены следующие задачи:

- проведен литературный обзор в исследуемой области;
- разработана методика исследования термической переработки и проведена термическая переработка низкосортных видов сырья;
- исследованы продукты переработки применительно к слоевому сжиганию и произведена оценка возможности энергетического использования полученных продуктов на примере конкретного котельного агрегата.

Магистерская диссертация выполнена с помощью прикладных программ: Microsoft Word 2014, Microsoft Excel 2014, Adobe Acrobat Reader V9.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

1. КА – котельный агрегат – теплообменное устройство, в котором тепло от горячих продуктов горения топлива передается воде;
2. КПД – коэффициент полезного действия – характеристика эффективности системы в отношении преобразования или передачи энергии.
3. НТ – низкосортное топливо;
4. НВТ – низкотемпературная вихревая топка;
5. ТКТ – твердое композитное топливо;
6. НТУ – научно-технический уровень;
7. НТП – научно-технический проект;
8. ПЭВМ – профессиональная электронно-вычислительная машина;
9. ПДК – предельно допустимая концентрация.

Оглавление

Введение.....	14
1 Низкосортное энергетическое топливо и проблемы его сжигания в слоевых топочных устройствах.....	16
1.1 Виды низкосортного энергетического топлива.....	16
1.2 Проблемы энергетического использования низкосортных видов топлива традиционными методами.....	21
1.3 Альтернативные методы вовлечения низкосортных видов топлива в энергетический баланс.....	22
2 Теоретические основы термической переработки низкосортного органического топлива.....	25
2.1 Пиролиз низкосортного органического топлива.....	25
2.2 Факторы, влияющие на параметры термической переработки.....	27
2.3 Способы и устройства термической переработки низкосортного органического сырья.....	28
3 Методические основы экспериментальных исследований термической переработки низкосортного органического топлива.....	33
3.1 Определение теплотехнических характеристик исходного органического топлива.....	34
3.2 Термическая переработка органического сырья.....	34
3.3 Определение теплотехнических характеристик продуктов термической переработки.....	38
3.4 Материальный баланс термической переработки низкосортного органического топлива.....	38
3.5 Тепловой баланс термической переработки низкосортного органического топлива.....	40
3.6 Пересчет результатов на различные состояния сырья.....	42
3.7 Оценка погрешности измерений.....	42

4 Результаты исследования и их обсуждение.....	44
4.1 Теплотехнические характеристики исследуемых низкосортных топлив.....	44
4.2 Материальный баланс термической переработки низкосортных топлив.....	46
4.3 Теплотехнические характеристики продуктов термической переработки.....	48
4.4 Тепловой баланс термической переработки низкосортных топлив.....	51
4.5 Анализ результатов.....	53
5 Анализ результатов.....	56
5.1 Оценка эффективности энергетического использования ТКТ.....	56
5.2 Анализ результатов.....	59
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	61
6.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование.....	61
6.2 Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта.....	62
6.3 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта.....	62
6.4 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	63
6.5 Планирование выполнения проекта.....	66
6.6 Расчет бюджета проекта.....	71
6.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проекта.....	72
6.8 Анализ результатов.....	72
7 Социальная ответственность.....	74
7.1 Производственная безопасность.....	74

7.2 Экологическая безопасность.....	81
7.3 Пожарная безопасность.....	82
7.4 Анализ условий труда.....	84
7.5 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	84
7.6 Анализ результатов.....	85
Заключение.....	86
Список публикаций.....	89
Список использованных источников.....	90
Приложение А. Определение погрешности измерений.....	97
Приложение Б. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	119
Приложение В. The thermal processing of low-grade organic for fuel-bed burning.....	133

Введение

Актуальность работы. Для современного развития мировой энергетики характерно сокращение использования качественных твердых и жидких топлив [1], вызванное постоянным истощением их ресурсов, при расширении применения низкосортных видов сырья, таких как торф, биомасса, сапрпель и отходы промышленных предприятий [1, 2]. Следует отметить, что в условиях климата Севера России перспективным считается использование низкосортных топлив в зонах децентрализованного энергоснабжения, что способствует замещению привозного и, как следствие, дорогостоящего топлива [2]. За счет сооружения доступных потребителю автономных энергокомплексов, работающих на местных низкосортных топливно-энергетических ресурсах, можно добиться снижения расходов на теплоснабжение и снижение тарифов на электроэнергию [2, 3].

Сжигание низкосортных топлив традиционными для энергетики способами связано с рядом определенных трудностей – существующее котельное оборудование не приспособлено к использованию высоковлажного и высокозольного сырья, в результате чего осложняется работа пылеприготовительных устройств, топочно-горелочного комплекса, поверхностей нагрева, что в свою очередь приводит к высоким эксплуатационным затратам [1]. К тому же низкая прочность и хрупкость торфа и некоторых видов биомассы приводят к высокой величине провала при слоевом сжигании [2]. Таким образом, возникает необходимость в предварительной переработке сырья.

Основная идея реализации вышеизложенного заключается в низкотемпературной термической переработке местных низкосортных топливно-энергетических ресурсов в энергетически ценные продукты, предназначенные для использования в широком диапазоне энергетического оборудования.

Актуальность данной работы обосновывается соответствием энергетической стратегии России на период до 2035 года, разрабатываемой Правительством РФ [4]. Согласно предлагаемой стратегии наблюдается проблема вовлечения объектов на возобновляемых источниках энергии и недостаточно активного использования местных низкосортных видов сырья в региональных энергетических балансах.

Для решения вышеизложенной проблемы Правительство РФ ставит такие задачи, как разработка и внедрение новых энергетических программ энергосбережения, максимизация эффективности использования местного энергетического сырья, а также развитие высокоэффективных децентрализованных систем топливо- и электроснабжения [4].

В соответствии с поставленной задачей Правительством РФ одним из основных наиболее важных направлений является увеличение относительного объема производства и потребления тепловой и электрической энергии с использованием местных низкосортных видов сырья с 0,5 до 4,5 % [4].

Целью работы является исследование термического воздействия на характеристики и свойства низкосортных топлив применительно к слоевому сжиганию.

Основные задачи исследования:

- провести литературный обзор в рассматриваемой области;
- разработать методику исследования термической переработки;
- провести термическую переработку низкосортных видов сырья;
- изучить исходные топлива и полученные продукты переработки применительно к слоевому сжиганию;
- сравнить возможность энергетического использования полученных продуктов на примере конкретного котельного агрегата.

1 Низкосортное энергетическое топливо и проблемы его сжигания в слоевых топочных устройствах

К низкосортным видам сырья относятся высоковлажные, высокозольные или окисленные угли, промежуточные продукты обогащения каменных углей, шламы, горючие сланцы, торф, сапропель, сельскохозяйственные отходы и отходы производств, называемые биомассой. Отличительной особенностью низкосортных топлив (НТ) является их достаточно низкая теплота сгорания, которая в большинстве случаев не превышает 10–12 МДж/кг в пересчете на рабочее состояние. Столь низкий показатель теплоты сгорания обусловлен высоким содержанием в них такого балласта, как влага и зола [5].

1.1 Виды низкосортного энергетического топлива

Торф

Торф – продукт, формирующийся в результате разложения отмершей болотной растительности, под воздействием биохимических процессов в условиях повышенного количества влаги и недостатка кислорода [6, 7].

По внешним признакам торф представляет собой коричневую волокнистую рыхлую массу неразложившихся остатков растительности. Также торф может иметь землистый вид, характеризующийся более глубокой степенью разложения, или черный смолистый вид, характеризующийся отсутствием неразложившихся остатков растительности [5].

Торфяные месторождения часто оказываются затопленными водой, поэтому отличительной особенностью торфа является наличие большого количества влаги, достигающего 80–85 % в сухой залежи и 90 % в мокрой залежи соответственно. Зольность торфа лежит в диапазоне 3–17 % в пересчете на сухую массу и зависит от условий образования залежи [5, 8].

По способу добычи различают фрезерный и кусковой торф [5, 9]. Фрезерный торф добывается путем фрезерования, то есть срезания с предварительно подготовленной (высушенной) поверхности пласта тонкого слоя. В свою очередь кусковой торф добывается путем взрыхления

высушенной поверхности пласта, в результате чего он представляет собой куски различных размеров. Средний состав и теплота сгорания различных видов торфа приведены в таблице 1 [5, 9, 10].

Таблица 1 – Характеристика торфа [5]

Сорт торфа	Состав рабочей массы, %							Теплота сгорания	Выход летучих веществ
	C^r	H^r	O^r	S^r	N^r	A^r	W^r	$Q_{r,i}$, кДж/кг	V^{daf} , %
Кусковой	30,9	3,2	17,8	0,2	1,3	6,6	40	10 070	70
Фрезерный	25,7	2,7	14,9	0,1	1,1	5,5	50	8 500	70
Росторф	24,7	2,6	15,2	0,1	1,1	6,3	50	8 120	70

Торф характеризуется низкой прочностью, что значительно затрудняет его транспортировку. На прочность торфа влияют такие показатели, как плотность куска, зольность и степень разложения. Отрицательные температуры и контакт с воздухом делают его более рассыпчатым [5, 6, 11].

Говоря об энергетическом потенциале России, в пересчете на условное топливо запасы торфа насчитывают более 186 млрд тонн [12]. Что касается Томской области, то в ней исследовано 1447 торфяных месторождений, составляющих 30 % торфяных запасов России [1, 11, 13].

В энергетике существует возможность применения практически любого типа и вида торфа. Однако в качестве энергетического топлива торф используется всего лишь в количестве до 4 млн тонн в год на электростанциях небольшой мощности [2, 14].

