

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



Институт: **Энергетический**  
 Специальность: **130401 Теплоэнергетика и теплотехника**  
 Кафедра: **Атомных и тепловых электростанций**

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ НИЗКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК</b>

УДК 662.654.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>5БМ4А</b>	<b>Зенков Андрей Викторович</b>		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>доцент кафедры АТЭС</b>	<b>Губин В.Е.</b>	<b>к.т.н., доцент</b>		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Старший преподаватель кафедры менеджмента</b>	<b>Кузьмина Н.Г.</b>	<b>-</b>		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</b>	<b>Бородин Ю.В.</b>	<b>к.т.н</b>		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Ассистент кафедры атомных и тепловых электростанций</b>	<b>Мартышев В.Н.</b>	<b>-</b>		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>атомных и тепловых электростанций</b>	<b>Матвеев А.С.</b>	<b>к.т.н., доцент</b>		

Томск – 2016 г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	<b>Универсальные компетенции</b>	
Р1	Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания	Требования ФГОС (ОК- 8, 9; ПК-4), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-3; ПК-8, 24), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ОК-4, 5; ПК-3, 16, 17, 25, 27, 28, 32), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	<i>Самостоятельно</i> учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с

	периода профессиональной деятельности.	требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<b>Профессиональные компетенции</b>	
P6	Использовать <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания и применения <i>инновационных</i> технологий в теплоэнергетике	Требования ФГОС (ПК-1, 5), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач <i>инженерного анализа</i> , связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов теплоэнергетики	Требования ФГОС (ПК-2, 7, 11, 18 – 20, 29, 31), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое теплотехнологическое</i> оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 12 – 15, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство	Требования ФГОС (ПК-6, 22 – 24, ), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечивать его <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила	Требования ФГОС (ПК-21, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями

	охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), 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**  
 Специальность: **130401 Теплоэнергетика и теплотехника**  
 Кафедра: **Атомных и тепловых электростанций**

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись)      (Дата)      Матвеев А.С.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>магистерской диссертации</b>
---------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
<b>5БМ4А</b>	<b>Зенкову Андрею Викторовичу</b>

Тема работы:

<b>Исследование изменения реологических свойств водоугольного топлива на основе низкосортных углей с применением механической обработки и химических добавок</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<b>3056/с от 20.04.2016</b>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<b>8 июня 2016 года</b>
--	-------------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Произвести исследование влияния дополнительной степени механической обработки и химических реагентов на реологические характеристики водоугольной суспензии
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор источников по теме. Обоснование необходимости разработки. 2. Проведение лабораторных исследований для оценки воздействия механической обработки на реологические свойства водоугольного топлива

	<p>3.Выполнение работ по исследованию характеристик зажигания водоугольного топлива на основе угля марки 2Б и 3Б</p> <p>4.Проведение лабораторных исследований для оценки воздействия химических добавок на реологические свойства водоугольного топлива</p> <p>5.Экономическая оценка наиболее выгодных и эффективных мероприятий</p> <p>6.Социальная ответственность данного производства</p>
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Кузьмина Н.Г., старший преподаватель кафедры менеджмента</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Бородин Ю.В., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</b>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>Введение</b>	
<b>5. Исследование изменения реологических свойств ВУТ на основе низкосортных углей с применением механической обработки и химических добавок</b>	
<b>Заключение</b>	
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	<b>21 декабря 2015 года</b>

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры АТЭС	Губин В.Е.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4А	Зенков А.В.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ4А	Зенков Андрей Викторович

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АТЭС</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость угля 2 руб. за кг; Стоимость гидроксида натрия 15 руб. за 100 г; Стоимость лигносульфоната 3 руб. за 100 г; Стоимость электроэнергии 2,93 руб. за кВт*ч
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	...

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	...
2. Разработка устава научно-технического проекта	...
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	...
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	...

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

«Портрет» потребителя результатов НТИ	...
Сегментирование рынка	...
Оценка конкурентоспособности технических решений	...
Диаграмма FAST	...
Матрица SWOT	...
График проведения и бюджет НТИ	...
Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	...
Потенциальные риски	...

