

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

Институт Энергетический
Направление подготовки Энергетическое машиностроение
Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы

Исследование минеральной части угля Таловского месторождения и ее поведение при сжигании в энергетических котлах

УДК 622.7.016:621.182 2-66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ5А	Ведерников Михаил Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ташлыков А.А.	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>		
Р1	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>
Р2	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>
Р3	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>
Р4	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>
Р5	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>		
Р6	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>
Р7	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>
Р8	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>
Р9	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>
Р10	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 образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт: Энергетический
Направление подготовки: 13.04.03 Энергетическое машиностроение
Кафедра: парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ПГС и ПГУ

(Подпись) (Дата) Заворин А.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ5А	Ведерников Михаил Александрович

Тема работы:

Исследование минеральной части угля Таловского месторождения и ее поведение при сжигании в энергетических котлах

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3172/с от 18.05.2017 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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 особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1. Уголь Таловского месторождения.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор технологий сжигания; 2. Влияние минеральной части топлива на работу котла; 3. Методы исследования твердых топлив; 4. Обработка результатов исследования Таловского угля; 5. Прогноз поведения минеральной части угля при сжигании в энергетических котлах
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, и ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Грахова Елена Александровна ассистент кафедры менеджмента</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Бородин Юрий Викторович доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Исакова Юлия Ивановна доцент кафедры иностранных языков</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение 2. Влияние минеральной части топлива на работу котла; 3. Методы исследования твердых топлив; Заключение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>10.03.2017</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Ташлыков А.А.</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>10.03.2017</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5ВМ5А</p>	<p>Ведерников Михаил Александрович</p>		<p>13.03.2017</p>

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

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Ведерников Михаил Александрович

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	– Заказчиками исследования является ОАО «Томская генерация», Группа «Интер РАО», Томская ГРЭС-2; – Примерный бюджет проекта – 100 000 руб; – Для исследования необходимо два человека: руководитель, инженер.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	– В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; – Приказ № 87/од от 07.08.2015 «Об утверждении положения эксплуатации оборудования подразделений ТПУ»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды – 27,1% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	– Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование; – Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	– Планирование научно-исследовательских работ; – Бюджет научного исследования
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	– Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности исследований

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *График проведения НИИ*

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	Ведерников Михаил Александрович		

Реферат

Диссертация состоит из 138 страниц, 12 рисунков, 38 таблиц, 59 источников, трех приложений.

Ключевые слова: теплотехнические характеристики, энергетическое использование, уголь, минеральная часть, котлоагрегат, зольность, влажность, выход летучих, плавкостные характеристики.

Объектом исследования является Таловский бурый уголь, месторождение которого может стать альтернативным для энергетики Томской области.

Цель работы заключается в определении энергетических характеристик угля Таловского месторождения Томской области для создания базы данных по прогнозированию поведения угля при сжигании в энергетических котлах.

В процессе исследования проводилось изучение минеральной части Таловского угля рентгенофазовым анализом на дифрактометре ДРОН-2. Так же были определены основные энергетические параметры топлива согласно ГОСТ 27314-91, ГОСТ 11022-95, ГОСТ 2057-94, ГОСТ 6382-2001, ГОСТ 10538-87.

В результате исследования были определены основные минеральные компоненты и энергетические характеристики Таловского месторождения и проанализировано поведение минеральной части при сжигании топлива.

Обозначения и сокращения

ВУТ – водоугольное топливо;

ГРЭС – государственная районная электрическая станция;

КЕО – коэффициент естественной освещенности;

КПД – коэффициент полезного действия;

КПП – конвективный пароперегреватель;

НИР – научно-исследовательская работа;

НТВ – низкотемпературные вихревые технологии сжигания;

РФА – рентгенофазовый анализ;

РФС – рентгенофлуоресцентная спектрометрия;

ТЭК – топливно-энергетический комплекс

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ФОРЭМ – Федеральный оптовый рынок электроэнергии и мощности;

ЦКС – циркулирующий кипящий слой;

ШПП – ширмовый пароперегреватель;

ЭДС – электродвижущая сила.

Оглавление

Введение	13
Обзор технологий сжигания	16
2 Влияние минеральной части топлива на работу котла	26
2.1 Минеральная часть топлива	27
3 Методы исследования твердых топлив	31
3.1 Рентгеноструктурный анализ	31
3.2 Рентгенофлуоресцентная спектрометрия	34
3.3 Определение влажности	35
3.4 Определение зольности	36
3.5 Определение плавкостных характеристик золы	37
3.6 Определение выхода летучих	39
3.7 Химический анализ топлива	40
3.8 Элементный анализ топлива	40
3.9 Определение низшей теплоты сгорания	41
4. Обработка результатов исследования Таловского угля	44
5. Прогноз поведения минеральной части угля при сжигании в энергетических котлах	59
5.1 Основные закономерности преобразования компонентов минеральной части при сжигании	59
5.2 Прогнозирование свойств минеральной части при сжигании	60
5.3 Рекомендации по использованию Таловского угля как топлива ...	64
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	67
6.1. Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование	67
6.2 Анализ конкурентных технических решений	69
6.3 Планирование научно-исследовательских работ	71
6.4. Бюджет научного исследования	75
6.5 Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности проекта	79

6.6 Выводы по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	81
7 Социальная ответственность	82
7.1 Электробезопасность при работе на электрических установках ...	83
7.2 Радиационная безопасность	84
7.3 Освещение.....	85
7.4 Микроклимат помещения	87
7.5 Источники шума	89
7.6 Воздействие рентгеновского излучения на человека	89
7.7 Пожарная безопасность.....	90
7.8 Охрана окружающей среды	92
7.9 Расчет воздухообмена в жилых и общественных помещениях	93
7.10 Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла.	94
7.11 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	97
Заключение	99
Список публикаций	101
Список используемой литературы	102
Приложение А	109
Приложение Б.....	112
Приложение В	118

Введение

Современное состояние энергетики, представленное в «Энергетической стратегии России до 2035 года» показывает, что происходит ухудшение качества ресурсной базы топливных отраслей по мере истощения действующих месторождений, снижение размеров и качества новых геологических открытий, что увеличивает капиталоемкость освоения сложных и удаленных провинций [1]. Так же стоит отметить, что доля привозных энергоресурсов в некоторых региональных топливно-энергетических хозяйствах довольно высока. При этом затраты на транспортировку этих ресурсов закладываются в себестоимость продукции, увеличивая конечную стоимость топлива для энергетики в несколько раз, что приводит к увеличению тарифов тепло и электроснабжения [2].

В связи с этим следует уделять внимание изучению местных месторождений. Для этого осуществляют модернизацию существующих электростанций и котельных или ввод новых, работающих на таком виде топлива. Реализация указанных мер должна привести к снижению доли привозного топлива в 1,3–1,5 раза [2].

Исследование Таловского месторождения угля в Томской области может стать альтернативным вариантом решения привозного угля. Данный уголь относят к бурым марки Б1, Б2, который расположен в юго-восточной части Томской обл. в 25–50 км севернее г. Томска на площади 604 км² [3]. Таловское месторождение угля на сегодняшний день оценивается как относительно крупное, залежи которого содержат около 3,6 млрд. тонн. По прогнозам добыча угля этого месторождения может составить 8 млн. тонн в год [4].

В настоящее время имеется несколько способов максимального ориентирования региона на свои собственные возможности и свои энергоресурсы местного значения [3, 4]. В разработке есть проект, который может обеспечить 70 % недостающей электроэнергии за счет местных ресурсов – торфа и бурого угля [5]. Для этого планируют разработать Таловское

угольное месторождение за счет внешних инвестиций. Уже на базе этого сырья создать разрез, который будет добывать 10 млн. т. в год. Помимо подготовки и обогащения сырого бурого угля, планируют производить различные модификации топлива: полукокс и кокс посредством пиролиза угля и ВУТ. Предусматривается отработка различных технологий сжигания и использование перечисленных видов топлива с последующим переходом преимущественно на одно из них, или комбинирование нескольких.

В связи с этим изучение и развитие Таловского месторождения становится актуальным для Томской области, т.к. позволит заменить привозные угли на собственные на существующих тепло-электростанциях: ТЭЦ (г. Северск), затем перевод Томской ГРЭС-2 с газового сжигания топлива на угольное пылевидное, а также поставка угля, полукокса и ВУТ топлива на ближайшие котельные районного и поселкового значения. Так же возможно формирование новых дополнительных энергоустановок, полностью решающих проблему дефицита электроэнергии Томской области и даже частичной реализации ее излишков в энергосистему ФОРЭМ.

Для эффективного использования энергетического местного топлива требуется подробное изучение их теплотехнических характеристик и минеральной составляющей. Эти данные позволят прогнозировать поведение топлива при его использовании, а также спроектировать энергетическое оборудование, реализующее выбранный способ сжигания топлива.

Балласт топлива оказывает влияние на работу парового котла. Так, одним из факторов шлакования поверхностей нагрева и эрозийного износа являются минеральные компоненты топлива, образующие различные соединения при высоких температурах в топочной камере.