Так как запасы торфа достаточно велики и данное НТ относится к возобновляемым полезным ископаемым, то торф можно рассматривать как перспективное энергетическое сырье, особенно при переходе к комплексному, то есть к экономически обоснованному, его использованию.

Биомасса

Биомасса представляет собой органическое возобновляющееся вещество, генерируемое растениями за счет процесса фотосинтеза. Отличительной чертой биомассы является ее мелкий фракционный состав. Основными источниками биомассы являются древесина, отходы деревообрабатывающей промышленности, отходы сельского хозяйства и городские отходы [5, 15].

К древесине относятся как сами дрова, так и древесные отходы, образующиеся при заготовке, переработке и транспортировке лесоматериалов. Древесные отходы включают в себя опавшие ветви, погибшие деревья, пни, сучья, щепу, горбыль, опилки и т.д. Следует отметить, что основной составляющей древесных отходов являются побочные продукты, образующиеся в процессе переработки древесины, которые включают в себя главным образом кору и горбыль [5, 15].

Влажность древесины и древесных отходов колеблется в значительных пределах. Наличие влаги в данном случае главным образом зависит от таких факторов, как способ хранения и транспортировки древесины, время года, географическое размещение. К примеру, при транспортировке по воде лесоматериалов их влажность может достигать 80 % [15].

Отходы сельского хозяйства включают в себя древесные останки растений и продукты их переработки, такие как солома, лузга и стебли растений [5, 15, 16].

Органическая часть растений состоит в основном из углеводов, а так же из жиров, белков, смол и восков. Основным компонентом углеводов является целлюлоза, содержание которой в органической части растений достигает 60 % [5]. Наличие большого содержания целлюлозы дает возможность достаточно легко подготовить данный вид отходов для производства из них энергии [15].

Уровень загрязнения окружающей среды при использовании соответствующего топлива определяется содержанием серы и азота в нем.

Содержание серы в древесных отходах обычно не превышает 0,1 %, а содержание азота редко бывает больше 1,5 %. Что касается отходов сельского хозяйства, то содержание в них азота обычно не превышает 0,45 %, а серы 0,2 % [15]. Также в большинстве случаев биомасса в естественном состоянии содержит до 60 % влаги, менее 1 % солей и около 1 % золы [5, 17].

Элементный состав и характеристики древесины и сельскохозяйственных отходов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Элементный состав и характеристики древесины и сельскохозяйственных отходов [5]

Топливо	Состав органической массы, %			Характеристики рабочего топлива		
	C_r	H_r	$O_r + N_r$	W_r , %	A_r , %	$Q_{r,i}$, кДж/кг
Сосна	50,2	6,0	43,8	57,4	1,4	7120
Береза	49,3	6,1	44,6	50,4	2,1	8140
Ольха	49,0	6,3	44,8	51,0	1,4	7780
Осина	48,8	6,1	45,1	44,0	1,1	9150
Солома	44,9	5,4	49,7	8	5,0	13120
Лузга	51,7	6,3	42,0	15	2,0	15500
Камыш	–	–	–	16	7,4	14400

Использование биомассы в качестве энергетического топлива имеет значительные преимущества за счет снижения выбросов диоксида углерода, т.к. углекислый газ, образующийся при сжигании биомассы, не учитывается в кадастре выбросов парниковых газов, поскольку он участвует в образовании зеленой массы [18].

В России большая часть срубленного леса задействуется в основном в лесной промышленности для производства различных древесных материалов, бумаги, и только 4 % древесины используется в качестве энергетического топлива [2]. Основным же источником биотоплива в стране являются отходы лесозаготовок, которые составляют 40–60 % объема заготавливаемой древесины, также 20 % составляют отходы, образующиеся при ее переработке [2, 19].

Экологичность сжигания и доступность биомассы позволяет рассматривать ее в качестве одного из альтернативных энергетических ресурсов для производства энергии. Однако использование биомассы в качестве энергетического сырья в ее исходном виде сдерживается низкой эффективностью традиционных энергопреобразователей – котельных агрегатов (КА). Решение данной проблемы достигается за счет применения современных технологий подготовки, брикетирования и транспортировки биомассы и ее сжигания в современных установках [5, 19, 20, 21].

Бурый уголь

Бурый уголь – горючее полезное ископаемое, образующееся в результате сложной трансформации торфяника, погребенного под мощным слоем наносных отложений, горной породы, предотвративших контакт органического вещества с кислородом воздуха, в условиях повышенной температуры (до 200 °С и выше) и давления (до 300 МПа) [5].

По внешнему виду различают землистые бурые угли, лигниты и блестящие бурые угли. Землистые бурые угли представляют бесструктурную мелкозернистую бурую массу, легко крошащуюся и содержащую в естественном состоянии до 50 % воды. Лигниты, в отличие от землистых бурых углей, хорошо сохранили микроструктуру дерева. В большинстве случаев они имеют бурый цвет и волокнистый излом. Блестящие бурые угли по внешнему виду очень похожи на каменные из-за черного цвета, характерного блеска и представляют плотную однородную массу с раковистым изломом [5].

Состав органической массы бурых углей различных месторождений меняется в значительной степени. Бурые угли являются наименее обуглероженным видом ископаемых углей (содержание углерода в горючей массе 65–78 %, водорода 4,3–6,3 % и кислорода 16–27 %, азота 0,6–1,7 %, серы 0,2–2,7 %) [2, 17]. Они характеризуются высокой влажностью (до 60 %) при большом колебании зольности (от 7–10 % до 38–40 % на рабочее топливо). Вследствие этого колеблется и теплота сгорания бурых углей, добываемых в различных районах страны в пределах от 6500 до 18500 кДж/кг [5].

Месторождения бурых углей в России распространены повсеместно с весьма большими запасами. В Канско-Ачинском бассейне запасы бурых углей оцениваются в 600 млрд т, из которых 140 млрд т можно добывать открытым способом [5]. В Тунгусском бассейне сосредоточено несколько триллионов тонн бурого угля. Также крупные залежи бурых углей расположены в центральной зоне Российской Федерации и на Дальнем Востоке. Суммарные запасы бурых углей в Томской области достигают 75,7 млрд т, что составляет 5 % от всего объема разведанных ресурсов бурых углей России [2].

Высокое содержание влаги и низкая прочность бурых углей затрудняет их транспортировку на большие расстояния [22], таким образом, бурые угли следует относить к категории местных топлив. Однако разработка технологии по переработке бурых углей в транспортабельное топливо, в сочетании с новыми способами сжигания (например, в кипящем слое) существенно расширит возможности их перевозки и сделает более эффективным их сжигание.

1.2 Проблемы энергетического использования низкосортных видов топлива традиционными методами

При сжигании НТ затрудняется работа систем пылеприготовления, топливоподачи, топочных и горелочных устройств, поверхностей нагрева, а также устройств, расположенных за котлом (дымососы, золоуловители, системы гидрозолоудаления) [5].

Для сжигания НТ с повышенным содержанием влаги должна организовываться его предварительная подсушка, однако это не всегда является эффективным, и тогда возникает необходимость в разработке принципиально новых систем топливоподачи. Для повышения реакционной способности топлива необходимо увеличивать глубину размола сырья, что может достигаться в основном только за счет установки дополнительных мельниц или сооружения отдельного пылезавода, что приводит к значительным капиталовложениям [5].

Высокая влажность и зольность низкосортного топлива, а так же его низкая реакционная способность приводят к увеличению механического недожога на 3–4 % [5]. В свою очередь повышенные значения зольности топлива способствуют росту выбросов золы в атмосферу. При этом коэффициент полезного действия (КПД) брутто котла в целом снижается на 5–7 % [5].

1.3 Альтернативные методы вовлечения низкосортных видов топлива в энергетический баланс

Одним из наиболее просто внедряемых и малозатратных методов сжигания НТ является модернизация сбросных горелок с установкой в них мазутных форсунок. Применение таких горелок позволяет сжигать топливо существенно более низкого качества, чем проектное, со сниженными потерями теплоты от механического недожога. При этом сжигание сырья происходит с довольно малыми расходами мазута [5].

Также одним из способов использования низкосортных видов топлива является сжигание в низкотемпературных вихревых топках (НВТ). При этом способе сжигания благодаря интенсивной внутритопочной рециркуляции газов и многократной циркуляции горящих частиц в вихре происходит растягивание зоны горения топлива по топочному объему. Это приводит к выравниванию поля температур и снижению температурного уровня топочного процесса. Максимальный температурный уровень составляет 1210–1230 °С, а температура на выходе из топки 880–900 °С [5]. При этом до 75 % топлива выгорает в вихревой зоне топки. Данная схема позволяет избежать шлакования и заноса как топки, так и конвективных поверхностей нагрева, обеспечивает приемлемый диапазон регулирования нагрузок. К недостаткам НВТ относятся затруднения, возникающие при сжигании топлив с малым выходом летучих, а также высоковлажных топлив. В связи с этим в НВТ желательно подавать подсушенное топливо [23, 24].

Самым распространенным способом сжигания НТ является сжигание в слоевых топках в кипящем слое. В таких топках могут быть сожжены

практически любые виды низкосортного энергетического топлива. Кипящий слой создается с помощью специально вводимого в котел зернистого материала, который может быть как инертным (песок), так и представлять собой активное вещество (кальцит, доломит), связывающее серу [25]. К существенным преимуществам котлов с кипящим слоем следует отнести практически полное отсутствие шлакования и заноса поверхностей нагрева, как в слое, так и в конвективных газоходах, даже при сжигании высокошлакующих топлив [26]. К недостаткам – трудности, возникающие при сжигании в кипящем слое спекающегося топлива, обусловленные спеканием отдельных частиц в монолитный слой на решетке. Также стоит отметить, что влага топлива, подаваемого в кипящий слой, значительно снижает температуру процесса горения, что приводит к высокому значению потерь теплоты с механическим недожогом в случае однократного прохождения частицы через котел. В связи с этим в кипящий слой желательно подавать подсушенное топливо [5].