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель кафедры менеджмента	Кузьмина Наталья Геннадьевна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ4А	Зенков Андрей Викторович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5БМ4А	ФИО Зенков Андрей Викторович
-----------------	---------------------------------

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1 вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2 опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3 негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>1.4 чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>1. Закрытое сухое помещение, с шаровыми барабанными мельницами, где происходит приготовление водоугольной суспензии и выполняются исследовательские работы, связанные с исследованием ее свойств. Воздействия: 1.1. Запыленность воздуха (работа с угольной пылью), недостаточная освещенность, шум и химические реагенты; 1.2. Электро- и пожаробезопасность, защита от ожогов при работе с химическими реагентами. 1.3. Оценка воздействия на окружающую среду при сжигании ВУТ. 1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), электрический удар.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГН 2.2.5.1313-03 ГОСТ 12.1.003-83 СП 52.13330.2011 ГОСТ 12.1.007 ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ ГОСТ 12.2.009-80 ГОСТ 12.1.030-81 ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ ГОСТ 12.1.041-83 ССБТ</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1 физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; действие фактора на организм человека;</p> <p>1.2 приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>1.3 приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>1.4 предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства);</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– запыленность воздуха рабочей зоны;</li> <li>– шум;</li> <li>– недостаточная освещенность;</li> <li>– химические реагенты</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <p>2.1 механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.2 термические опасности (источники, средства защиты);</p>	<p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– подвижные части оборудования;</li> <li>– электрический ток;</li> <li>– химические реагенты;</li> <li>– пожароопасность;</li> </ul>



2.3 электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);	
2.4 пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	
3. Охрана окружающей среды: 3.1 защита селитебной зоны 3.2 анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.3 анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.4 анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 3.5 разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Охрана окружающей среды: – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1 перечень возможных ЧС на объекте; 4.2 выбор наиболее типичной ЧС; 4.3 разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 4.4 разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; 4.5 разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 5.1 специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 5.2 организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	...

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4А	Зенков Андрей Викторович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 93 с., 35 рис., 13 табл., 35 источников литературы.

Ключевые слова: уголь, водоугольное топливо, суспензия, гидроксид натрия, лигносульфонат, роторный аппарат модуляции потоков.

Объектом исследования является водоугольная суспензия.

Цель работы – исследование влияния механической обработки и химических добавок на реологические свойства водоугольной суспензии.

В процессе исследования проводились измерения вязкости, плотности и седиментационной устойчивости водоугольной суспензии на основе разных марок углей, а также были изучены характеристики ее зажигания.

В результате исследования была проведена оценка воздействия механической обработки и химических добавок на реологические характеристики водоугольного топлива.

По окончании работы был произведен расчет наиболее экономичного метода обработки, а также приведена оценка социальной ответственности.

## **Список сокращений**

ВУТ – водоугольное топливо;

ВУС – водоугольная суспензия;

ШБМ – шаровая барабанная мельница;

РАМП – роторный аппарат модуляции потоков;

ТЭС – тепловая электростанция;

ПАВ – поверхностно-активные вещества.

## Оглавление

Введение.....	13
1. История создания ВУТ и существующий опыт использования .....	15
2. Способы приготовления ВУТ .....	25
2.1 Получение ВУТ с помощью барабанных мельниц .....	26
2.2 Вибрационные мельницы.....	27
3. О вопросах реологии.....	29
3.1 Применение пластифицирующих агентов, как способ повышения твердой части в составе ВУТ.....	31
3.2 Функции пластификаторов .....	32
4. Характеристика исходных образцов .....	35
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	38
6.1 Перечень работ и оценка времени их выполнения.....	38
6.2 Смета затрат на проект .....	38
6.3 Анализ затрат на производство водоугольной суспензии в зависимости от способа обработки.....	41
6.3.1 Расчет затрат на производство ВУТ при использовании РАМП.....	41
6.3.2 Расчет затрат на производство ВУТ при использовании химических реагентов.....	42
6.4 Вывод.....	42
Список публикаций.....	44

## **Введение**

В целях обеспечения тепловой и электрической энергией в России создана мощная система централизованного электро- и теплоснабжения, использующая в основном традиционное органическое топливо (уголь, нефтепродукты, природный газ). В течение длительного периода времени в топливно-энергетическом балансе страны более 70% энергоресурсов приходилось на природный газ и мазут. В настоящее время в связи с истощением запасов и значительной выработкой основных месторождений нефти и газа, а также увеличивающейся продажей их за рубеж, возрастает роль твердого топлива в топливно-энергетическом балансе страны. Запасы угля многократно превышают суммарные запасы нефти и газа, в связи с чем он будет занимать ведущее место в мире как источник тепловой и электрической энергии [1].

Как правило, высококачественные энергетические угли, добываемые в Российской Федерации, экспортируются за рубеж. Доля поставки добываемого угля на отечественные ТЭС составляет около 30%, из них 90% составляют низкокачественные угли [2].

Однако при использовании угольного топлива возникают экологические проблемы, которые требуют разработки и внедрения новых эффективных технологий, обеспечивающих максимальную полноту использования добытого топлива и существенный экономический эффект [1].

Одним из самых перспективных направлений использования низкосортного угля в энергетике является технология водоугольного топлива (ВУТ). Данная технология представляет собой композиционную дисперсную систему, состоящую из твердой фазы в виде мелкодисперсного угля, жидкой среды (вода) и пластифицирующего агента.