Для решения таких проблем, как проектирование котельных установок, перевод котла на новое непроектное топлива требуется всестороннее изучение исходного минерального состава и процессов термического превращения при горении позволяющих с большой уверенностью прогнозировать поведение минеральной части угля в топочном процессе [6, 7]. Именно установленные

специфики минеральной части различных месторождений, с учетом накопленного опыта энергетического освоения углей, позволяет определить принцип сжигания и конструктивные особенности котельных агрегатов, а также вспомогательного оборудования.

Цели настоящей работы: исследование энергетических характеристик и минеральной части угля Таловского месторождения Томской области и прогнозирование поведения угля при сжигании в энергетических котлах.

Цель достигалась решением следующих задач:

1. Проведение качественного РФА и количественного химического анализа минеральной части угля;

2. Прогноз влияния минеральной части угля при сжигании в энергетических установках.

Обзор технологий сжигания

1.1 Обзор технологий сжигания

В настоящее время в энергетической промышленности растет добыча угля, что говорит о его технологичности и конкурентоспособности на рынке. Однако в ТЭК существуют некоторые проблемы по использованию твёрдых топлив. К одной из таких проблем относится высокая стоимость углей высокого качества, к другой относится проблема сжигания низкосортных топлив

Учитывая эти проблемы необходимо обеспечить надежное и экономическое сжигание топлива на базе современных технологий теплогенерирующего оборудования.

На сегодняшний день выделяют следующие способы сжигания твердого топлива [8]:

- 1) Слоеое сжигание топлива;
- 2) В кипящем (псевдоожигенном) слое;
- 3) Факельное сжигание;
- 4) Циклонное (вихревое) сжигание.

Слоеое сжигание топлива можно отметить как самым старым способом сжигания кускового топлива. Этот способ применяется для сжигания твердого топлива на колосниковой решетке, через которую подают воздух необходимый для горения (см. рис. 1).

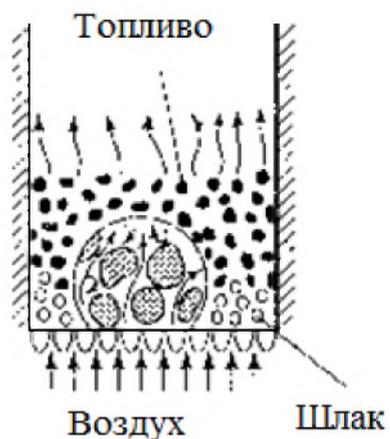


Рисунок 1 – Слоеое сжигание топлива

Слоеое сжигание можно разделить на несколько способов [9, 10]:

- топки с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижным топливом на ней (ручные и полумеханизированные топки, топки с шурующей планкой);
- топки с неподвижной колосниковой решеткой и перемещающимся по ней слоем топлива (наклонные и переталкивающие колосники, шахтные топки);
- с движущейся колосниковой решеткой, перемещающей лежащий на ней слой топлива (механизированные топки прямого и обратного хода).

В России слоевой способ сжигания угля получил широкое распространение, т.к. является простым в использовании и конструкции самой топки. К тому же топки с слоевым сжиганием могут быть компактными. В связи с этим, энергетические установки, которые применяют слоевой способ сжигания, имеют низкую стоимость. К преимуществу такого способа сжигания относят минимальное время активации горения и широкий диапазон регулирования мощности.

Одним из недостатков такого способа является то, что нельзя сжигать спекающиеся угли и угли с легкоплавкой золой, кроме того, для этого способа характерен высокий физический и химический недожог, вследствие чего возникает повышенный расход топлива и сильное загрязнение окружающей среды.

Факельное сжигание твердого топлива можно отнести к высокотехнологичным способам. Сжигание угля происходит в камере сгорания (см. рис. 2), в которую через горелки подается смесь измельченного топлива в пылевидном состоянии с воздухом. Конструкция используемых горелок в факельном сжигании играет большую роль. Для эффективного сжигания топлива горелки должны выполнять такие задачи как, хорошее перемешивание воздуха с топливом, регулирование производительности в заданных диапазонах, надежное воспламенение аэросмеси и чтобы факел распространялся по объему топочной камере равномерно.

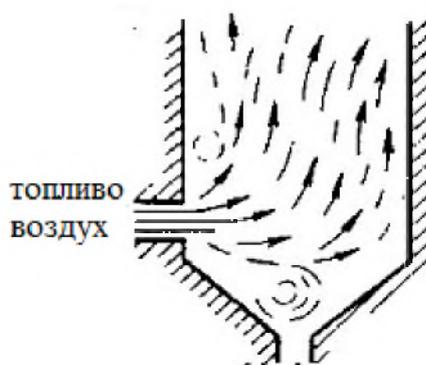


Рисунок 2 – Факельное сжигание топлива

На сегодняшний день стало актуальным двухступенчатое факельное сжигание. Такое сжигание позволяет снизить выброс оксидов азота. В таком методе зона горения разделена на две. В первой зоне подается топливо с недостатком кислорода, во вторую зону подается остальной воздух. С помощью этого способа сжигания, процесс горения проходит в обедненной среде кислорода, благодаря чему азотосодержащие компоненты в летучих переходят в соединение азота [11].

К плюсам ступенчатого и факельного сжигания относят: экономическое и эффективное использование многих сортов угля, в том числе, трудносжигаемые в слое. Благодаря хорошему перемешиванию воздуха с топливом при таком сжигании избыток воздуха составляет 1,2–1,25 [11].

Можно отметить полную автоматизацию топочного процесса, что обеспечивает простоту регулирования режима работы.

К недостатку факельного сжиганию относят необходимость предварительной подготовки топлива, что приводит к удорожанию технологического процесса. Так же можно отметить, что зольность и влажность топлива оказывает существенное влияние на зажигание смеси. Все это приводит к повышению удельного энергопотребления.

Сжигание топлива в кипящем слое (см. рис. 03), как и факельное сжигание относят к высокотехнологичному способу.

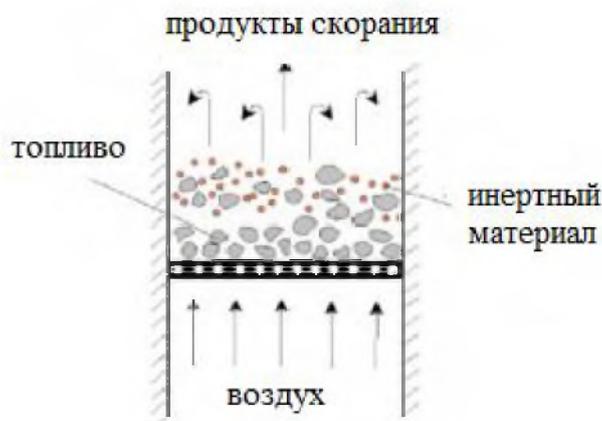


Рисунок 3 – Сжигание топлива в кипящем слое

Основной характерной особенностью технологии сжигания твердых топлив в кипящем слое является наличие значительного количества инертного материала в топке. При скорости газа, превышающей скорость минимального псевдооживления (сила лобового сопротивления соответствует силе тяжести), объем слоя увеличивается, образуются пузырьки газа. Этот режим соответствует пузырьковому кипящему слою [10]. При дальнейшем росте скорости газа пузырьки сливаются, частицы над слоем объединяются в группы с высокой концентрацией. Этот случай соответствует турбулентному кипящему слою. Если частицы улавливаются и возвращаются в слой, циркулируя по замкнутому контуру, то такой режим работы называется циркулирующим кипящим слоем. Расход циркулирующего материала в сотни раз превышает

расход газа в системе и в ряде случаев зависит от массы слоя при неизменной скорости газа и размерах частиц.

Как и все способы сжигания, рассмотренные ранее, сжигание в кипящем слое имеет преимущества и недостатки. К преимуществам такого способа можно отнести возможность сжигания бытовых и промышленных отходов. Также следует отметить, что в такой топочной камере можно сжигать различные марки топлив, имеющих различную теплоту сгорания, влажность и зольность [12]

Одним из основных недостатков сжигания в кипящем слое является сложность конструкции и технологии производства. Это вызывает высокие экономические затраты для обеспечения полноценной системы подготовки и подачи топлива, золошлакоудаления, автоматики. Также следует отметить, что для котельных малой мощности характерен низкий уровень персонала, с другой стороны эксплуатация котлов с кипящим слоем обязывает хорошо знать технологические процессы эксплуатации и сжигания (даже при условии их полной автоматизации) [13].

Следует рассмотреть сжигание в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) (см. рис.04). Одной из особенностей котлов ЦКС можно выделить наличие устройства для улавливания золы и системы возврата недогоревших частиц в топочную камеру (см. рис. 04). Такая система оказывает существенное влияние на большинство энергетических показателей котла (стабилизация температуры в слое и надслоевом пространстве, уровень выбросов SO_2 и др.). Следует отметить определенное количество циркулирующих частиц, которые могут быть пойманы из топки и возвращены в котел. Эффективность золоуловителей оказывает влияние на размер частиц и кратность циркуляции. При высоком КПД уловителей (около 99,5 %) его изменение всего на 0,1 % увеличивает циркуляцию в 1,2 раза [14].