Другим вариантом реализации низкосортного топлива является его облагораживание и уже последующее сжигание с целью повышения эффективности его использования. Облагораживание НТ достигается уменьшением его влажности, зольности, сернистости, а также за счет стабилизации состава топлива, в результате чего возрастает его теплотенность [5, 27].

Методы облагораживания низкосортных топлив можно подразделить на физические и термические. Физический метод не затрагивает структуру горючей части топлива и включает в себя такие процессы, как обогащение путем удаления части минеральных примесей из топлива, подсушивание, удаление пиритной серы [27, 28, 29].

Термический метод предусматривает частичное или полное разложение НТ путем его нагрева при определенных условиях [5]. К методу термического облагораживания относятся пиролиз, газификация, термическое растворение, гидрогенизация, в результате которых получаются новые, более ценные виды

топлива и сырья (горючий газ, полукокс, смола, термоуголь). Одним из самых распространенных видов термической переработки является пиролиз низкосортного сырья [27, 28].

Пиролиз представляет собой процесс термического разложения органического сырья без доступа окислителя (воздуха) при температуре 450–1050 °С [5]. В результате пиролиза образуется газ с высокой теплотой сгорания, величина которой колеблется в пределах 3050–5000 ккал/нм³, но может достигать и 6000–8000 ккал/нм³ [30]. Стоит отметить, что теплосодержание сгенерированного газа обычно не превышает 25 % от теплосодержания перерабатываемого органического низкосортного сырья. Оставшаяся часть энергии распределяется между образующейся жидкой и твердой фазой. Жидкая фаза процесса пиролиза (смола) является небезопасной с экологической точки зрения, в результате чего возникает необходимость либо в утилизации данного продукта, либо в его переработке [17, 31].

Полукокс, образующийся в результате облагораживания сырья, представляет собой твердую фазу процесса пиролиза. Выход полукокса может достигать 60–70 % [30] от массы перерабатываемого топлива, что делает его основным продуктом переработки. Полукокс в дальнейшем может использоваться в качестве энергетического топлива, как в исходном виде, так и в виде топливных брикетов, получаемых прессованием [17, 31].

Таким образом, полукокс, образующийся в результате процесса пиролиза, по сравнению с исходным сырьем обладает такими преимуществами, как более высокая теплота сгорания и низкое значение влажности. В свою очередь, при формовке полукокса в брикеты решается проблема его транспортировки, а при сжигании брикетов не возникают проблемы, наблюдаемые при сжигании спекающихся топлив.

Исходя из всего вышесказанного, в дальнейшем будет рассматриваться такой вид термообработки топлива, как пиролиз, который позволяет получать полукокс лучшего качества, по сравнению с исходным сырьем.

2 Теоретические основы термической переработки низкосортного органического топлива

Термическая переработка представляет собой совокупность методов и способов преобразования исходного сырья в конечный продукт на основе изменения теплового состояния перерабатываемого НТ [32].

Суть термической переработки заключается в разложении низкосортного органического сырья путем его нагрева. В результате данной переработки органическая масса претерпевает сложные превращения, и образуются твердая, жидкая и газообразная фазы [5, 2, 33, 31].

2.1 Пиролиз низкосортного органического топлива

В результате процесса пиролиза образуются следующие продукты: полукокс, смола и полукоксовый газ [5, 17, 30, 34].

Полукокс представляет собой твердый остаток с содержанием летучих до 15 % на рабочую массу. Содержание полукокса может достигать 60–70 % от общего веса сгенерированных продуктов пиролиза [30]. Благодаря развитой пористой поверхности полукокс обладает большой реакционной способностью и легко воспламеняется. Данная особенность позволяет использовать его как бытовое бездымное топливо. Также полукокс может применяться в металлургической промышленности как спекающаяся добавка [17]. Основным недостатком данного продукта пиролиза является его слабая механическая прочность, что затрудняет его транспортировку на дальние расстояния [17, 30].

Смола представляет собой жидкий продукт полукоксования темно-бурого цвета, содержащего главным образом парафины, олефины, нафтенy, фенолы и др. Физические и химические свойства сгенерированной смолы полностью зависят от химической природы перерабатываемого сырья и от условий проведения пиролиза, главным образом от температуры и давления в рабочей зоне. Содержание полукоксовой смолы колеблется в пределах 5–20 % от общего веса сгенерированных продуктов пиролиза [30]. Из полукоксовой

смолы при соответствующей переработке производятся такие ценные продукты, как моторное топливо и масло, фенолы, парафин.

При пиролизе угля генерируются такие остатки каменноугольной смолы, как каменноугольные фусы, которые в дальнейшем могут быть использованы как связующий материал при изготовлении брикетного топлива. А при перегонке каменноугольной смолы можно получить каменноугольный пек, который будет использоваться также при изготовлении брикетного топлива с целью обеспечения влагостойкости данного продукта [2].

Также многие другие продукты, получаемые при переработке смолы, находят свое применение в парфюмерии, сельском хозяйстве, в промышленности пластических масс и искусственного волокна [30].

Полукоксовый газ, получаемый при пиролизе твердого топлива, обладает высокой теплотой сгорания, которая достигает $6000\text{--}8000\text{ ккал/нм}^3$. Это объясняется тем, что в полученном газе в большом количестве содержится метан, а также непредельные углеводороды [17, 30]. Содержание газа достигает 25 % от общего веса сгенерированных продуктов пиролиза [30].

При пиролизе органического сырья, содержащего большое количество кислорода в горючей массе, выделяется большое количество углекислого газа (CO_2), сильно балластирующего газ. Однако путем промывки сгенерированного газа водой под давлением можно освободить его от большей части CO_2 . Таким образом, газы сухой перегонки топлива можно подразделить на газы с низким содержанием балласта (пиролиз углей, сланцев) и с высоким содержанием балласта (пиролиз древесины, торфа) [17].

Например, газ полукоксования, получаемый при пиролизе мелкозернистого сланца, характеризуется следующим составом: 14% CH_4 ; 11% C_2H_6 ; 8% $\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_5\text{H}_{12}$; 16% C_2H_4 ; 15% $\text{C}_3\text{H}_6 + \text{C}_4\text{H}_8 + \text{C}_5\text{H}_{10}$; 16% H_2 ; 10% CO ; 4% CO_2 ; 6% N_2 [17]. После выделения непредельных углеводородов для использования в химической промышленности получают остаточный полукоксовый газ, который относится к газам с высокой теплотой сгорания, величина которой в среднем равняется 6500 ккал/нм^3 [30].

2.2 Факторы, влияющие на параметры термической переработки

На процесс пиролиза твердого топлива влияют такие факторы, как природа его происхождения, температура процесса, скорость нагрева частиц топлива и их размер, давление и наличие катализатора [2, 30].

Происхождение топлива влияет на выход и качество продуктов полукоксования. К примеру, чем больше кислорода содержится в составе исходного сырья, тем больше полукоксового газа будет образовываться на выходе в процессе пиролиза [30]. Также на процесс пиролиза оказывает влияние возраст топлива: чем моложе топливо, тем больше в нем содержание кислорода и тем ниже температура полукоксования.

С увеличением температуры пиролиза наблюдается больший выход полукоксового газа, при этом выход смолы снижается [30]. Это объясняется тем, что при более высоких температурах происходит разложение части жидких продуктов, преобразующихся в газ. Также с ростом температуры пиролиза наблюдается увеличение суммарного содержания водорода (H_2) и угарного газа (CO) в полукоксовом газе [2].

Скорость нагрева топлива оказывает существенное влияние на процесс пиролиза. Согласно [2] при быстром нагревании частиц органического топлива количественный выход продуктов термической переработки будет всегда меньше, чем при медленном нагревании. Однако изменение скорости нагрева органического сырья в современных промышленных котлоагрегатах не приводит к значительному изменению количественного и качественного выхода продуктов полукоксования. Это объясняется применением крупнокускового топлива, которое невозможно быстро и равномерно прогреть. Применение мелкозернистого топлива позволяет интенсифицировать процесс нагрева твердых частиц.

Время, необходимое для протекания процессов полукоксования определяется главным образом размерами кусков органического сырья. При переработке мелкозернистого топлива время его термического разложения сокращается в 10–20 раз по сравнению с переработкой крупнокускового

топлива. Это объясняется тем, что для прогрева небольшого куска топлива до нужной температуры необходимо затратить меньше времени, чем для прогрева крупнокускового топлива. Также при пиролизе мелкозернистого сырья наблюдается увеличение выхода смолы и снижение выхода полукокса [2, 30].

Влияние давления на процесс термической переработки необходимо рассматривать отдельно на каждую стадию процесса – распад органического вещества топлива (первичные реакции) и вторичные реакции между выделившимися первичными продуктами. Согласно [30] давление не оказывает влияние на первичные реакции термической переработки. Изменение давления будет оказывать влияние на вторичные реакции, протекающие в газовом объеме. А именно, при повышении давления выход продуктов реакции будет оставаться неизменным, но будет наблюдаться изменение качества данных продуктов. Содержание в смоле и полукоксовом газе непредельных соединений уменьшится, также в смоле будет наблюдаться снижение количества легких фракций [2, 30].