Преимущества водоугольного топлива по сравнению с твердым угольным топливом:

- обеспечение пожаро- и взрывобезопасности всех технологических операций (приготовление, хранение, транспортирование и использование);
- снижение выбросов оксидов азота, серы и углерода в атмосферу при сжигании;
- отсутствие пыления при хранении и транспортировании;
- сохранность технологических свойств при хранении и транспортировании;
- возможность полной механизации всех процессов (приготовление, транспортирование и использование);
- возможность транспортирования трубопроводным, железнодорожным, автомобильным, морским, речным транспортом [1].

Но существуют и проблемы, препятствующие более широкому применению ВУТ в энергетике:

- низкие показатели стабильности основных технологических характеристик;
- низкая эффективность известных стабилизаторов и пластификаторов;
- отсутствие научно обоснованной методической базы, описывающей физико-химические процессы в ВУТ.

Основными параметрами, определяющими реологические свойства и стабильность суспензии как жидкого топлива при хранении, транспортировке и распылении в камере сгорания, являются:

- концентрация твердой фазы водоугольного топлива;
- дисперсность и гранулометрический состав твердой фазы;
- состав и содержание жидкой среды;
- тип и концентрация химических реагентов;
- содержание минеральных примесей в твердой фазе (степень обогащения).

## **1. История создания ВУТ и существующий опыт использования**

Исследования, направленные на изучение и создание угольных суспензий, проводились в России еще в середине прошлого века. В 1959 году были начаты работы по созданию и энергетическому использованию водоугольных суспензий по просьбе Госплана СССР из-за необходимости утилизации угольных шламов. «Первопроходцами» в данном направлении были Институт горючих ископаемых (ИГИ) и Кржижановский Энергетический Институт (ЭНИИ). Их исследования были направлены на разработку технологии утилизации дисперсных угольных шламов, загрязняющих окружающую среду, образующихся в результате гидравлической добычи, обогащения и гидротранспортирования угля из шахты. Из-за довольно высокой дисперсности и стабильности шламовых суспензий необходимы значительные затраты для их обезвоживания. Сжигание шламовых суспензий без предварительного обезвоживания могло бы решить проблемы их утилизации. Выдвигалось предположение, что при определенных условиях это может быть выгоднее, чем сжигание дисперсного угля, получаемого в результате обезвоживания и высушивания шламовых суспензий. Однако, все разработанные технологии прямого сжигания шламовых угольных суспензий оказались неэкономичными и неэкологичными. В результате чего, проекты прямого сжигания шламовых суспензий реализованы не были, а все построенные установки демонтированы.

Помимо технологий прямого сжигания шламов разрабатывались технологии получения водоугольного топлива из рядового угля. Изготовление из него водоугольной суспензии менее затруднительно, так как свойства и минералогический состав угля регламентированы, а запасы его велики.

Тема ВУТ стала особенно популярной в 70-е годы прошлого века. Предполагалось использовать ВУТ в энергетических котлах как альтернативу мазуту. Для этого необходимо было получать суспензию высокого качества с меньшими издержками. Создавались проекты по трубопроводному

транспортированию ВУТ на дальние расстояния, применению его в двигателях внутреннего сгорания и газогенераторах [3].

В 1962-63 гг. были построены две первые опытно-промышленные установки по приготовлению, гидротранспорту и сжиганию водоугольных суспензий [4]:

- на шахте Лутугинская-Северная с паровым котлом ДКВР-6,5/13 паропроизводительностью 6,5 т/ч и производительностью по водоугольной суспензии 1,5 т/ч (9000 т/г);
- в г. Анжеро-Судженске с двумя паровыми котлами ЛМЗ, паропроизводительностью 25 и 40 т/ч с гидротранспортом суспензии на расстояние 1,2 км и производительностью по водоугольной суспензии 9 т/ч (54 000 т/год) с перспективой увеличения производительности до 25 т/ч.

В 1965-1967 гг. была создана и опробована на Магнитогорском металлургическом комбинате опытно-промышленная установка по приготовлению водоугольной суспензии из угольной пыли производительностью 40 т/ч угля и сжигания такой суспензии в энергетическом котле паропроизводительностью 170 т/ч пара.

Целью являлась отработка условий сжигания водоугольной суспензии в энергетическом котле с последующим использованием угольных шламов металлургического комбината для производства подобной суспензии.

В 1962-1968 гг. была спроектирована, построена и пущена в опытную эксплуатацию (в 1964 г.) первая установка по производству и сжиганию в котле ДКВР-6.5/13 водоугольной суспензии производительностью 9 тыс. т топлива в год на шахте Лутугинская-Северная (Донбасс). В 1968 г. завершён весь запланированный цикл опытно-промышленных исследований на установке: разработаны и опробованы технологии приготовления и сжигания водоугольных суспензий из каменных углей марок Г и Т, а также антрацитов; исследованы условия работы оборудования, его надёжность и долговечность.