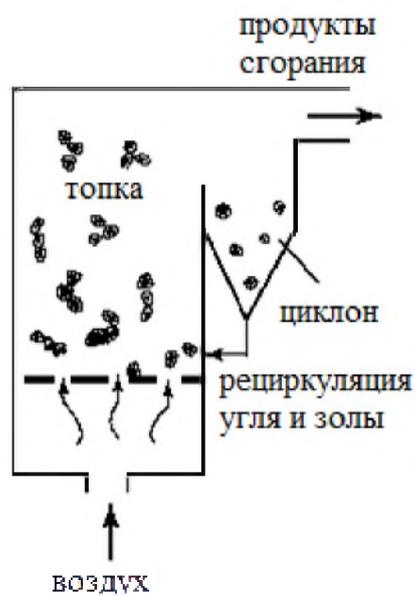


Рисунок 4 – Сжигание топлива циркулирующем кипящем слое

В топках, с циркулирующим кипящим слоем можно сжигать помимо каменных и бурых углей, растительные отходы, которые являются почти беззольными. В тоже время сжигание сильно различающихся по характеристикам топлив довольно затруднительное.

Технологии сжигания в ЦКС имеют такие же недостатки, что и топки со стационарным кипящим слоем.

Рассмотрим вихревой способ сжигания топлива (см. рис. 5), который был изобретен в 30-х годах прошлого века. Обычно этот способ применяют для сжигания мелкофракционных и пылевидных топлив. При таком способе сжигания большая часть топлива вращается в вихревом потоке подаваемого воздуха, а не на колосниковой решетке.

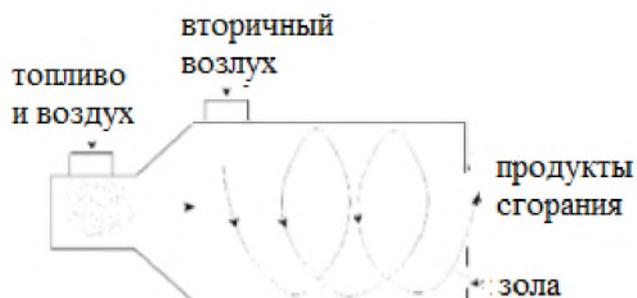


Рисунок 5 – Вихревое сжигание топлива

Можно отметить, что при вихревом способе сжигания обеспечивается максимальное сгорание угольных частиц при использовании механизмов внутренней стабилизации горения, которые характерны для вихревых топков. При таком способе сжигания горячие продукты сгорания направляются в центр факела, тем самым обеспечивая стабилизацию горения при сравнительно низкой температуре. Так как поток дутья подводится тангенциально, то образуется вихревое течение, что приводит к перемешиванию вводимого потока и продуктов сгорания, тем самым обеспечивается наилучшая глубина выгорания топлива. Благодаря такой аэродинамике, обеспечивается глубокое сжигание летучих и продуктов сгорания, и в тоже время уменьшает выброс вредных веществ и повышает полноту сгорания топлива [15, 16].

Плюсам вихревого сжигания можно отметить простоту обслуживания и возможность адаптации топки факельного сжигания или топки со сжиганием в кипящем слое с минимальным переделыванием. Также при таком способе осуществляется самоочистка конвективных поверхностей нагрева высокая взрывобезопасность и надежность, низкие эксплуатационные затраты. Стоит отметить, что при росте температуры в уходящих газах уменьшается содержания монооксид углерода и химический недожог топлива.

Главным недостатком этого способа сжигания является проблема шлакования поверхностей нагрева при сжигание легкоплавких углей. При плавлении золы параметры закручивающего потока вихревой топки сильно меняются, снижается тепловая мощность установки [15]. Если происходит изменение характеристик топлива, то нарушается нормальный режим горения, что приводит к усложнению режимной наладки котла [17]. Для этого применяют либо жидкое, либо сухое шлакоудаление.

Низкотемпературные вихревые (НТВ) технологии являются одними из эффективных технологий по сжиганию топлива [18]. Она прошла широкую апробацию по использованию твердых топлив, таких как бурые и каменные угли, торф, горючие сланцы, отходы деревообработки и микробиологического производства. В основе НТВ технологии лежит принцип низкотемпературного

сжигания топлива довольно грубого помола в условиях многократной циркуляции частиц в камерной топке. Топка при таком способе сжигания разделена на две зоны, которые разнесены по ее высоте. Первую называют вихревой, которая находится в нижней части топки от устья холодной воронки до горелок. Вторую зону называют прямоточной, и она располагается над вихревой зоной.

В вихревой зоне создаются два потока: первый поток состоит из топливовоздушной смеси, поступающий в топочную камеру через горелки; второй поток сформирован горячим воздухом, который подается в топочную камеру через систему нижнего дутья. Потоки направлены встречно, чтобы создать вихревое движение в нижней части топочной камеры.

Главным преимуществом НТВ сжигания можно выделить очень низкое шлакование поверхностей нагрева котла, что непосредственно сказывается на надежности работы котла. За счет понижения уровня температуры в зоне активного горения снижается количество расплавленных частиц золы, что значительно снижает появления отложений на поверхностях нагрева котлоагрегата.

Расчетные характеристики различных способов сжигания, представлены в таблицах 1–3. Как видим из таблицы 1 камерный способ сжигания зависит от приведенной зольности топлива. Для слоевых топок основным показателем при выборе сжигания являются такие параметры, как приведенная влажность и приведенная зольность топлива.

Таблица 1 – Расчетные характеристики камерных топок с твердым шлакоудалением для котлов производительностью больше 10 кс/с при сжигании бурых углей

Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Допустимое тепловое напряжение объема топки по условиям горения $q_{v \text{ доп}}, \text{ кВт/м}^2$	Тонкость пыли		Потери тепла от механической неполноты сгорания в зоне топки $q_4, \%$	Доля золы уносимая газами a_{yn}
			$R_{90}, \%$	$R_{1000}, \%$		
Малозольные $A_{пр}^r \leq 1 \frac{\%}{\text{МДж}}$	1,2 – 1,25	180	40-50	0,8-1	0,5	0,95
Много зольные $A_{пр}^r > 1 \frac{\%}{\text{МДж}}$	1,2 – 1,25	180	40-50	0,8-1	1-2	0,95
Многозольные с пониженной теплотой сгорания летучих $Q_{ист} < 20 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	1,2 – 1,25	180	40-50	0,8-1	3-4	0,95

Таблица 2 – Расчетные характеристики камерных топок с жидким шлакоудалением для котлов производительностью больше 45 кг/с при сжигание бурых углей

Тип топки	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Допустимое тепловое напряжение объема топки по условиям горения $q_{v \text{ доп}}, \text{ кВт/м}^2$	Допустимое тепловое напряжение сечение зоны активного горения $q_F, \text{ МВт/м}^2$	Тонкость пыли $R_{90}, \%$	Потери тепла от механической неполноты сгорания в зоне топки $q_4, \%$	Доля золы уносимая газами a_{yn}
Открытая	1,15 – 1,2	210	5,2	40-50	0,3	0,65-0,8
Полуоткрытая	1,15 – 1,2	230	5,2	40-50	0,3	0,65-0,7

Таблица 3 – Расчетные характеристики слоевых топок для котлов производительностью 1 кг/с и выше при работе на бурых углях

Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Видимое теплонапряжение		Потери тепла		Доля золы уносимая газами $a_{гн}$	Давление воздуха под решеткой
		объема топки $q_{V доп}$, кВт/м ²	зеркала горения q_F , кВт/м ²	от химической неполноты сгорания q_3 , %	от механического недожога q_4 , %		
Топка с пневмомеханическими забрасывателями и цепными решетками обратного хода							
Типа ирша-бородинского $A_{пр}^r = 1,8$, $W_{пр}^r = 8,9$	1,3 – 1,6	290 – 470	1390 – 1750	до 0,1	4,5	50	до 500
Типа назаровского $A_{пр}^r = 2,4$, $W_{пр}^r = 12,5$	1,3 – 1,6	290 – 470	1270 – 1520	до 0,1	5,0	50	до 500
Типа азейского $A_{пр}^r = 4,0$, $W_{пр}^r = 6,5$	1,3 – 1,6	290 – 470	1390 – 1750	до 0,1	5,5	50	до 500
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и решеткой с поворотными колосниками							
Типа ирша-бородинского $A_{пр}^r = 1,8$, $W_{пр}^r = 8,9$	до 1,6	290 – 470	900 – 1200	до 1	5,0	20,0	до 1000
Типа назаровского $A_{пр}^r = 2,4$, $W_{пр}^r = 12,5$	до 1,6	290 – 470	900 – 1200	до 1	–	20,0	до 1000
Типа азейского $A_{пр}^r = 4,0$, $W_{пр}^r = 6,5$	до 1,6	290 – 470	900 – 1200	до 1	6,5	20,0	до 1000

2 Влияние минеральной части топлива на работу котла

Загрязнение поверхностей нагрева котлоагрегата при сжигании топлива зависит от различных факторов: от минерального и химического состава топлива, от условий превращения минеральной части топлива в топочной камере и газоходе котла, температуры газа около поверхностей нагрева, температуры наружной поверхности труб, скорости газового потока, фракционного состава летучей золы и т.д. [19].