Катализаторы представляют собой вещества, способствующие увеличению скорости протекания реакций термической переработки. Также катализаторы способны оказывать влияние на выход и качество продуктов полукоксования. Эффект, который будет оказывать тот или иной тип катализатора полностью зависит от природы данного катализатора и его количества.

2.3 Способы и устройства термической переработки низкосортного органического сырья

Методы термической переработки НТ определяются способом передачи тепла перерабатываемому сырью. Таким образом, существует два способа термической переработки сырья:

- за счет внутреннего обогрева – передача тепла сырью при непосредственном его соприкосновении с теплоносителем (рисунок 1, а);
- за счет внешнего обогрева – передача тепла сырью от теплоносителя через стенку печи (рисунок 1, б) [30].

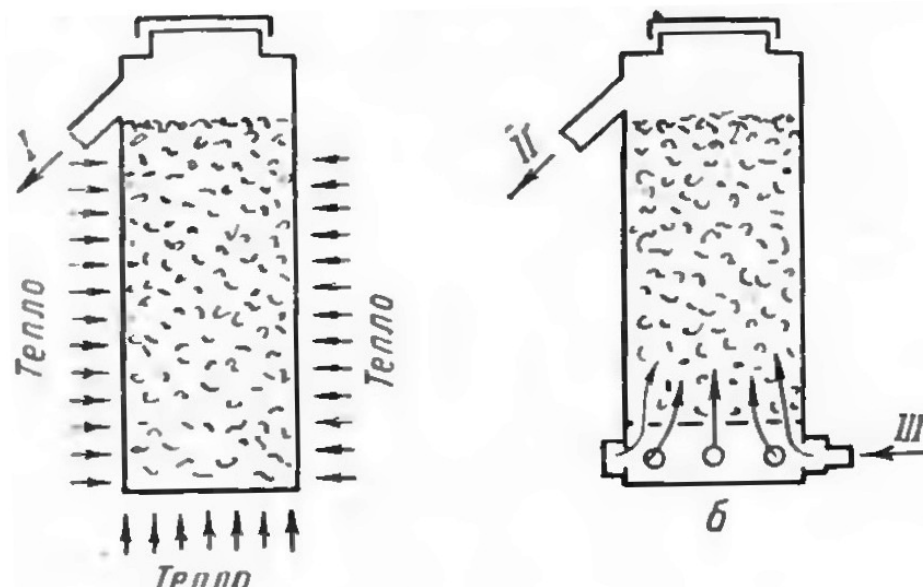


Рисунок 1 – Схема подвода тепла к топливу при термической переработке [30]:

а – внешний обогрев через стенку; б – внутренний обогрев теплоносителем;

I – летучие; II – летучие и теплоноситель; III – теплоноситель

С экономической и технической точки зрения метод термической переработки сырья с внутренним обогревом позволяет достичь следующих преимуществ перед переработкой с внешним обогревом:

- снижение расхода тепла на процесс самой переработки, а также снижение потерь тепла в окружающую среду;
- ускорение процесса переработки за счет равномерного прогрева всего объема сырья;
- ускорение процесса удаления парогазовых продуктов из зоны высоких температур, что предохраняет их от вторичного разложения и повышает выход смолы;
- снижение капиталовложений на установку и ее упрощение за счет отсутствия обогревательных каналов.

Однако печи с внутренним обогревом имеют свои недостатки. Смешение парогазовой смеси с газом-теплоносителем приводит к значительному увеличению объема охлаждаемого в конденсационной системе газа, что приводит к увеличению необходимого объема конденсационной аппаратуры [2, 30].

Печи с внешним обогревом, направленные на получение твердых продуктов, подразделяются на горизонтальные и вертикальные, те и другие печи могут быть вращающимися и неподвижными.

Примером вертикальной вращающейся печи может послужить печь Борзиг-Гейзена [30], в основу которой положен принцип полукоксования сырья с внешним обогревом в тонком слое. Данная печь обогревается дымовыми газами, получающимися при сжигании полукоксового газа в горелках. Благодаря вращению внутреннего цилиндра, который в свою очередь вращает тарелку, на которую подается сырье, слой топлива постепенно перемешивается, что способствует равномерному нагреву всех частиц топлива. Главным преимуществом печи является ее простота устройства и компактность, что дает возможность за короткий срок провести ее монтаж, пуск и разборку.

Также примером печи с внешним обогревом может служить кашпирская ретортная печь [30, 35]. Данная печь, как и печь Борзиг-Гейзена, является вертикальной, но главным ее отличием является то, что она неподвижная.

По конструктивным признакам печи с внутренним обогревом делятся также, как и печи с внешним обогревом – на вертикальные и горизонтальные. Однако данные печи являются неподвижными, так как отпадает необходимость в перемешивании топлива [30].

Примером печи с внутренним обогревом может послужить двухзонная шахтная печь [30], предназначенная для переработки каменных и бурых углей, торфа и горючих сланцев. В данной печи в качестве теплоносителя используется полукоксовый газ, нагретый в рекуператоре до 600 °С. Основным преимуществом данной печи является то, что газообразные продукты переработки довольно быстро выводятся из объема топлива, что предотвращает их вторичное разложение. Поэтому в данных печах наблюдается большой выход смолы хорошего качества.

Также за счет подачи теплоносителя в слой топлива происходит его активное перемешивание, что приводит к равномерному прогреву сырья.

Главным недостатком подобной печи являются большие габариты рекуператоров, необходимых для подогрева теплоносителя – полукоксового газа [30].

Также способы термической переработки НТ можно классифицировать по типу используемого теплоносителя, а именно – газообразный, жидкий или твердый.

В качестве газообразного теплоносителя могут быть использованы газ полукоксования, водяной пар, топочные газы, а также воздух, предварительно подогретый до температуры 700–800 °С [30].

В качестве жидкого теплоносителя применяют расплавы шлака, солей и металлов, достоинствами которых являются хороший контакт с топливом и простота регулирования температуры расплава.

В качестве твердого теплоносителя могут быть использованы песок, металлическая дробь и другие различные инертные или малоактивные материалы в пылевидном или мелкозернистом состоянии. Также может быть использован полукокс, в таком случае часть его выводится в качестве готового продукта, а часть остается в печи для смешения со свежим топливом [2, 30].

Современным представителем устройства термической переработки является установка пиролиза резинотехнических отходов [36]. В состав данной установки входит неподвижная вертикальная печь-реактор с внешним обогревом.

Реактор обогревается за счет сжигания смолы, образующейся в результате процесса пиролиза. Другим продуктом переработки является газ, который проходит очистку в сепараторе и подается на сжигание в котел-утилизатор с целью получения горячей воды, которая в дальнейшем используется для собственных нужд предприятия. Образующийся технический углерод ссыпается в контейнер выгрузки реактора и после дополнительной обработки используется для производства резинотехнических изделий, красителей, пластмасс, красок [36, 37].

К достоинствам разработанного способа пиролиза относится непрерывная работа реактора, что позволяет поддерживать постоянным выход продуктов переработки, а отдельная система конденсации и выделения топливных фракций дает возможность получать качественное жидкое и газообразное топливо [36].

Согласно [38] наиболее рентабельным и высокоэффективным способом термической переработки древесных отходов является пиролиз в печах ретортного типа непрерывного действия. Данная печь является вертикальной и неподвижной, а основным продуктом переработки является коксовый остаток – древесный уголь [38].

В состав установки входят камера горения, шесть отсеков сушки и восемь отсеков пиролиза. Принцип работы данной установки заключается в следующем: реторты с сырьем при помощи крана загружаются в отсеки сушки, затем переставляются в пиролизные отсеки, где начинается процесс пиролиза, по завершению процесса пиролиза реторты с готовым продуктом (древесный уголь) выгружаются краном на площадку для остывания. Процесс термической переработки осуществляется за счет тепла, получаемого в результате сжигания пиролизного газа [38].

Данная установка термического разложения низкокачественной древесины и древесных отходов позволяет эффективно перерабатывать сырье в древесный уголь с выходом до 28 % по массе [38].

Основным продуктом термической переработки применительно к слоевому сжиганию является полукокс, для получения которого, как правило, используются печи с внешним обогревом [30]. Таким образом, наиболее приемлемым считается использование печей с внешним обогревом вертикального исполнения, как наиболее простых и более компактных. К тому же вертикальное исполнение печи упрощает процесс загрузки и выгрузки сырья в реактор.

3 Методические основы экспериментальных исследований термической переработки низкосортного органического топлива

Методика проведения термической переработки топлива включает в себя определение характеристик исходного органического сырья, проведение физических экспериментов и определение характеристик продуктов переработки [39].

Вышеперечисленные стадии термической переработки органического сырья представлены в виде структурной схемы на рисунке 2.