1962-1967 гг. — спроектирована, построена и пущена в опытную эксплуатацию (в 1964 г.) установка по производству, гидротранспорту и сжиганию водоугольной суспензии из шламов обогатительной фабрики в г. Анжеро-Судженске (Кузбасс). Производительность установки по углю 54 тыс.т в год. Суспензия подавалась трубопроводным транспортом на Анжерскую ЦЭС на расстояние 1200 м, где сжигалась в котлах паропроизводительностью 40 и 25 т/ч пара.

1965-1975 гг. — по заданиям промышленных предприятий Институтом горючих ископаемых (под руководством Г.Н. Делягина) были разработаны новые композиции и технологии приготовления и использования водоугольных суспензий для следующих объектов [4]:

- Чертинская ЦОФ — использование угольных шламов.
- Красноярский цементный завод — замена угольной пыли в печах производства клинкера.
- Шахтерская ЦЭС (Сахалин) — повышение эффективности использования топлива.
- Красноармейский гидрорудник (Донбасс) — проект энергетического комплекса: Рудник-Кураховская ГРЭС с гидротранспортом водоугольной суспензии на расстояние 80 км.
- Кураховская ГРЭС — перевод котла паропроизводительностью 230 т/ч пара на водоугольную суспензию, создание новых высокопроизводительных горелочных устройств.
- Кумертаусская брикетная фабрика — утилизация угольной мелочи — отходов брикетного производства (Южный Урал).
- Кальмиусская брикетная фабрика (Донбасс) — использование шламов.

1964-1966 гг. — в целях отработки новых технологий приготовления и использования водоугольных суспензий на опытной базе ИГИ (на Жилевской опытной обогатительной фабрике Московской обл.) создана крупная опытная установка, включающая паровой котёл паропроизводительностью 10 т/ч и

циклоновую топку производительностью до 250 кг/ч топлива, на которой отрабатывались технологии сжигания грубодисперсных суспензий. На котле Жилевской ОПОФ впервые отрабатывались технологии снижения выбросов оксидов серы с продуктами сгорания путем ввода в суспензии известняка и доломита [4].

В Институте горючих ископаемых и других научных центрах были проведены работы по разработке технологий приготовления, транспортирования и сжигания ВУС из разных углей. В 1989 году был введен в эксплуатацию опытно-промышленный углепровод Белово-Новосибирск протяженностью 262 км. В рамках проекта был спроектирован и построен терминал приготовления ВУС в Белово и сам углепровод. Сжигание суспензии производилось на Новосибирской ТЭЦ-5. В результате эксплуатации данного технологического комплекса было пропущено и сожжено 300 тыс. т ВУТ [4]. К сожалению, этот проект был приостановлен с целью профилактических работ на ТЭЦ-5, но не был запущен из-за серьезных политических перемен в стране. Тем не менее, этот опыт подтвердил оптимистические надежды на возможность использования водоугольного топлива в энергетической отрасли.

Наиболее интенсивный период развития технологии ВУТ пришелся на период нефтяного кризиса 1973 года в таких развитых странах как США, Китай, Япония, Швеция и др., где уголь стали рассматривать как альтернативный вид топлива, взамен нефтепродуктам [5]. Таким образом, в данном направлении в ближайшие несколько лет были выполнены массы научных работ по созданию и эксплуатационному применению данного вида топлива. После активной проработки данных вопросов в лабораторных условиях, в первой половине 80-ых годов, были модернизированы и запущены действующие энергетические котлы под данный вид топлива. После удачной серии промышленных опытов во многих ведущих странах мира, где активно добывается уголь, доля получаемых МВт с использованием ВУТ, стала увеличиваться, тем самым доказав, что характеристики ВУТ принципиально не уступают другим видам топлива. Основные созданные демонстрационные проекты представлены в таблице 1, а

также приведен графический анализ производственных мощностей стран использующих данную технологию за период с 1983-1993 гг. (рис. 1) [6].