Содержание минеральной части топлива не всегда является определяющим фактором загрязнения и коррозии поверхностей нагрева. Основную роль в таких случаях играет химико-минеральный состав топлива. Как известно физико-химические свойства золы и шлака при загрязнении и высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева формируется при горении топлива [19]. Отсюда следует, что химико-минералогический состав минерального вещества топлива является основой процессов, происходящих с ним в топочном процессе.

К основным факторам, определяющим поведение минеральной части топлива при горении, а также параметрами, которые влияют на свойства золы можно отнести [19]: температуру горения в центре факела, состава газовой среды окружающей частицу, условия взаимодействия частиц топлива между собой, и наконец время, которое частица пребывает в зоне с определенной температурой и составом среды. Все эти параметры можно регулировать в топочных устройствах при эксплуатации энергетических котлов, тем самым управляя превращениями минеральной части топлива и физико-химическими свойствами золы при горении.

Так, например, в центре факела при сжигании топлива могут развиваться температуры, превышающие плавкостные характеристики золы, что приведет к жидкому состоянию шлака, состояние которого большей степени определяет работу топочного устройства, как для жидкого, так и твердого шлакоудаления. В случаи твердого шлакоудаления расплавившиеся

зола до пластического состояния может привести к шлакованию поверхностей нагрева и расстройству топочного процесса. А в случае жидкого шлакоудаления свойства жидкого шлака должны обеспечивать нормальное удаление его из топочного объема. Под шлакованием понимают налипание на трубы частиц шлака, находящихся в расплавленном или размягченном состоянии.

2.1 Минеральная часть топлива

Под минеральной частью понимают то исходное состояние вещества топлива, из которого в результате горения образуется шлак и зола. Понятие минеральной части топлива можно считать условным, так как минеральная часть топлива может, как находиться в составе комплексных минеральных органических соединений, так и образовывать самостоятельные включения (разнотипные минералы).

Выделяют две составляющие минеральной части топлива: внутреннюю и внешнюю.

Внутренняя минеральная часть составляет 2–3% от массы топлива, которая равномерно распределена в органической массе и при горении топлива переходит в мельчайшие фракции золы.

Внешняя минеральная часть вещества обычно включает в себя типичные геологические породы данного бассейна, к которым можно отнести крупные куски и частицы породы.

Сегодня, согласно [19], выделяют следующие группы минералов которые могут быть в топливе: силикатные, глинистые, сульфидные, карбонатные, хлоридные, сульфатные, оксидные, гидроксидные и фосфорные.

Во многих топливах основной составляющей минеральной частью являются глинистые минералы, которые обычно представлены в виде каолинита ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), иллита ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) и монтмориллонита ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Из силикатных минералов в твердых топливах

встречаются кварц (SiO_2), биотит ($\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) и ортоклаз (KAlSi_3O_8). Из карбонатной группы минералов, которые часто встречаются в топливе можно выделить кальцит (CaCO_3), магнезит (MgCO_3) и доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)$). Следует отметить, что во многих топливах содержатся сульфидные минералы в виде пирита (FeS_2) или марказита (FeS_2). Пирит и марказит имеют одну и ту же химическую формулу, но различаются по кристаллической структуре. Группа железосодержащих минералов встречается редко, исключением бывают пирит и марказит. Так же может встречаться хлор, который представлен в виде минералов галита (NaCl) и сильвина (KCl). Имеются и топлива, в которых хлор связан с органическим веществом.

В практических условиях взамен величины содержания минеральных примесей применяется показатель – зольность угля (A), представляющий собой массу неорганического остатка (зола) после полного сжигания топлива в установленных условиях, отнесенную к единице массы угля.

Физико-химические процессы превращения неорганической части топлива в топке и газоходах разделяются на следующие четыре группы [19]:

1. Разложение первоначальных минералов на более простые соединения;
2. Улетучивание (сублимация, испарение) отдельных компонентов топлива и образование мелкодисперсных минералов (аэрозолей);
3. Образование под воздействием температуры и газовой среды новых минералов при контактировании между отдельными компонентами внутри самой частицы, между отдельными частицами и между газовой средой и частицами;
4. Переход отдельных частиц или всей массы неорганического вещества топлива в пластическое или жидкое состояние.

При горении топлива происходит химическое преобразование его компонентов минеральной части, в результате которых образуется зола. Состав и масса образовавшейся золы всегда отличается от исходного минерального состава топлива [20]. На практике доказано, что количество золы при полном

сгорания топлива, всегда оказывается меньше истинного содержания минеральных веществ угля на 10% [21]. При нагревание минеральной части топлива можно выделить следующие закономерности преобразование [22]:

1) Такой элемент как гипс, уже начинает свое разложение при температуре выше 150 °C: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, с разложением на CaO и SO_3 при 1000÷1100 °C.

2) Окисление пирита происходит при температурах 400–600°C. После окисления, образуется окись железа и сернистого ангидрида: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$. Также разложение пирита возможно в бескислородной среде при 550 °C: $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{FeS} + \text{S}$, а затем при 800 °C: $2\text{FeS} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{S}_2$. Образовавшееся железо при малом содержание кислорода переходит в закись железа FeO. Закись железа может образовывать легкоплавкие эвтектики с силикатной основой золы ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$).

3) Глинистые минеральные вещества при температуре выше 300 °C разрушаются, образуя при этом силикаты алюминия. При температуре около 1800 °C выделяется парообразная фаза оксида кремния (SiO_2), а остаток обогащается и переходит в муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

4) Как и многие другие элементы, кварц изменяет свою кристаллическую структуру: тригональный α -кварц $\xrightarrow{575^\circ\text{C}}$ гексагональный β -кварц $\xrightarrow{870^\circ\text{C}}$ α -тридимит $\xrightarrow{1470^\circ\text{C}}$ кристобаллит.

5) Щелочные металлы, которые находятся в органической части угля, постепенно улетучиваются в виде паров чистых металлов или их окислов соединяющихся с газообразными продуктами.

6) Сера мало реагирует с твердыми компонентами золы и наиболее полно переходит в газовую фазу, так как степень улетучивания серы зависит от минеральной части угля.

Рассматривая железо и алюминии, входящие в состав наиболее прочных органоминеральных комплексов, можно отметить, что термохимические преобразования этих макрокомпонентов будут

проходить при их тесном взаимодействии. Так, отмечается, что высокая термодинамическая вероятность реакции восстановления железа алюминием из оксидов сохраняется до завершения перехода алюминия в оксид, тем самым способствуя появлению и сохранению легкоплавких фаз соединений железа. Отмечаемая высоким экзотермическим эффектом реакция восстановления алюминия с оксидом железа, приводит к расплавлению восстановленного железа, его производных и аморфного алюминия, что приводит к образованию однородной легкоплавкой смеси оксидов кальция, магния, а также сульфата кальция, который при температурах выше 1200 °С диссоциирует, увеличивая содержание оксида кальция, вступающего в твердофазные реакции с другими компонентами.

При сгорании сгорание минеральной части угля рассмотрим поведение глинистых минералов. Минералы, относящиеся к каолиновой группе начинают терять абсорбционную влагу при температуре 100–120 °С. При температурах 550–600 °С начинает выделяться кристаллизационная влага и разрушаться кристаллическая решетка с образованием метакаолинита. В диапазоне температур 950–1200 °С метакаолинит разлагается, тем самым образуется кристаллический силлиманит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) и муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3$). Минералы, относящиеся монтмориллонитам, начинают терять абсорбционную воду при температурах 100–150 °С. В интервале температур 850–900 °С начинает разрушаться кристаллическая решетка, а при 900–920 °С – образуются новые кристаллические структуры [22]. К продуктам разложения монтмориллонитов являются муллит, кордиерит, двуокись кремния, энстатит, и шпинель. Следует отметить, что при увеличении температуры количество муллита увеличивается. Из выше сказанного следует отметить, что при повышении температуры в топочной камере глинистые минералы превращаются в муллит. Наличие муллита и кварца в золе угля говорит о высокой склонности золы, образующейся при сжигании угля, к абразивному износу.

3 Методы исследования твердых топлив

Существует различные аналитические методы, позволяющие получить элементный состав различных объектов (горных пород, минералов, сплавов), при этом некоторые предполагают разрушение веществ. На сегодняшний день число химических элементов, из которых состоят материалы, ненамного превышает 100 [23]. Так же существуют сложные вещества, которые образуются в результате соединения элементов между собой. Сложные вещества могут обладать самыми разными свойствами, при этом различие этих свойств обуславливается различиями химического состава и различиями во взаимном расположении атомов (структуре).