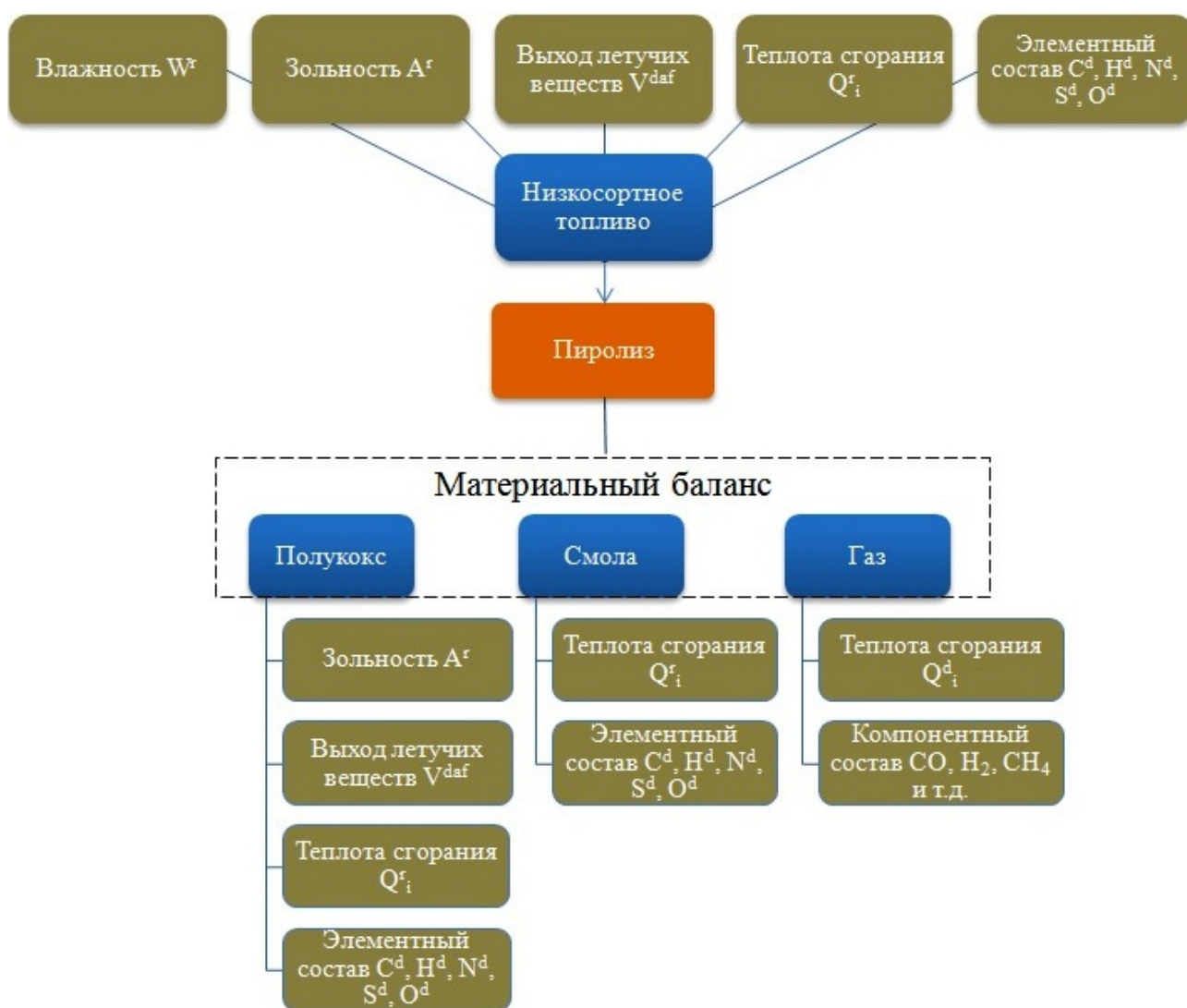


Рисунок 2 – Структурная схема стадий термической переработки органического сырья

3.1 Определение теплотехнических характеристик исходного органического топлива

Определение теплотехнических характеристик исходного сырья производят по следующим методикам: влажность (W^r) – по ГОСТ Р 52911-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги», зольность (A^r) – по ГОСТ Р 55661-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение зольности», выход летучих веществ (V^{daf}) – по ГОСТ Р 55660-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ». Теплоту сгорания (Q_i^r) низкосортного топлива определяют на бомбовом калориметре АБК-1 по ГОСТ 147-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания» [40–44].

Элементный состав органической части (C^d, H^d, N^d, S^d, O^d) определяют на элементном анализаторе «VarioMicroCube», по которому производят расчет теплоты сгорания сухой беззольной массы топлива по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_i^{daf} = 340 \cdot C^{daf} + 1030 \cdot H^{daf} - 109 \cdot (O - S)^{daf}.$$

Значения теплоты сгорания, вычисленные по формуле Д.И. Менделеева и определенные в калориметре, сравниваются: согласно [10] расхождение этих результатов менее чем на 630 кДж/кг для топлива зольностью до 25 % и 840 кДж/кг для топлива зольностью более 25 % свидетельствует об адекватности полученных величин.

3.2 Термическая переработка органического сырья

Термическую переработку исходного органического сырья осуществляют по ГОСТ 3168-93 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода продуктов полукоксования» на экспериментальной установке, представленной на рисунке 3.

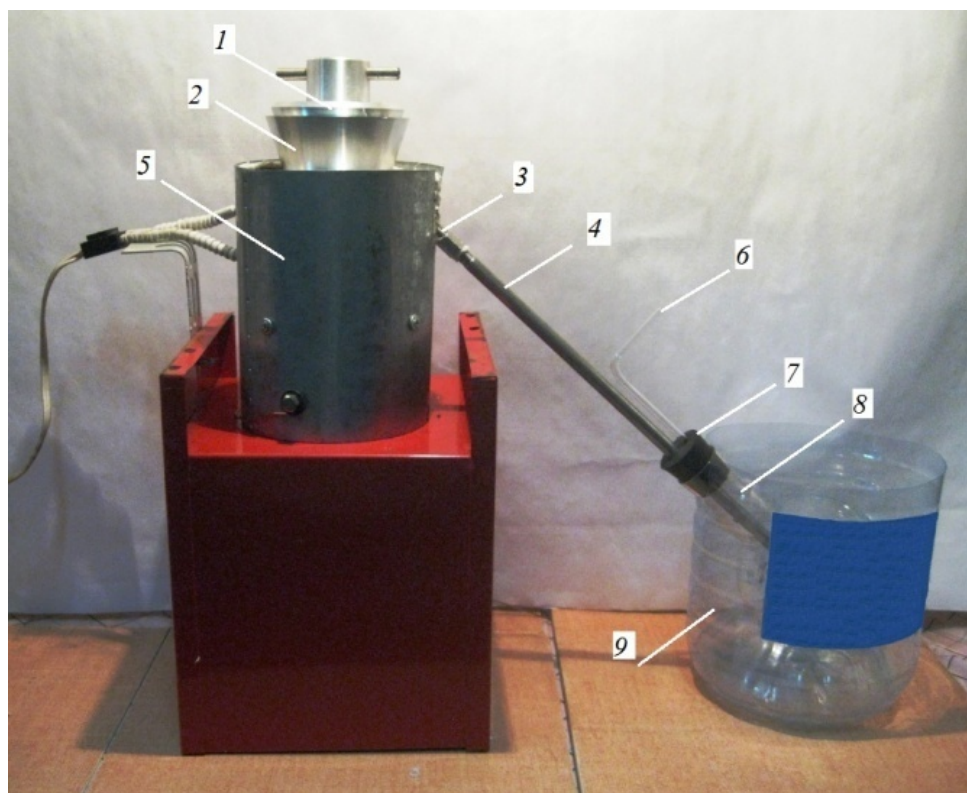


Рисунок 3 – Экспериментальная установка термической переработки органического сырья:

1 – крышка реторты; 2 – реторта; 3 – выходная трубка; 4 – отводная трубка;
5 – нагревательный элемент; 6 – газоотводная трубка; 7 – термостойкая пробка;
8 – колба-приемник; 9 – баня-сосуд для охлаждения

Сущность данного метода переработки заключается в том, что пробу топлива загружают в реторту 2, которую плотно закрывают крышкой 1. Для организации процесса термической переработки реторту помещают в нагревательный элемент 5 и греют до температуры 520°C в течение 80 минут. Образующиеся продукты термической переработки поступают по отводной трубке 4 в колбу-приемник 8, расположенную в бане-сосуде для охлаждения 9. В результате охлаждения смола и вода конденсируются, а газообразные вещества отводятся по газоотводной трубке 6 в пакет для сбора газа. Полукокс, оставшийся в реторте после процесса переработки, взвешивают [45].

Нагревательный элемент должен обеспечивать нагрев реторты в соответствии с ГОСТ 3168-93 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода продуктов полукоксования» (рисунок 4) [45].

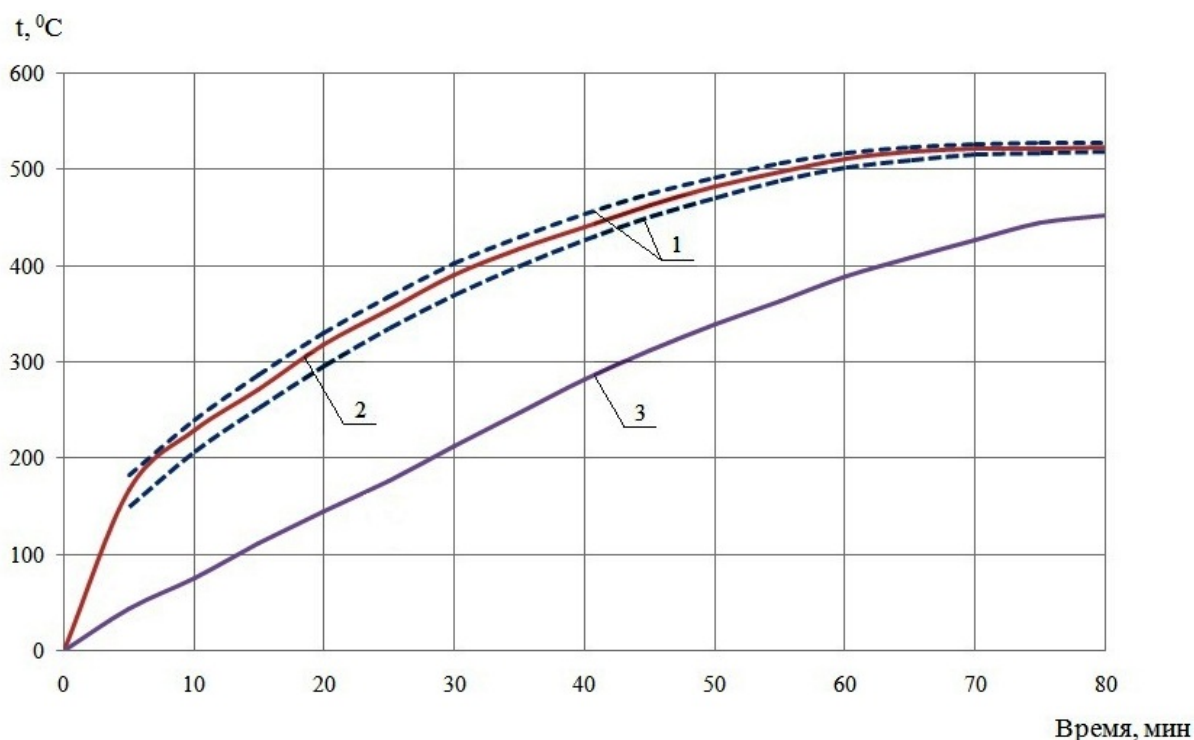


Рисунок 4 – График нагрева экспериментальной установки:

- 1 – предельные значения нагрева реторты согласно ГОСТ 3168–93;
 2 – температура нагрева сконструированной реторты; 3 – температура, измеренная внутри реторты

Термическую переработку органического сырья проводят в следующей последовательности [45]:

а) производят отбор и подготовку пробы по ГОСТ 10742 и ГОСТ 11303, пробу высушивают до воздушно-сухого состояния и измельчают до фракции 0,2–1,0 мм;

б) анализируемую пробу взвешивают, измеряют аналитическую влажность (W^a) и полностью переносят в реторту;

в) крышкой герметично закрывают реторту, устанавливают термопару в специально предназначенное отверстие и подключают к термометру;

г) колбу-приемник взвешивают и присоединяют к реторте с помощью термостойкой пробки и выходной и отводной трубок, после чего производят теплоизоляцию выходной и отводной трубок с помощью асбестового шнура;

д) затем колбу-приемник погружают в баню-сосуд для охлаждения, которую заполняют холодной водой, после чего проверяют герметичность всей

собранной установки, и устанавливают газосборный пакет на газоотводную трубку для сбора генерируемых газообразных веществ;

е) включают нагревательный элемент, в результате чего нагревают реторту в соответствии с рисунком 4;

ж) в конце указанного периода нагревательный элемент выключают, удаляют баню-сосуд, затем отводную трубку слегка нагревают газовой горелкой, что позволяет стечь остаткам смолы в колбу-приемник;

з) колбу-приемник отсоединяют от реторты, после чего установка охлаждается до комнатной температуры;

и) полукоксы извлекают из реторты, взвешивают и упаковывают в герметичную тару;

к) удаляют воду, оставшуюся на внешней стороне стенки колбы-приемника, колбу взвешивают, в результате чего определяют суммарную массу смолы и воды;

л) воду отфильтровывают на бумажных фильтрах и определяют массу смолы, после чего смолу упаковывают в герметичную тару;

м) затем газ из газосборного пакета вводят в хроматограф для последующего анализа;

н) на заключительном этапе установку чистят, промывают и сушат.

Приведенная последовательность термической переработки органического сырья применима к единичному эксперименту. Эксперименты по термической переработке одного и того же вида органического сырья согласно ГОСТ 3168-93 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода продуктов полукоксования» проводят не менее 2-х раз. При этом значения максимально допустимых расхождений между результатами экспериментов составляют для смолы 0,7 %, для пирогенетической воды 0,8 %, для полукокса 1 %. Если расхождения между результатами 2-х экспериментов превышают вышеприведенные значения, то проводят 3-й эксперимент. За результат анализа принимают среднее арифметическое значение двух наиболее близких результатов в пределах допускаемых расхождений [45].

3.3 Определение теплотехнических характеристик продуктов термической переработки

Определение теплотехнических характеристик углеродистого остатка и пиролизной смолы производят аналогично исходному сырью по методикам ГОСТ Р 52911-2013, ГОСТ 55661-2013, ГОСТ 55660-2013, ГОСТ 147-2013.

Элементный состав продуктов термической переработки определяют на элементном анализаторе «VarioMicroCube» по той же методике, которая была применена для определения элементного состава исходного НТ.

Состав газа, получаемого при облагораживании органического сырья, определяют посредством газовой хроматографии на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2».

Теплоту сгорания 1 м³ полученного газа (в кДж/м³) рассчитывают по формуле:

$$Q_i^d = 0,01 \cdot (Q_{H_2} \cdot H_2 + Q_{CO} \cdot CO + Q_{CH_4} \cdot CH_4 + \sum Q_{C_m H_n} \cdot C_m H_n),$$

где $H_2, CO, H_2, CH_4, C_m H_n$ – содержание отдельных компонентов в газовой смеси в % по объему;

$Q_{H_2}, Q_{CO}, Q_{CH_4}, Q_{C_m H_n}$ – теплота сгорания отдельного газового компонента, кДж/м³.

3.4 Материальный баланс термической переработки низкосортного органического топлива

Материальный баланс термической переработки основан на законе сохранения массы: сумма масс продуктов термической переработки равна массе исходного органического топлива. Таким образом, для составления материального баланса необходимо знать массу исходного органического топлива и массы продуктов термической переработки.

Массу исходного органического топлива устанавливают путем его взвешивания перед загрузкой в установку. Также перед началом эксперимента определяют влажность топлива (W^a) и рассчитывают массу сухого НТ.

Масса влаги исходного органического топлива равна:

$$m_{H_2O} = m_0 \cdot W^a, \text{ г},$$

где m_0 – масса навески исходного сырья, г.

Таким образом, масса сухого исходного органического топлива равна:

$$m_{0.\text{сух}} = m_0 - m_{H_2O}, \text{ г}.$$

Массы полученных при термической переработке продуктов полукоксования, а именно, углеродистого остатка, пирогенетической влаги и смолы, устанавливают путем их взвешивания. При этом после проведения эксперимента влага исходного органического топлива, пирогенетическая влага и смола находятся вместе в колбе-приемнике в виде пиролизного конденсата.

Массу пиролизного конденсата (m_k) определяют путем взвешивания колбы-приемника с пиролизным конденсатом ($m_{k+кп}$) и последующим вычитанием массы колбы-приемника ($m_{кп}$):

$$m_k = m_{k+кп} - m_{кп}, \text{ г}.$$

Затем для определения массы смолы ($m_{см}$) пиролизный конденсат фильтруют, после чего определяют массу смолы, образованной в результате термической переработки:

$$m_{см} = m_k - m_{H_2O} - m_{пв}, \text{ г},$$

где $m_{пв}$ – масса пирогенетической влаги, г.

Для определения массы пирогенетической влаги необходимо из массы пиролизного конденсата вычесть массу смолы и массу влаги исходного органического топлива:

$$m_{пв} = m_k - m_{см} - m_{H_2O}, \text{ г}.$$

Массу газа, образующегося при переработке, определяют по формуле:

$$m_{г} = m_{0.\text{сух}} - m_{пк} - m_{см} - m_{пв}, \text{ г},$$

где $m_{пк}$ – масса полукокса, г.

По результатам термической переработки составляют материальный баланс, который имеет вид:

$$m_0 = m_{\text{ПК}} + m_{\text{СМ}} + m_{\text{Г}} + m_{\text{ПВ}} + m_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ г.}$$

В процентном отношении материальный баланс можно записать в виде:

$$\left(\frac{m_{\text{ПК}}}{m_0} + \frac{m_{\text{СМ}}}{m_0} + \frac{m_{\text{Г}}}{m_0} + \frac{m_{\text{ПВ}}}{m_0} + \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_0} \right) \cdot 100 = 100\%.$$

Для более объективной оценки выхода продуктов термической переработки следует записывать материальный баланс, приведенный на сухую массу исходного топлива, в виде:

$$\left(\frac{m_{\text{ПК}}}{m_{0.\text{сух}}} + \frac{m_{\text{СМ}}}{m_{0.\text{сух}}} + \frac{m_{\text{Г}}}{m_{0.\text{сух}}} + \frac{m_{\text{ПВ}}}{m_{0.\text{сух}}} \right) \cdot 100 = 100\%.$$

3.5 Тепловой баланс термической переработки низкосортного органического топлива

Тепловой баланс термической переработки основан на законе сохранения энергии. Таким образом, для составления теплового баланса необходимо знать теплотворную способность исходного сухого сырья, пиролизной смолы, полукокса, газа и теплоту парообразования пирогенетической влаги.

Теплотворная способность ($Q_{\text{исх}}^d$) 1 кг исходного сухого сырья ($m_{0.\text{сух}} = 1 \text{ кг}$) определяется по формуле:

$$Q_{\text{исх}}^d = m_{0.\text{сух}} \cdot Q_i^r \cdot \frac{100}{100 - W^a}, \text{ кДж,}$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания исходного топлива в пересчете на рабочее состояние, кДж/кг;

W^a – аналитическая влажность топлива, %.

Теплотворная способность пиролизной смолы ($Q_{\text{см}}^d$), образующейся при переработке 1 кг исходного сухого сырья, определяется по формуле:

$$Q_{\text{см}}^d = Q^d \cdot \frac{\omega_{\text{см}}}{100}, \text{кДж},$$

где Q^d – теплота сгорания 1 кг пиролизной смолы в пересчете на сухое состояние, кДж;

$\omega_{\text{см}}$ – выход пиролизной смолы при переработке 1 кг исходного сухого сырья, %.