Таблица 1 – Демонстрационные проекты производства и сжигания ВУТ

<b>Страна</b>				
<b>Проект</b>	<b>Мощность котла</b>	<b>Мощность горелки</b>	<b>Период создания, г</b>	<b>Объем сожжённого ВУТ (с 1983 по 1995), т</b>
<b>Швеция</b>				
Сандбиберг	15 МВт	2x7 МВт	83-85	4500
Утилизация энергии Ланд	21 МВт	3x1,2 т/ч	83-85	7560
<b>США</b>				
EPRI-DuPont Мемфис	27 т пара в час	7 МВт	82	2400
В&W	30 т пара в час	10,5 МВт	84-86	4150
Бостон Эдисон	135 МВт	2x10 МВт	84	440
Южная Каролина E &G	75 МВт	4x19,6 МВт	85	942
Университет Алабамы	1,2 т пара в час водотрубный котел	1,1 МВт	92-93	110
Гос. Университет Пенсильвании	8 т пара в час мазутный котел	5,8 МВт	91-92	-

Продолжение таблицы 1

PENELEC/GRU Seward Station	150 т пара в час 32 МВт сжигание совместно с угольной пылью	5,8 МВт	93	500
<b>Канада</b>				
Chatam Установка 1	10 МВт мазутный котел	4x10,3 МВт	83-84	8000
Chatam Установка 2	22 МВт	4x20,5 МВт	83-84	-
Компания ЮСС	Агломерационная печь	-	85	3000
Sharlottetown	20 МВт модернизированный мазутный котел	-	86-87	4100
<b>Китай</b>				
Бумажный комбинат №1 Beijing	20 т пара в час модернизированный мазутный котел	4x1 т/ч	84-86	3000

Продолжение таблицы 1

Энергетический завод Baiyanghe	230 т пара в час мазутный котел	Горелки с одной ступени переведены на сжигание ВУС	92-93	1500
Нефтяное месторождение Shandong-Shengly	3 и 7 МВт водогрейные котлы	-	93	600
<b>Япония</b>				
Котел №4 компании Joban Joint Thermal Power, Nakoso	75 МВт	16x3,2 т/ч	85-86	56000
Котел №8 компании Joban Joint Thermal Power, Nakoso	600 МВт	17x11 т/ч	86-93	581000
Компания Kansai Electric Power, Himeji	33 МВт	8x3 т/ч ВУС	86-87	7500
Компания Hitachi Zosen, Kainan	34 т пара в час	-	87-88	Не известно

Продолжение таблицы 1

Компания Idemitsu Kousan, Tomakomai	110 т пара в час модернизированный мазутный котел	-	90	Не известно
Корпорация Тауса, Окаюта	45 т пара в час (разработанный котел под ВУТ)	4x2,5 т/ч	92-93	190000
Компания Chugoku Electric Power, Mizushima	125 МВт	1x4 т/ч	90-93	25000
<b>Италия</b>				
ENEL S. Barbara	125 МВт	20 МВт	82	-
Enichem- Manfredonia	22 т пара в час	15 МВт	84	1200
Enichem-Anic Porto Torres	300 т пара в час мазутный котел	30 МВт	87-88	8000
ENEAL S.Gilla Установка 2	35 МВт мазутный котел	8x13 МВт	86	-

Продолжение таблицы 1

ENEAL S.Gilla Установка 1	35 МВт мазутный котел	8x13 МВт	86	-
Cassano d'Adda электростанция	75 МВт	16 МВт	87	100000
<b>Россия</b>				
Новосибирская ТЭЦ-5	200 МВт	16x10 т/ч	86	400000
<b>Корея</b>				
YuKong, Ltd.	68 т пара в час мазутный котел	-	87	-