3.1 Рентгеноструктурный анализ

С помощью дифракционных методов (рентгеновский, нейтронографический или электронографический) можно определить характеристику кристаллических фаз. Понятие кристаллическая фаза определяет пространственно однородное, равновесное состояние вещества, характеризуемое определенным элементным составом и структурой.

Метод рентгенофазового анализа (РФА) является одним из направлений рентгеноструктурного анализа и имеет своей целью определение фазового состава вещества. Эта задача представляет актуальность в практике исследования свойств твердого топлива, так как позволяет получить качественную оценку минералогического состава неорганической части топлива, а также продуктов ее преобразования (шлак, летучая зола, натрубные отложения) в зависимости от конструктивных и режимно-эксплуатационных факторов топливосжигающей установки. Получаемые методом РФА данные являются в настоящее время необходимым материалом для выработки технического прогноза, составления инженерного заключения о поведении минеральных веществ, при сжигании топлива или при его переработке в

конечном итоге способствуют нахождению условий наибольшей надежности и экономической эффективности эксплуатации парового котла или энерготехнологической установки [24].

Наибольшее распространение рентгенофазового анализа получил рентгеновский порошковый метод. Объяснить это можно тем, что многие природные и технические материалы чаще всего находятся в поликристаллическом состоянии. Поликристаллические материалы – это множество мелких, разориентированных кристалликов, которые обычно плотно соединены между собой как в металлах и сплавах или могут находиться в виде мелкого порошка. В некоторых случаях поликристаллические вещества могут состоять из кристалликов различных фаз [25, 26].

Преимуществом метода порошка является следующее [27]:

- препарат не разрушается при анализе;
- для анализа необходимо малое количество вещества;
- отсутствует необходимость выращивания и ориентировки монокристаллов соединения;
- относительная простота необходимых расчетных операций (нахождение значений d_{HKL} и оценка интенсивности отражений I_{HKL} ;
- возможность различать модификации и изомеры одного и того же химического соединения.

Рентгенофазовый анализ различных материалов позволяет [27]:

- определять параметры элементарной ячейки неизвестного вещества;
- исследовать фазовые переходы;
- исследовать фазовый состав вещества (выполнять качественный и количественный анализы).

Под качественным рентгенофазовым анализом понимают идентификацию кристаллических фаз, в основе которых лежат межкристаллическое расстояние d_{HKL} и интенсивность линий I_{HKL} рентгеновского спектра.

Количественный анализ – это анализ вещества в ходе, которого определяется количество тех или иных фаз в смеси, так же определяется средний размер кристаллов, зерен в веществе.

Количественный рентгеновский фазовый анализ основывается на зависимостях интенсивности дифракционного отражения от содержания c_i соответствующей фазы в исследуемом объекте.

Рентгенофазовый анализ проводился на рентгеновском аппарате ДРОН-2 (см. рис. 6). Образцы исходной минеральной части твердого топлива и золы для исследования их свойств методом РФА готовят измельчением материала в порошок, с последующим прессованием его в стандартную кювету из некристаллического материала с целью избежать получения дополнительных линий на рентгенограмме от материала подложки. После прессования поверхность порошка выравнивается плоским стеклом.



Рисунок 6 – Рентгеновский аппарат ДРОН-2

Исследуемый порошок запрессовывают без связующего вещества, так как оно, рассеивая рентгеновские лучи, создает дополнительный фон тем больший, чем больше связующего вещества. Далее образец помещают на

рентгеновский аппарат для снятия рентгенограммы. Предпоследним этапом является обработка рентгенограммы согласно закону Вульфа-Брэгга [27].

3.2 Рентгенофлуоресцентная спектрометрия

Рентгенофлуоресцентная спектрометрия (РФС), как и рентгенофазовый анализ, является одним из эффективных методов анализа. РФС позволяет за небольшой период времени получить полную информацию об элементе, который входит в состав сложных образцов независимо от их агрегатного состояния и происхождения. Этим методом возможно определить более 80 элементов от серы (S) до урана (U) [28]. Так же этот метод позволяет производить контроль содержания, как элементов матрицы, так и микропримесей элементов в различных материалах.

Одним из преимуществ рентгенофлуоресцентной спектрометрии является возможность получение состава элементов образца без его разрушения, с сохранением полного комплекса его физико-химических свойств, что является важным при работе с дорогими и новыми экспериментальными образцами [28]. Также следует отметить, что РФС возможно реализовать без эталонного анализа, что позволяет исключить приготовление стандартных образцов, которые зачастую представляют проблему аналитической химии.

Образцы исходной минеральной части твердого топлива и золы для исследования готовят измельчением материала в порошок с последующим размещением его на пленке.

Для рентгенофлуоресцентной спектрометрии использовался спектрометр марки EDX 2800 XRF. Точность проведение анализа составляет 0,05 % [29].

3.3 Определение влажности

Выделяют две части влажности энергетического топлива: внешнюю и внутреннюю.

Под внешней влагой топлива понимают, поверхностное увлажнение кусков топлива при добыче, транспортировке и хранения его из грунтовых вод и атмосферного воздуха. Следует отметить, что при уменьшении размера куска угля увеличивается удельная поверхность топлива, вследствие чего увеличится количество удерживаемой влаги. Внешнюю влажность можно удалить механическими способами или тепловой сушкой.

Внутренняя влага состоит из коллоидной и гидратной влаги. Коллоидная влага является составной частью топлива. По топливу она расположена равномерно. Количество коллоидной влаги зависит от химической природы и состава топлива и содержания влаги в атмосферном воздухе [30]. Коллоидная влага будет уменьшаться при увеличении степени углефикации топлива.

В энергетическом топливе гидратная влажность соединена с минеральной частью топлива (сернокислым кальцием и алюмосиликатом). Содержание такой влаги в топливе очень мало, и становится заметно лишь в многозольных топливах. При подсушивании топлива гидратная влага не изменится, зато происходит испарение части коллоидной влаги. Первая испаряется только при высоких температурах.

Определение содержания влаги проводится двумя методами [31]: основным и ускоренным. Предварительно пробу топлива набирают во взвешенные бюксы, при этом навески не должны превышать массы $1 \pm 0,1$ г. Далее оба метода заключаются в подсушивание навески в сушильном шкафу при температурах указанных в таблице 4 [32].

Таблица 4– Продолжительность подсушивания топлив

Вид топлива	Продолжительность подсушивания, мин	
	(105–110) °С	(160±5) °С
Каменные угли, антрацит, горючие сланцы	30	5
Бурые угли и лигниты	60	10

После того как влага испарится навески взвешивают и подсчитывают потери массы:

$$W^a = \frac{\Delta G}{G_T} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где ΔG – изменение масса навески, г;

G_T – масса пробы до просушивания; г.

3.4 Определение зольности

Определение зольности для твердых топлив (каменных и бурых углей, антрацитов и горючих сланцев) осуществляется по ГОСТ Р55661-2013. Согласно [33] выделяют медленное и ускоренное озоление.

Предварительно пробу топлива набирают во взвешенные фарфоровые лодочки, при этом навески не должны превышать массы $1 \pm 0,1$ г. Далее фарфоровые лодочки помещают в муфельную печь при комнатной температуре и начинают нагревать в течение 30 минут до 250 °С, в течение следующих 30 минут до температуре 500 °С, затем в течение 60 минут до температуры (815 ± 15) °С. При достижение температуры (815 ± 15) °С выдерживают 60 минут. Далее лодочку достают из печи и охлаждают, затем взвешивают. После этого в процентах рассчитывается зольность:

$$A^a = \frac{G}{G_{\Pi}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где G – масса золowego остатка, г;

G_{Π} – масса пробы до прокаливания; г

3.5 Определение плавкостных характеристик золы

При сжигании топлива зола может находиться в твердом или жидком состоянии. Вследствие этого выделяют плавкостные характеристики золы. Плавкость золы определяется согласно [34]. Согласно ему золу помещают в криптоловую печь (см. рис. 7) с полувостановительной газовой средой в форме трехгранной пирамиды (см. рис. 8) со стандартными размерами длиной грани в основании 6 мм и высотой 13 мм. Пирамида состоит из измельченной пробы испытуемой золы. Далее печь нагревают, пока пирамидка не превратится в каплю жидкости.

Температура в печи измерялась при помощи поверенной термопары градуировки ПП-1 в комплекте с высокоточным ампервольтметром РС500а и мультиметром Щ 4313 (низкой точности). Для повышения точности измерения температуры в печи температура холодных концов термопары ПП-1 измерялась при помощи термопары градуировки ХА в комплекте с высокоточным потенциометром ТМ – 902С (производства КНР), показывающим значение температуры непосредственно.