Теплотворная способность полукокса ($Q_{\text{пк}}^d$), образующегося при переработке 1 кг исходного сухого сырья, определяется по формуле:

$$Q_{\text{пк}}^d = Q^{daf} \cdot \frac{100 - A^d}{100} \cdot \frac{\omega_{\text{пк}}}{100}, \text{кДж},$$

где Q^{daf} – теплота сгорания 1 кг полукокса в пересчете на сухое беззольное состояние, кДж;

A^d – зольность полукокса в пересчете на сухое состояние, %;

$\omega_{\text{пк}}$ – выход полукокса при переработке 1 кг исходного сухого сырья, %.

Теплотворная способность газа ($Q_{\text{газ}}^d$), образующегося при переработке 1 кг исходного сухого сырья, определяется по формуле:

$$Q_{\text{газ}}^d = Q^d \cdot \frac{\omega_{\text{газ}}}{100}, \text{кДж},$$

где Q^d – теплота сгорания 1 кг газа в пересчете на сухое состояние, кДж;

$\omega_{\text{газ}}$ – выход газа при переработке 1 кг исходного сухого сырья, %.

Теплота, затраченная на парообразование пирогенетической влаги, образующейся при переработке 1 кг исходного сухого сырья, определяется по формуле:

$$Q_{\text{пир.вл.}} = r_{\text{пир.вл.}} \cdot \frac{\omega_{\text{пир.вл.}}}{100}, \text{кДж},$$

где $r_{\text{пир.вл.}}$ – теплота парообразования 1 кг воды, кДж;

$\omega_{\text{пир.вл.}}$ – выход пирогенетической влаги при переработке 1 кг исходного сухого сырья, %.

В процессе термической переработки сырья протекают реакции, сопровождающие экзотермическим и эндотермическим эффектами [2]. Таким образом, при переработке сырья наблюдается выделение, либо поглощение некоторого количества тепла ($Q_{\text{тепл.эф.}}$), значение которого рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{тепл.эф.}} = Q_{\text{исх}}^d - Q_{\text{см}}^d - Q_{\text{пк}}^d - Q_{\text{газ}}^d - Q_{\text{пир.вл.}}, \text{ кДж.}$$

По результатам термической переработки составляется тепловой баланс, который имеет вид:

$$Q_{\text{исх}}^d = Q_{\text{см}}^d + Q_{\text{пк}}^d + Q_{\text{газ}}^d + Q_{\text{пир.вл.}} \pm Q_{\text{тепл.эф.}}$$

3.6 Пересчет результатов на различные состояния сырья

Пересчет результатов анализов для различных состояний сырья производится по ГОСТ Р 54245-2010 «Топливо твердое минеральное. Пересчет результатов анализа на различные состояния топлива».

3.7 Оценка погрешности измерений

Оценка погрешности результатов измерений, полученных согласно нормативным документам [40–44], проводится с учетом показателя воспроизводимости по формуле [46]:

$$\Delta_{\text{в(н)т}} = \pm 1,96 \cdot \sigma_{R_m}, \%$$

где $\sigma_{R_m} = \frac{R_m}{Q(P;n)}$ – показатель воспроизводимости методики анализа в виде среднеквадратичного отклонения (СКО), %;

R_m – показатель воспроизводимости методики анализа в виде предела воспроизводимости;

$Q(P;n)$ – коэффициент, зависящий от числа параллельных определений n и доверительной вероятности P (при $n=2$ и $P=0,95$ $Q(0,95; 2)=2,77$).

Для оценки качества результатов, полученных путем прямых измерений с многократными наблюдениями, применяются статистические методы оценки погрешности измерений по алгоритму, изложенному в [47], согласно которому при статистической обработке группы результатов измерений следует выполнить следующие операции (таблица 3):

- исключить грубые погрешности;
- вычислить среднее арифметическое результатов измерений $\bar{X}$;
- сделать оценку среднего квадратического отклонения результатов измерений $S(\bar{X})$;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности (случайной составляющей погрешности) результата измерений Δ .

Таблица 3 – Обработка результатов измерений

Результат параллельного измерения, размерность	Среднее арифметическое результатов измерений $\bar{X}$, размерность	Среднее квадратическое отклонение результатов измерений $S(\bar{X})$ при $P=0,95$, размерность	Доверительные границы случайной погрешности результатов измерений $\pm\Delta$ при $P=0,95$, размерность
X_1	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	$S(\bar{X}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n \cdot (n - 1)}}$	$\Delta = t \cdot S(\bar{X})$, где t – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P и числа результатов наблюдений n находят по [47].
X_2			
X_3			
...			
X_n			

Расчет погрешности определения выхода продуктов при термической переработке, а также расчет погрешности определения теплотехнических характеристик исходного сырья и продуктов термической переработки приведен в Приложении А.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического проекта (НТП), разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

6.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

По настоящее время существует проблема обеспечения топливом многих регионов России. Эти регионы, как правило, не имеют собственных запасов энергетически ценных топлив, и осуществляют энергообеспечение за счет привозных ресурсов, в стоимость которых включены транспортные издержки.

При этом практически в каждом регионе имеются в наличии собственные неиспользуемые ресурсы низкосортных видов топлива, такие как торф, низкокачественный бурый уголь, биомасса и отходы промышленных предприятий.

Разработанная установка дает возможность перерабатывать местные, неиспользуемые энергетические ресурсы в ТКТ, пригодное для последующего слоевого сжигания. Что в свою очередь позволяет обеспечить стабильным теплом и электричеством отдаленные поселки, расположенные в местности, где имеются, к примеру, торфяные болота, а строительство крупных тепловых источников с завозом газа или топочного мазута неэффективно.

Таким образом, за счет сооружения доступных потребителю автономных энергокомплексов, работающих на местных низкосортных топливно-энергетических ресурсах, можно добиться снижения расходов на теплоснабжение и снижение тарифов на электроэнергию.

6.2 Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта

Для того чтобы обеспечить получение прибыли в достаточном объеме на протяжении долгого периода времени необходимо четко представлять, кто является конечным потребителем, то есть определить целевой рынок.

Целевой рынок представляет собой группу людей или компаний, отобранных по определенным критериям, для которых разрабатывается и создается продукт [54].

Целевым рынком сбыта для разрабатываемого проекта являются предприятия, производящие в процессе своей работы какие-либо производственные отходы, пригодные для их последующего облагораживания с целью повышения эффективности их энергетического использования.

Таким образом, потенциальными потребителями результатов научно-технического проекта могут являться:

- сельскохозяйственные предприятия, такие как ООО «Сибирская ореховая компания», ООО «Агротеховощ», ООО «Колос»;
- лесозаготовительные и деревообрабатывающие предприятия, такие как ООО «Леспромхоз», ООО «Сиблесинвест», ООО «Проект-Лесстрой»;
- промышленные предприятия, административные учреждения, котельные, имеющие в непосредственной близости неиспользуемые залежи торфа.

6.3 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта

Для определения научно - технического уровня (НТУ) проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности необходимо, рассчитать коэффициент НТУ.

Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок. Суть метода состоит в присвоении каждому из признаков НТУ определенного числа баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик.

Общая оценка научно - технического уровня проекта определяется по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i,$$

где k_i – весовой коэффициент i -го признака;

$П_i$ – количественная оценка i -го признака.

Значения весового коэффициента НТУ и количественной оценки приведены в таблицах Б.1–Б.4 (Приложение Б).

Разрабатываемый проект имеет сравнительно высокий уровень новизны, тогда $П_1=8$ (таблица Б.2). Так как разрабатывается метод облагораживания топлива, то $П_2=6$ (таблица Б.3). Существует возможность реализации разрабатываемого проекта уже в течение первых 5 лет в различных отраслях, тогда $П_3=10$, $П_4=4$ (таблица Б.4).

Произведем общую оценку НТУ проекта:

$$НТУ = k_1 \cdot П_1 + k_2 \cdot П_2 + k_3 \cdot П_3 + k_4 \cdot П_4;$$

$$НТУ = 0,6 \cdot 8 + 0,4 \cdot 6 + 0,2 \cdot 10 + 0,2 \cdot 4 = 10.$$

Минимально возможное значение НТУ составляет 1,6, максимально возможное значение составляет 16,4. Таким образом, по полученному значению НТУ можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

6.4 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования;
- бюджет разработки;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с аналогами [55].

Целесообразнее проводить данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 8.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия В _і	Баллы			Конкуренто- способность		
		Б _Ф	Б _{К1}	Б _{К2}	К _Ф	К _{К1}	К _{К2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,11	3	4	4	0,33	0,44	0,44
Удобство в эксплуатации	0,06	4	5	5	0,24	0,3	0,3
Энергоэкономичность	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
Надежность	0,17	4	4	5	0,68	0,68	0,85
Универсальность	0,08	4	4	3	0,4	0,32	0,24
Безопасность	0,12	4	5	4	0,48	0,6	0,48
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
Цена	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	4	3	4	0,48	0,36	0,48
Послепродажное обслуживание	0,05	2	5	4	0,1	0,2	0,2
Итого	1				3,98	4,01	3,96

В качестве конкурентных разработок были рассмотрены установка для переработки и утилизации отходов методом низкотемпературного пиролиза «ЭкоФорт» компании «ЭкоПромСервис» B_{K1} и пиролизная установка утилизации отходов «Пиротекс» компании «Технокомплекс» B_{K2} . Разрабатываемый проект имеет обозначение в оценочной карте B_{Φ} [56, 57].