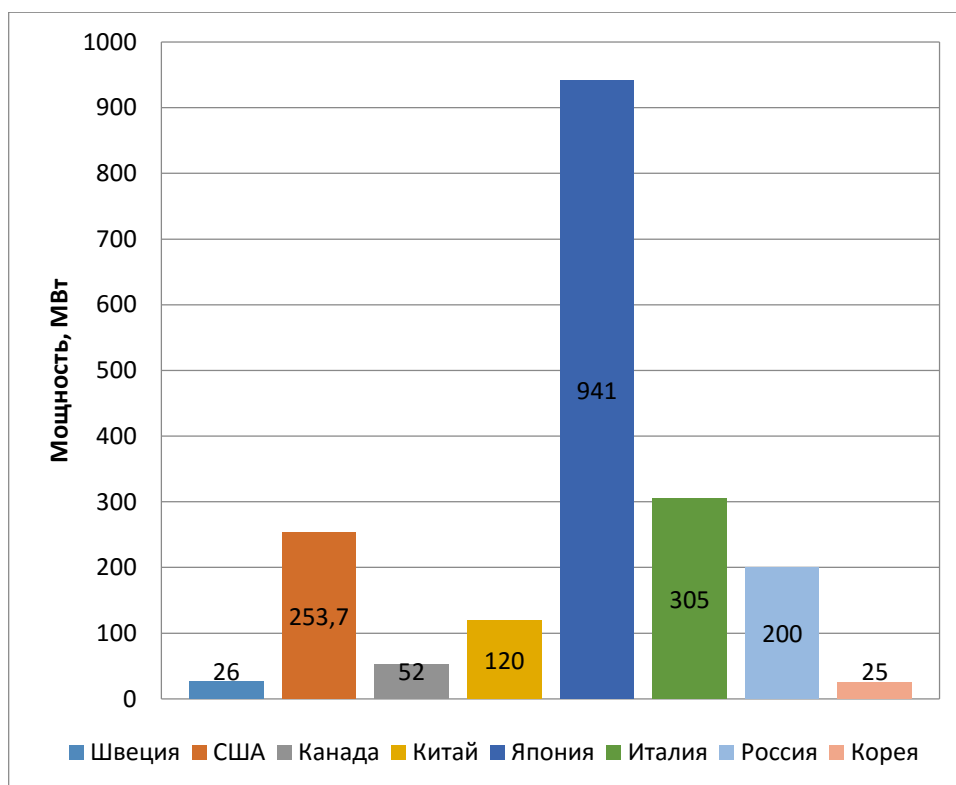


Рисунок 1 – Тепловая мощность, получаемая с помощью сжигания ВУТ в различных странах мира в период 1983-93 гг.

Из рисунка 1 видно, что явным лидером в производстве тепловой мощности на основе ВУТ является Япония. В свою очередь Россия так же имела существенный опыт эксплуатации подобной технологии.

В настоящее время наибольший размах работы по ВУТ получили в Китае, где они активно поддерживаются государством и различными коммерческими организациями. Данной тематикой в Китае занимаются три исследовательских государственных центра и к 2020 г. планируется нарастить производство и использование ВУТ на объектах энергетики до рекордного значения в 100 млн. тонн в год [7].



## 2. Способы приготовления ВУТ

Система топливоподачи и временное хранение ВУТ в топливных резервуарах тесно связаны с технологией подготовки суспензии, которая требует ряд технических решений для каждого вида угля в зависимости от его метаморфических свойств.

В настоящее время разработаны основные технологические схемы и способы подготовки подобных композиционных видов топлива на основе воды и твердой части (угля) с добавлением пластифицирующих агентов с целью обеспечения оптимальных реологических свойств.

В основе технологического процесса приготовления ВУТ лежит механическая обработка, в ходе которой разрушается структура угля, где он распадается на отдельные органические и минеральные составляющие [8].

Одними из первых и важных этапов подготовки данного вида топлива являются первичные помолы угля (сухой и влажный), поскольку именно на этих этапах существует возможность регулировать гранулометрический состав получаемого ВУТ. Размерность частиц в дальнейшем влияет на реологические и другие свойства суспензии. Наилучшие физические показатели ВУТ достигаются при более тонком помоле угля (содержание фракции в составе топлива  $>100$  мкр. не менее 50%), что позволяет увеличить твердую часть композитного топлива до 70% на примере каменного угля.

Известно, что конечный состав измельченного твердого топлива напрямую зависит от режима и способа помола, а также эффективности применяемого оборудования. На сегодняшний день общепризнано, что наиболее эффективным и экономичным способом приготовления ВУТ являются шаровые барабанные мельницы, работающие как в постоянном, так и в периодическом режиме.

Так же в процессе приготовления ВУТ очень часто используются вибрационные, роторные и кавитационные мельницы, которые как правило включаются как дополнительные ступени в системе топливоприготовления. Не

смотря на дополнительные энергозатраты, они позволяют осуществить своевременное регулирование размерности твердой части, что позволяет улучшить физические свойства приготавливаемого топлива [9].

## 2.1 Получение ВУТ с помощью барабанных мельниц

Как было сказано выше, для наиболее эффективного измельчения твердого топлива применяются шаровые барабанные мельницы (рисунок 2).