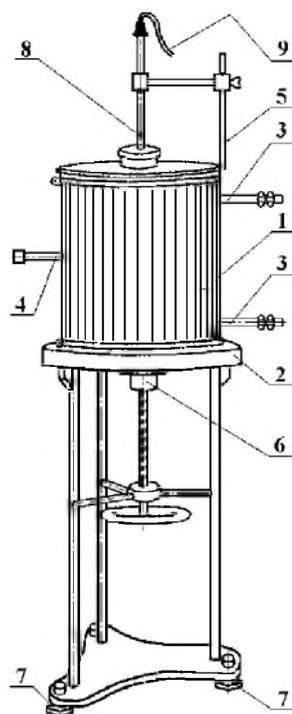


Рисунок 7 – Криптолавая печь: 1 – Печь; 2 – Основание печи с подставкой; 3 – Тоководы; 4 – Визирная трубка; 5 – Кронштейн для крепления термопары; 6 – Шток с винтом; 7 Винты для горизонтирования основания; 8 – Термопара, введенная в печь.



Рисунок 8 – Пирамидки испытуемых образцов

Выделяют следующие плавкостные характеристики золы [34]:

- температура начала деформации (t_A) – температура, при которой происходят первые признаки оплавления углов или граней испытуемого образца (сжатие или деформация образца не принимается во внимание, если вершины граней испытуемого образца остаются острыми) или наклон вершины пирамидки (см. рис. 9);

– температура размягчения (t_B) – температура, при которой испытуемый образец оплавляется и образует примерно полусферу, т.е. когда высота становится равной половине диаметра основания, определённого визуалью пирамидки (см. рис. 9);

– температура начала жидкоплавкого состояния (t_C) – температура, при которой испытуемый образец растекается по подставке, образуя слой, высота которого равна 1/3 высоты испытуемого образца при температуре полусферы (см. рис. 9).

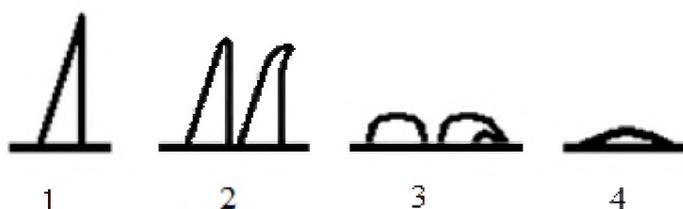


Рисунок 9 – Изменение формы образца при нагревании: 1– первоначальная форма образца; 2 – форма образца при температуре t_A ; 3 – форма образца при температуре t_B ; 4–форма образца при температуре t_C

С помощью характеристик плавкости золы определяют к какой группе по плавкости будут относиться энергетические угли: легкоплавкой золой t_C меньше $1350\text{ }^\circ\text{C}$, с золой средней плавкости t_C равной $1350\text{--}1450\text{ }^\circ\text{C}$ и с тугоплавкой золой t_C больше $1450\text{ }^\circ\text{C}$.

3.6 Определение выхода летучих

Выход летучих тоже является важной теплотехнической характеристикой энергетического топлива. При подогреве твердых топлив начинает происходить распад термически нестойких сложных, содержащих кислород, углеводородистых соединений горючей массы с выделением горючих газов: водорода, углеводородов, окиси углерода и негорючих газов – углекислоты и водяных паров [30].

Выход летучих веществ определяется в соответствии с [35]. Метод включает в себя нагрев навески испытуемого образца топлива без доступа кислорода до температуры 900 ± 10 °С для каменных углей и при температуре 850 ± 10 °С для бурых. Пробу выдерживают в печи в течение 7 минут. Выход летучих определяется по потерянной массе пробы потери за счёт испарения влаги:

$$V^a = \frac{\Delta G}{G_T} \cdot 100 - W_{\text{ср}}^a \%, \quad (3)$$

где ΔG – потеря массы пробы, г;

G_T – масса пробы до прокаливания; г.

3.7 Химический анализ топлива

Отобранные предварительно пробы приготавливают согласно [36]. Полученная зола подвергается химическому анализу по ГОСТу 10538-87. Химический анализ заключается в определении содержания в золе топлива таких компонентов как: диоксида кремния (SiO_2), оксида железа (Fe_2O_3), оксида алюминия (Al_2O_3), оксида магния (MgO), оксида кальция (CaO), оксида калия (K_2O), оксида натрия (Na_2O), оксида фосфора (P_2O_5), диоксида титана (TiO_2), триоксида серы (SO_3) [37].

3.8 Элементный анализ топлива

Элементный анализ топлива проводился на анализаторе «vario MICRO cube». С помощью этого прибора можно определить содержания водорода, углерода, азота и серы в топливе. Принцип действия анализатора основан на каталитическом сжигании при высокой температуре предварительно взвешенной анализируемой пробы, очистке, осушке, адсорбционном разделении продуктов сгорания, и последующем детектировании детектором по теплопроводности (инфракрасным детектором).

Анализаторы работают в комплекте с персональным компьютером, анализ выполняется автоматически.

Для взвешивания пробы используют керамические или стальные тигли. В качестве катализатора для восстановления NO_2 до N_2 в этой модели вместо меди используют вольфрам, абсорбционная емкость, которого в 3–4 раза больше емкости меди. Изготовленные из нержавеющей стали трубки, в которых происходит сгорание пробы, и тигли из нержавеющей стали позволяют анализировать пищевые продукты на содержание азота и протеинов, твердые и жидкие вещества на содержание C, N, H, S [38].

3.9 Определение низшей теплоты сгорания

Определение высшей и низшей теплоты сгорания проводится согласно ГОСТу 147-2013. Согласно стандарту [39] высшая теплота сгорания определяется в калориметрической бомбе, а низшая теплота сгорания вычисляется.

Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания бурых и каменных углей, антрацита, горючих сланцев заключается в полном сжигании навески массы испытуемого топлива в калориметрической бомбе в изотермическом режиме при постоянном объеме в среде сжатого кислорода под давлением $29,4 \cdot 10^5$ Па (30 кгс/см^2) и измерении подъема температуры воды в калориметрическом сосуде, а также в определении поправок на теплоту, выделяемую при сжигании проволоки и теплоту образования и растворения в воде серной и азотной кислот.

Для определения удельной теплоты сгорания твердого топлива применяют калориметр сжигания с бомбой типа В-08МА. Общий вид калориметра изображен на рисунке 10.

Принцип действия калориметра заключается в измерении изменения температуры калориметрической системы с заранее известной эффективной

теплоемкостью при сжигании строго определенного количества исследуемого топлива.

Аналитическую пробу топлива перемешивают в банке, переносят навеску топлива во взвешенный тигель, дно которого предварительно покрывают слоем прокаленного волокнистого асбеста, и взвешивают с погрешностью не более 0,2 мг. Масса навески должна быть 0,8-1,5 г.

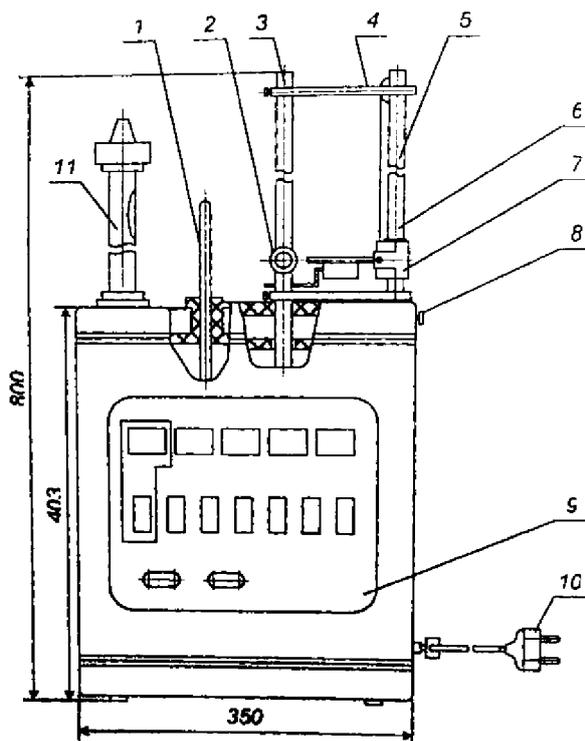


Рисунок 10 – Калориметр В-ОМ (Вид со стороны лицевой панели): 1 – термометр ТЛ-19; 2 – система оптическая; 3 – термометр метастатический, 4 – держатель; 5 – стойка; 6 – вибратор электромеханический; 7 – кронштейн; 8 – винт стопорный; 9 – панель лицевая; 10 – шнур питания с вилкой двухполюсный; 11 – термометр электроконтактный.

Высшую теплоту сгорания испытуемой пробы вычисляют согласно формуле [39]:

$$Q_s^a = Q_b^a - (94 \cdot S_t^a + \alpha \cdot Q_b^a) \text{ кДж/кг,}$$

где Q_b^a – теплота сгорания пробы топлива в бомбе, кДж/кг,

94 – коэффициент, учитывающий теплоту образования серной кислоты из диоксида серы и растворения серной кислоты в воде на 1% серы, перешедшей при сжигании топлива в серную кислоту, кДж/кг;

S_t^a – массовая доля серы в топливе, %;

α – коэффициент, учитывающий теплоту образования и растворения в воде азотной кислоты $\alpha = 0,0015$ [39].