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 8, подбираются исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная [55].

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

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

Тогда конкурентоспособность разрабатываемого проекта по критерию оценки «Повышение производительности труда пользователя» составляет:

$$K_{\Phi} = B_1 \cdot B_{\Phi} = 0,11 \cdot 3 = 0,33.$$

Все рассчитанные значения конкурентоспособности сведены в таблицу 8.

Из анализа оценочной карты видно, что основными преимуществами разрабатываемого проекта являются его энергоэкономичность и цена. В свою очередь разрабатываемый проект уступает своим конкурентам по таким показателям, как удобство в эксплуатации и послепродажное обслуживание.

Таким образом, исходя из оценочной карты, можно сделать вывод, что разрабатываемый проект в целом является конкурентоспособным и перспективным на фоне своих конкурентов.

6.5 Планирование выполнения проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научно-технического проекта;
- определение участников каждой работе;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Для выполнения проекта формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей [55].

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках выполнения научно-технического проекта и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Этапы и содержание НТП

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1.1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Проведение теоретических исследований	2.1	Изучение и проработка вопроса «Низкосортное энергетическое топливо и проблемы его сжигания в слоевых топочных устройствах»	Инженер
	2.2	Изучение и проработка вопроса «Теоретические основы термической переработки низкосортного органического топлива»	Инженер
	2.3	Изучение и проработка вопроса «Методические основы экспериментальных исследований термической переработки низкосортного органического топлива»	Инженер
Проведение экспериментальных исследований	3.1	Определение теплотехнических характеристик исходного органического топлива	Научный руководитель, Инженер
	3.2	Изготовление экспериментальной установки по термической переработке органического сырья	Научный руководитель, Инженер
	3.3	Термическая переработка органического сырья	Научный руководитель, Инженер
	3.4	Определение теплотехнических характеристик продуктов термической переработки	Научный руководитель, Инженер
Обобщение результатов исследования и их оценка	4.1	Составление материальных балансов термической переработки и анализ результатов исследования	Научный руководитель, Инженер
Оформление отчета по научно-техническому проекту	5.1	Составление пояснительной записки	Инженер
	5.2	Публикация полученных результатов	Инженер

6.5.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников НТП. Трудоемкость выполнения НТП оценивается экспертным путем в человеко-днях, носит вероятностный характер и определяется по формуле [55]:

$$t_{\text{ож } i} = \frac{3 \cdot t_{\text{min } i} + 2 \cdot t_{\text{max } i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Тогда трудоемкость разработки технического задания составляет:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2 \text{ чел. - дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %. Таким образом, продолжительность каждой работы в рабочих днях определяется по формуле [55]:

$$T_{p\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где $T_{p\ i}$ – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Тогда длительность работ в рабочих днях на разработку технического задания составляет:

$$T_p = \frac{3,2}{1} = 3,2 \text{ дня.}$$

Все рассчитанные значения трудоемкостей и длительностей работ сведены в таблицу 10.

6.5.2 Разработка графика проведения научно-технического проекта

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности. Определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году:

$$T_{\text{кал}} = 365 \text{ дней};$$

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году:

$$T_{\text{вых}} = 52 \text{ дней};$$

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году:

$$T_{\text{пр}} = 14 \text{ дней}.$$

Тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22.$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

Таким образом, длительность работ в календарных днях на разработку технического задания составляет:

$$T_k = 3,2 \cdot 1,22 = 3,904.$$

Принимаем значение длительности работ в календарных днях на разработку технического задания равным:

$$T_k = 4 \text{ дня.}$$

Все рассчитанные значения длительностей работ сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Временные показатели проведения НТП

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители (Ч)	Длительность работ в рабочих днях (T_p)	Длительность работ в календарных днях (T_k)
	t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{ож}$, чел.-дн.			
Разработка технического задания	2	5	3,2	1	3,2	4
Проведение теоретических исследований	30	40	34	1	34	42
Проведение экспериментальных исследований	50	70	58	2	29	36
Обобщение результатов исследования и их оценка	5	10	7	2	3,5	5
Оформление отчета по научно-техническому проекту	15	20	17	1	17	21

По данным, представленным в таблице 10, строится календарный план-график. График строится с разбивкой по месяцам за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу (таблица 11) [55].

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НТП

Название работы	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ							
		ок-тябрь	но-ябрь	де-кабрь	ян-варь	фев-раль	март	апрель	май
Разработка технического задания	Научный руководитель	☐							
Проведение теоретических исследований	Инженер	☐							
Проведение экспериментальных исследований	Научный руководитель и инженер				☐				
Обобщение результатов исследования и их оценка	Научный руководитель и инженер							☐	
Оформление отчета по научно-техническому проекту	Инженер							☐	



– научный руководитель



– инженер

6.6 Расчет бюджета проекта

Методика проведения термической переработки топлива включает в себя определение характеристик исходного органического сырья, проведение экспериментов по термической переработке органического сырья и определение характеристик продуктов термической переработки.

Таким образом, расходы на реализацию проекта складываются из таких составляющих, как затраты на определение влажности, зольности, выхода летучих веществ, теплоты сгорания и элементного состава пробы. Также к расходам на реализацию проекта относятся затраты на проведение экспериментов по термической переработке, затраты, связанные с использованием профессиональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ) для обработки результатов исследования и заработная плата инженера и научного руководителя. Подробный расчет бюджета проекта приведен в Приложении Б.

Из расчетов бюджета проекта видно, что расходы на разработку проекта составляют 189576 рубля, что значительно меньше изначально планируемого бюджета проекта, равного 250 тысяч рублей. Достаточно низкая сумма расходов на разработку проекта говорит об экономически эффективном использовании денежных средств.

6.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научно-технического проекта. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Подробный расчет ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проекта приведен в Приложении Б.

Анализ полученных значений сравнительной эффективности разрабатываемого проекта, а также конкурентных разработок, указывает на высокую экономическую эффективность научно-технического проекта. А именно, разрабатываемый проект незначительно уступает конкурентам по интегральному показателю ресурсоэффективности ($I_{ркф}=3,97$, $I_{рк1}=4,32$, $I_{рк2}=4,08$), при этом значительно превосходит их по интегральному финансовому показателю ($I_{фин}^{исп.кф} = 0,84$, $I_{фин}^{исп.к1} = 1$, $I_{фин}^{исп.к2} = 0,93$).

6.8 Анализ результатов

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» произведено технико-экономическое обоснование научно-технического проекта, и представлены потенциальные потребители результатов проекта:

- сельскохозяйственные предприятия, такие как ООО «Сибирская ореховая компания», ООО «Агротеховощ», ООО «Колос»;
- лесозаготовительные и деревообрабатывающие предприятия, такие как ООО «Леспромхоз», ООО «Сиблесинвест», ООО «Проект-Лесстрой»;

– промышленные предприятия, административные учреждения, котельные, имеющие в непосредственной близости неиспользуемые залежи торфа.

Также произведена оценка научно-технического уровня проекта, на основании которой можно говорить о достаточно высокой научной ценности, технической значимости и эффективности проекта.

Произведен расчет трудоемкости и длительности выполнения работ, на основании которого построен календарный план-график проведения научно-технического проекта. Всего требуется 108 календарных дней на реализацию проекта.

Произведен расчет бюджета научно-технического проекта. Из расчетов видно, что расходы на разработку проекта составляют 189576 рубля, что значительно меньше изначально планируемого бюджета проекта, равного 250 тысяч рублей. Достаточно низкая сумма расходов на разработку проекта говорит об экономически эффективном использовании денежных средств.

В заключительной части раздела определяется сравнительная эффективность научно-технического проекта и конкурентных разработок. Анализ полученных значений сравнительной эффективности разрабатываемого проекта, а также конкурентных разработок, указывает на высокую экономическую эффективность научно-технического проекта. А именно, разрабатываемый проект незначительно уступает конкурентам по интегральному показателю ресурсоэффективности ($I_{ркф}=3,97$, $I_{рк1}=4,32$, $I_{рк2}=4,08$), при этом значительно превосходит их по интегральному финансовому показателю ($I_{фин}^{исп.кф} = 0,84$, $I_{фин}^{исп.к1} = 1$, $I_{фин}^{исп.к2} = 0,93$).

Список публикаций

1. Суздальцев В. Е. Методическое обеспечение исследования теплотехнологической переработки органического сырья // Молодая мысль – развитию энергетики: материалы I (XVI) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов, Братск, 19-22 Апреля 2016. - Братск: БрГУ, 2016 - С. 224-228.

2. Астафьев А. В. , Ибраева К. Т. , Суздальцев В. Е. Исследование термического разложения торфа применительно к брикетированию // Интеллектуальные энергосистемы: материалы IV Международного молодёжного форума. В 3т., Томск, 10-14 Октября 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1 - С. 178-182.

3. Суздальцев В. Е. , Вислогузов Р. А. , Долгов С. В. Численное исследование горелочного устройства беспламенного типа для огневой утилизации жидких углеводородных отходов // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы IV Российской молодежной научной школы-конференции: в 2 т., Томск, 1-3 Ноября 2016. - Томск: ЦРУ, 2016 - Т. 2 - С. 107-110.

4. Ибраева К. Т. , Астафьев А. В. , Суздальцев В. Е. Исследование тепловых эффектов при термическом разложении биомассы применительно к теплотехнологическому брикетированию // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы IV Российской молодежной научной школы-конференции: в 2 т., Томск, 1-3 Ноября 2016. - Томск: ЦРУ, 2016 - Т. 2 - С. 167-170.