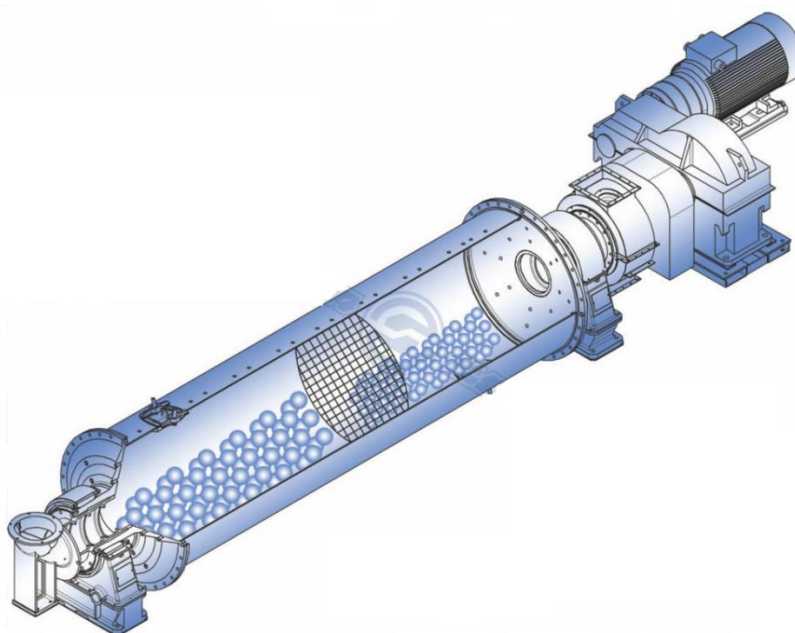


Рисунок 2 – Шаровая барабанная мельница

По режимам работы мельницы делят на устройства периодического и постоянного действия. Они характеризуются рабочей длиной барабана и его внутренним объемом.

Шаровые мельницы делятся на два типа: цилиндрические и цилиндроконические. Цилиндрические мельницы в свою очередь делятся на три вида: короткие (длина меньше диаметра), длинные (длина равна 2-3 диаметра) и трубные (длина больше диаметра не менее чем в 3 раза).

В зависимости от дробящей среды различают мельницы шаровые, стержневые и галечные, основным отличием которых являются мелющие тела, характерные каждому типу мельниц.

В свою очередь по способу разгрузки измельченного продукта различают мельницы с выгрузкой через центральную часть мельницы или через решетку. Из мельниц, обладающих центральной выгрузкой, обрабатываемый материал удаляется свободным сливом через разгрузочное устройство – цапфу. У мельниц с решетчатой разгрузкой изъятие материала производится через специальное подъемное устройство принудительным способом [1].

## 2.2 Вибрационные мельницы

Альтернативным видом помола шаровой барабанной мельнице на сегодняшний день является способ вибропомола, который активно применяется в промышленных масштабах. К вибрационному способу помола относятся вибрационные, центробежные, струйные виды измельчителей. Удельная производительность этих мельниц в несколько раз выше чем шаровых. Однако из-за высоких энергозатрат, они применяются при малой производительности или для очень тонкого помола отдельных партий. При увеличении производительности данных мельниц их надежность резко снижается и учащается их выход из строя. Вибрационная мельница, представленная на рисунке 3 представляет собой камеру, заполненную обрабатываемым материалом и специальными мелющими телами (шары, цилиндры, стержни, вилки) [1].



Рисунок 3 – Вибромельница VM-60

В данном устройстве, загруженному материалу сообщается движение посредством периодического вибрационного сотрясения камеры или расположенных в ней специальных тел. В результате этого возникает относительное движение частиц загрузки в зонах их контакта и создаются высокие механические напряжения, которые приводят к разрушению твердых частиц.

Существующий опыт использования вибрационных мельниц для приготовления ВУТ показал, что данные устройства позволяют измельчать уголь до фракции величиной около 20 мкм, что отвечает очень высоким показателям эффективности [1].

### 3. О вопросах реологии

В отличие от нефти, которая имеет многолетний опыт эксплуатации, ВУТ – новое разрабатываемое топливо, которое не является еще продукцией общего назначения. Следовательно, данный вид топлива не имеет каких-либо нормативных документов, предназначенных для оценки качества и методики его измерения. Таким образом, на сегодняшний день подобные методики определяются лабораторным путем для определенного вида угля в зависимости от степени метаморфизма и химического состава [10].

Характеристики ВУТ – это свойства, которыми оно обладает, необходимые для изучения его поведения в различных условиях и проведения исследовательской работы.

Основным требованием, предъявляемым к ВУТ, является текучесть, от которой зависит надежность работы транспортной системы и эффективность сжигания.

Реологические свойства ВУТ проявляют неньютоновский характер и относятся к бингамовским жидкостям, характеризуемым пластичностью, псевдопластичностью, набуханием и тиксотропными реологическими свойствами во времени. Реология ВУТ позволяет определить закон, которому подчиняется жидкость при воздействии деформирующего усилия на нее, а реологические параметры описываются коэффициентами, входящими в аналитическую форму закона деформирования [3].

В зависимости от реологического состояния неньютоновские жидкости делятся на три вида [1]:

- вязкие – реологические свойства не зависят от времени;
- нестационарные – реологические характеристики зависят от времени, в течение которого действует напряжение;
- вязкоупругие – обладают свойствами как жидкости, так и твердого тела.

Исходя из реологических характеристик, ВУТ относится к первой группе, которая в свою очередь делится на три подгруппы:

- бингамовские пластичные жидкости;
- псевдопластичные жидкости;
- дилатантные жидкости.

На рисунке 4 представлен график, показывающий течение суспензии на основе бурых углей марки 2Б, которое отображает вязкопластичность системы.