Низшую теплоту сгорания кДж/кг, можно вычислить по формуле [39]:

$$Q_i^a = Q_s^a - 24,42 \cdot (8,94 \cdot H^a + W^a) \text{ кДж/кг,}$$

где 24,42 – теплота парообразования при температуре измерения 25 °С из расчета на 1% выделившейся воды, кДж/кг;

8,94 – коэффициент пересчета массовой доли водорода на воду;

H^a – массовая доля водорода в аналитической пробе топлива, %;

W^a – массовая доля воды в пробе, %.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка целесообразности и эффективности разрабатываемого исследования, разработка механизма внедрения и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Произвести технико-экономическое обоснование исследования;
- 2) Осуществить планирование этапов выполнения НИИ;
- 3) Рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- 4) Произвести оценку и экономической эффективности НИИ.

6.1. Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование

Таловское бурогольное месторождение Томской области может являться полноценным альтернативным вариантом привозного угля. По энергетическим качествам этот уголь только незначительно уступает таким же бурым углям Березовского месторождения известного Канско-Ачинского угольного бассейна на юге Красноярского края, а по себестоимости его добычи, транспорта, переработки и использования он окажется дешевле в 1,5–2 раза [46].

Разработка Таловского бурогольного месторождения позволит может восполнить недостающих 70% электроэнергии за счет относительно дешевого угля. Для того что бы разработать это место, необходимо найти инвестиции. На базе этих инвестиции необходимо разработать разрез с готовой добычей 10 млн. т [47]. Помимо добычи и обогащения сырого угля, можно производить различные модификации энергетического топлива, такие как производства

водоугольного топлива, кокса по средствам пиролиза угля и полукокса. Для использования этих ресурсов разрабатывают различные технологии сжигания для сжигания одного вида топлива или нескольких (комбинированного).

Проектируемый проект можно разделить на три участка. Первый участок добычи. Этот участок представляет собой разработку наиболее разведанной части месторождения на котором организуют разработку и добычи бурого угля и попутного сырья. Для первого этапа необходимо пробурить скважины глубиной 80–120 м² [47]. Из этих скважин при использовании современных технологий будет добываться водоугольная пульпа, которую транспортируют на дальнейшую переработку, подготовку и сжигание в виде водоугольного топлива или обогащенного сухого угля. Объемы годовой добычи угля таким способом могут достигать 2–2,5 млн. т.

Второй участок – это участок подготовки угля к обогащению. Это участок, на котором находится технологическое оборудование для переработки угля. Под переработкой понимают его сушку, обогащение, фракционирование, так же возможно измельчение и брикетирование. Наиболее перспективной переработкой угля считается его пиролиз. Под пиролизом понимают переработку угля с повышенной зольностью и влажностью на пиролизных установках с различной конструкцией и производства полукокса, смольной воды и синтез-газа. За счет этой технологической операции низкокалорийный бурый уголь можно превратить в высокосортное топливо - полукокс.

К третьему участку относят углепотребление и энергопроизводство. Этот участок является последним звеном проекта и также можно разделить на два варианта. Первый вариант включает постепенную замену привозного топлива на собственное собственное на существующих электростанциях: ТЭЦ (г. Северск), затем перевод пыле работающих на газе ТЭЦ-3 и ГРЭС-2, а также поставки угля, полукокса и водоугольного топлива на местные котельные районного и поселкового значения. Вторым вариантом является проектирование новых дополнительных электростанций, которые позволят

решить проблему недостатка электроэнергии Томской области и даже частичной реализации ее излишков в энергосистему ФОРЭМ.

6.2 Анализ конкурентных технических решений

Конкурентоспособность в рыночной экономике является основным фактором коммерческого успеха предприятия [48]. Так как на сегодняшний день рынки пребывают в постоянном движении, то для поддержания конкурентоспособности необходимо проводить детальный анализ конкурирующих разработок, находящихся на рынке. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках [48]:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 26/

Для сравнения угля Таловского месторождения (БТ) был выбран уголь Березовского месторождения известного Канско-Ачинского угольного бассейна (ББ). Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 26, подбираются, исходя из

выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 26 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _Т	Б _Б	Б _Т	Б _Б
Показатели качества					
1. Зольность	0,16	3	4	0,48	0,64
2. Влажность	0,15	2	3	0,3	0,45
3. Теплота сгорания рабочего топлива	0,09	3	3	0,27	0,27
4. Выход летучих веществ	0,16	4	3	0,64	0,48
5. Сера	0,13	3	2	0,39	0,26
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	2	3	0,1	0,15
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	1	2	0,06	0,12
3. Цена	0,1	3	2	0,3	0,2
4. Балансовые запасы	0,1	2	4	0,2	0,4
Итого	1	23	26	2,74	2,97

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из оценочной карты следует, что уголь Таловского месторождения уступает Березовскому углю лишь незначительно. Разработка Таловского бурогоугольного месторождения может позволить восполнить недостающих 70 % электроэнергии за счет относительно дешевого угля.

6.3 Планирование научно–исследовательских работ

Для плодотворной работы над проводимым исследованием, необходимо составить план исследования, который включает:

1. Разработка ТЗ на исследование;
2. Обзор литературы по методам исследования минеральной части углей и технологиям сжигания;
3. Исследования минеральной части угля Таловского месторождения;
4. Анализ результатов;
5. Рекомендация технологий сжигания по исследованному объекту;
6. Составление пояснительной записки.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой-либо продукции. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

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

где t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 3 \text{ чел. - дн}$$

Все расчеты этапотрудоемкости работ производятся аналогично и приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Трудоемкость работ этапов НИР

Содержание работ	Продолжительность работ, чел.-день			Исполнители
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	
1. Разработка ТЗ на проектирование	2	4	3	Руководитель
2. Обзор литературы по методам исследования минеральной части углей и технологиям сжигания	4	6	5	Руководитель Инженер
3. Исследования минеральной части угля Таловского месторождения	18	24	21	Руководитель Инженер
4. Анализ результатов	4	6	5	Руководитель Инженер
5. Рекомендация технологий сжигания по исследованному объекту	2	4	3	Руководитель Инженер
6. Составление пояснительной записки	4	7	5	Руководитель Инженер
Итого	34	51	42	

Исходя из таблицы 27 видно, что ожидаемая трудоемкость на проведение исследований составляет 42 чел. - день.

Далее следует определить продолжительности работы в рабочих днях используя формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \text{ дн},$$

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

$$T_{pi} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ дн.}$$

Все расчеты пунктов продолжительности работ сведены в таблице 28.

Таблица 28– Продолжительность проектных работ

Содержание работ	Продол. работ, дн.		
	$t_{ож}$	$Ч_i$	T_p
1. Разработка ТЗ на проектирование	3	2	1,5
2. Обзор литературы по методам исследования минеральной части углей и технологиям сжигания	5	1	5
3. Исследования минеральной части Таловского месторождения	21	1	21
4. Анализ результатов	5	2	2,5
5. Рекомендация технологий сжигания по исследованному объекту	3	1	3
6. Составление пояснительной записки	5	2	2,5
Итого:	42		35,5

Для построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни [49]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k,$$

где k – коэффициент календарности, предназначенный для перевода рабочего времени в календарное, который рассчитывается по формуле [49]:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{впд}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,48,$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{впд}$ – количество выходных и праздничных дней в году;

$$T_{ki} = 1,5 \cdot 1,48 = 2.$$

Все расчеты пунктов продолжительности работ в календарных днях проводятся аналогично и сведены в таблице 29.

Таблица 29 – Продолжительность проектных работ (в календарных днях)

Содержание работ	Продол. работ, дн.		
	T _p	k	T _к
1. Разработка ТЗ на проектирование	1,5	1,48	2
2. Обзор литературы по методам исследования минеральной части углей и технологиям сжигания	5	1,48	7
3. Исследования минеральной части Таловского месторождения	21	1,48	31
4. Анализ результатов	2,5	1,48	4
5. Рекомендация технологий сжигания по исследованному объекту	3	1,48	4
6. Составление пояснительной записки	2,5	1,48	4
Итого:	35,5		52

Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 30.

Таблица 30 – Календарный план-график НИР

Этап	Название	Исполнитель	2	7	31	4	4	4
1	Разработка ТЗ на исследование	Руководитель						
		Инженер						
2	Обзор литературы по методам исследования минеральной части углей и технологиям сжигания	Руководитель						
		Инженер						
3	Исследования минеральной части Таловского месторождения	Руководитель						
		Инженер						
4	Анализ результатов	Руководитель						
		Студент						
5	Рекомендация технологий сжигания по исследованному объекту	Руководитель						
		Инженер						
6	Составление пояснительной записки	Руководитель						
		Инженер						

Из полученного графика видно, что на проведение всех работ по исследованию потребуется 52 дня. Самым продолжительным периодом будет Исследования минеральной части Таловского месторождения, который включает 31 день.

6.4. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [45]:

$$Z_m = (1 + k_m) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi},$$

где k_m – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (12 % от стоимости).

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при разработке проекта;

C_i – цена приобретения i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при разработке проекта

$$\begin{aligned} Z_m = (1 + 0,12) \cdot (2 \cdot 224 + 1 \cdot 769 + 2 \cdot 50 + 4 \cdot 18 + 4 \cdot 12 + 3 \cdot 690 + \\ + 5 \cdot 42 + 1 \cdot 49 + 1 \cdot 118 + 1 \cdot 86 + 1 \cdot 120 + 1 \cdot 165 + 1 \cdot 164 + 1 \cdot 55 + \\ + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 160) = 5185,60 \text{ руб.} \end{aligned}$$

В таблице 31 указаны материальные затраты для исследования.

Таблица 31 – Материальные затраты для исследования

Наименование	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты З _м , руб
Бумага миллиметровая в рулонах	2	224,00	448,00
Картридж	1	769,00	769,00
Тетрадь общая	2	50,00	100,00
Ручка	4	18,00	27,00
Карандаш	4	12,00	84,00
Дополнительная литература	3	690,00	2070,00
Образцы угля	5	42,00	210,00
ГОСТ 10538-87			
Натрий карбонат безводный, измельченный	1	49,00	29,00
Калия-натрия карбонат, безводный, измельченный	1	118,00	118,00
Натрия тетраборат 10-водный	1	86,00	86,00
Кислота соляная	1	120,00	110,00
Кислота серная	1	165,00	165,00
Кислота фтористоводородная	1	164,00	164,00
Водорода пероксид	1	55,00	55,00
Серебро азотнокислое	1	35,00	35,00
Аммоний роданид	1	160,00	160,00
Итого			4630,00
1 – руководитель			
2 – инженер			

Получаем сумму материальных затрат для проведения исследований по Таловскому бурому углю составила 5185,60 руб.

Стоимость услуг по проведению работ с использованием оборудования ТПУ согласно приказу № 87/од от 07.08.2015 [50] указана в таблице 32.

Таблица 32– стоимость эксплуатации оборудования подразделений ТПУ

№	Наименование услуги	Код услуги	Стоимость расходных материалов
1	Определение содержания С, Н, N, S в пробах (органические вещества, металлоорганические вещества, почвы, отходы производства, угли и т.д.)	У1-СНН	372,00 руб/час
2	Качественный рентгенофазовый анализ веществ и материалов	У1-РФА	129,00 руб/час
3	Химический анализ проб (органические вещества, металлоорганические вещества, почвы, отходы производства, угли и т.д.)	У2-АЭС	291 руб/час
4	Термическая обработка в сушильном шкафу	У4-ПП	5,10 руб/час
5	Термическая обработка в муфельном шкафу	У5-ПП	6,10 руб/час
6	Измельчение проб неорганических материалов (неметаллов) до 0,5 кг в мономельнице	У6-ПП	20,00 руб/50 г

Стоимость оказанных услуг по пункту 3 «Исследования минеральной части Таловского месторождения» за 31 рабочий день представлена в таблице 33.

Таблица 33– Заработная плата за оказание услуг по пункту 3

№	Код услуги	Стоимость расходных материалов	Время выполнение работы, ч	Суммарная основная заработная плата, руб.
1	У1-СНН	372 руб/час	42	15624,00
2	У1-РФА	129 руб/час	63	8127,00
3	У2-АЭС	291 руб/час	35	10185,00
4	У4-ПП	5,1 руб/час	28	142,80
5	У5-ПП	6,1 руб/час	35	213,50
6	У6-ПП	20 руб/50 г	14	280,00
Итого				34572,30

Для расчета заработной платы приняты дневные ставки для руководителя и инженера в размере 1001 руб. и 658 руб. соответственно. Расчет заработной платы производится на основании перечня работ и трудоемкости работ.

Расчет зарплаты по пунктам 1-2, 4-6 представлен в таблице 34.

Таблица 34– Основная заработная плата

Содержание работ	Руководитель	Инженер	Продол. работ, дн.	Суммарная основная заработная плата, руб.
1. Разработка ТЗ на проектирование	1000,00	658,00	2	3316,00
2. Обзор литературы по методам исследования минеральной части углей и технологиям сжигания	1000,00	658,00	7	11606,00
4. Анализ результатов	1000,00	658,00	4	6632,00
5. Рекомендация технологий сжигания по исследованному объекту	1000,00	658,00	4	6632,00
6. Составление пояснительной записки	1000,00	658,00	4	6632,00
Итого:			52	34818,00

Дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{доп}} = 0,1 \cdot З_{\text{осн}} = 0,1 \cdot 34818 = 3481,80 \text{ руб.}$$

Величина отчислений в пенсионный и страховой фонд рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,27 \cdot (34818 + 3481,8) = 10340,9 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату пенсионных и страховых отчислений (в 2017 году $k_{\text{внеб}} = 27\%$);

Затраты на услуги сторонних организаций включают в себя услуги транспортировки оборудования, затраты на поставку основных и вспомогательных материалов и прочие взаимосвязи. Затраты на услуги сторонних организаций принимаются и составляют 7000 руб.

Смета всех расходов по научно-исследовательскому проекту представлена в таблице 35.

Таблица 35– Смета расходов на проведение НИР

Статьи расходов	Расходы, руб.
1. Материальные затраты для исследования	4630,00
2. Заработная плата за оказание услуг по пункту 3	34572,30
3. Основная заработная плата	34818,00
4. Дополнительная заработная плата	3481,80
5. Величина отчислений в пенсионный и страховой фонд	10340,90
7. Услуги сторонних организаций	7000,00
Итого	94843,00

Из сметы расходов на проведение научно исследовательских работ видно, что выделенного бюджета Томской ГРЭС-2 хватает для оказания данных услуг.

6.5 Определение ресурсосберегающей и 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.

В Москве находится компания SGS, которая занимается анализом энергоносителей и энергетического минерального сырья на любом этапе производства. В данной компании стоимость исследования угля составит 101547,00 рублей [51].

Интегральный финансовый показатель рассчитывается на основании таблицы 1 по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p.i}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{94843}{101547} = 0,93.$$

где $\Phi_{p.i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки (устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания);

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 36.

Таблица 36– Интегральный показатель ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэф.	Таловский	Канско-Ачинский
Простота и удобство эксплуатации	0,15	4	5
Помехоустойчивость	0,15	5	5
Энергосбережение	0,25	4	3
Надежность	0,2	5	5
Ремонтопригодность	0,15	3	4
Материалоемкость	0,1	3	4
Итого	1	4,1	4,25

$$I_{\text{тал}}^p = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 4,1.$$

$$I_{\text{К-А}}^p = 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,25.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов использования углей определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_i = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^{\text{исп. } i}},$$

$$I_{\text{тал}} = \frac{4,1}{0,93} = 4,41;$$

$$I_{\text{К-А}} = \frac{4,25}{0,93} = 4,57.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки, позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср } i} = \frac{I_{\text{тал}}}{I_{\text{К-А}}} = \frac{4,41}{4,57} = 0,96.$$

В результате расчета интегрального показателя эффективности видно, что эффективность Таловского угля по сравнению Канско-Ачинским хуже. Это объясняется тем, что качество данного угля немного ниже, что потребует

дополнительные затраты для модернизации котлов Томской ГРЭС-2 или обслуживание их. В тоже время добыча угля, поставка и его переработка выгоднее с экономической стороны.

6.6 Выводы по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» было проведено:

1) Экономическое обоснование исследования Таловского бурого угольного месторождения. Полученные данные позволят постепенно заменить привозные угли на собственные на существующих тепло-электростанциях: ТЭЦ (г. Северск), затем перевод пыле работающих ГРЭС-2, а также поставки угля, полукокса и водоугольного топлива на местные котельные районного и поселкового значения. Также возможно формирование новых дополнительных энерго мощностей, полностью решающих проблему дефицита электроэнергии Томской области и даже частичной реализации ее излишков в энергосистему ФОРЭМ.

2) Осуществлено планирование и составление графика по проведению исследований данного проекта. Всего потребуется 52 рабочих дня для изучения и предложения технологий сжигания по этому углю.

3) Составлена смета затрат на данный проект. Проведен расчет материальных затрат, заработной платы исполнителей проекта и величины отчислений в пенсионный и страховой фонд. Величина затрат на исследования составила 94843 рублей.

4) На основании расчета интегрального показателя разработанного проекта, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсоэффективности Таловский уголь лишь немного уступает качеству Канско-Ачинскому углю.

Список публикаций

1. Ведерников М. А. , Редкульцев А. А. Методики исследования состава минеральной части угля применительно к технологиям сжигания // Молодая мысль – развитию энергетики: материалы I (XVI) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов, Братск: БрГУ, 2016 – с 130-133.

2. Редкульцев А. А. , Ведерников М. А. Групповой состав компонентов минеральной части твердых топлив в связи с проблемой влияния на работу котлов // Молодая мысль – развитию энергетики: материалы I(XVI) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов, Братск, 19-22 Апреля 2016. - Братск: БрГУ, 2016 - С. 202-205