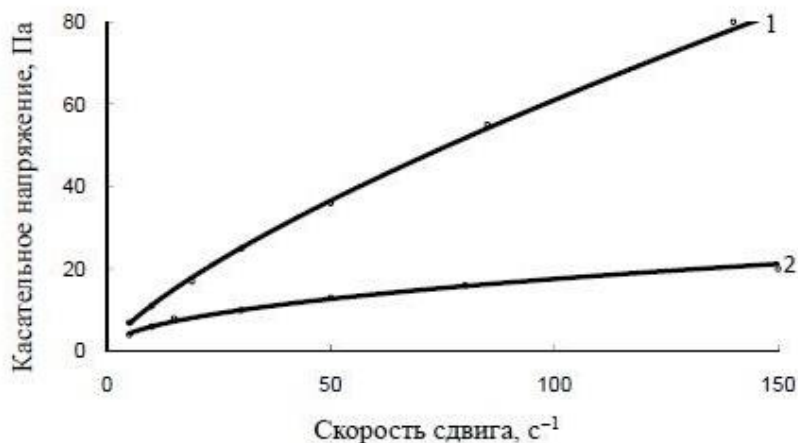


Рисунок 4 – Отношение касательного напряжения к скорости сдвига (1 и 2 – содержание твердой части 40,5 % и 37 % соответственно)

Псевдопластичные свойства ВУТ обоснованы наличием у покоящихся жидкостей пространственной структуры, достаточно жесткой, для сопротивления любому напряжению.

Данные виды жидкости не имеют предела текучести, а их кривая течения показывает, что отношение напряжения сдвига к скорости постепенно снижается (с увеличением скорости сдвига).

Дилатантные жидкости похожи на псевдопластичные тем, что у них также отсутствует предел текучести, но их кажущаяся вязкость увеличивается с повышением скорости сдвига.

Необходимо отметить, что ВУТ на основе углей с высокой степенью метаморфизма имеет большую концентрацию твердой части в отличии от топлив с более низкой степенью (бурые угли). Данный эффект вызван химическим составом топлива, где определяющую роль играет содержание углерода и минеральной части [11].

### **3.1 Применение пластифицирующих агентов, как способ повышения твердой части в составе ВУТ**

Существующий опыт применения ВУТ показывает, что осуществление гидротранспорта, сжигания и хранения данного вида топлива без снижения физико-химических показателей невозможно без применения пластифицирующих добавок.

В качестве добавок для ВУТ используются четыре типа поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1]:

- 1) анионные ПАВ – сульфатоэтоксилаты, соли ароматических полициклических сульфокислот и продукты их конденсации с формальдегидом, соли полициклических карбоновых кислот и др.;
- 2) неионогенные ПАВ – алкилфенолы, оксиэтилированные спирты, блоксополимеры оксидов этилена и пропилена, амины;
- 3) высокомолекулярные синтетические и природные соединения – полиэфирные соединения, сополимеры на основе акриловой кислоты, лигносульфонаты и др.;
- 4) неорганические (щелочные) добавки – фосфаты, гидроксиды и карбонаты металлов и др.

Ввиду неоднородности угля подбор пластифицирующих добавок ведется эмпирическим путем. Регулирование стабильности и структурно-реологических свойств ВУТ обычно связывают с адсорбцией реагентов на поверхности угольных частиц и проявлением двух факторов стабилизации: стерического и электростатического. Например, добавки анионных ПАВ, которые увеличивают отрицательный заряд частиц, снижают прочность контакта между ними путем усиления ионно-электростатического отталкивания частиц, а добавки высокомолекулярных соединений способствуют уменьшению прочности контакта, вследствие образования структурированных адсорбционных слоев. Механизм воздействия различных ПАВ представлен на рисунке 5 [1].



Рисунок 5 – Механизм действия добавок в ВУТ: а и б – диспергирование за счет электростатических сил отталкивания и образования стерического барьера, в – комбинированное воздействие механизмов а и б.

Эффективность действия высокомолекулярных органических соединений сильно увеличивается в щелочной среде в отличие от неорганических веществ. Это объясняется тем, что в щелочной среде (рН 9-12) органические высокомолекулярные вещества имеют оптимальную развернутую конфигурацию и максимально гидрофилизуют поверхность частиц угля, защищая коагуляционно-уязвимые части их поверхности.

Реагенты способны видоизменить отношение гидрофильность-гидрофобность поверхности частиц дисперсной системы, что важнее для частиц угля, свойства поверхности которых существенным образом зависят от наличия минеральных компонентов.

Также, ПАВ предотвращают обычное агрегирование частиц – коагуляцию – и препятствуют развитию коагулированных структур, адсорбционно блокируя места сцепления угольных частиц, мешая их сближению [12].

### 3.2 Функции пластификаторов

На рисунке 6 представлен механизм действия пластификатора на частицы угля.



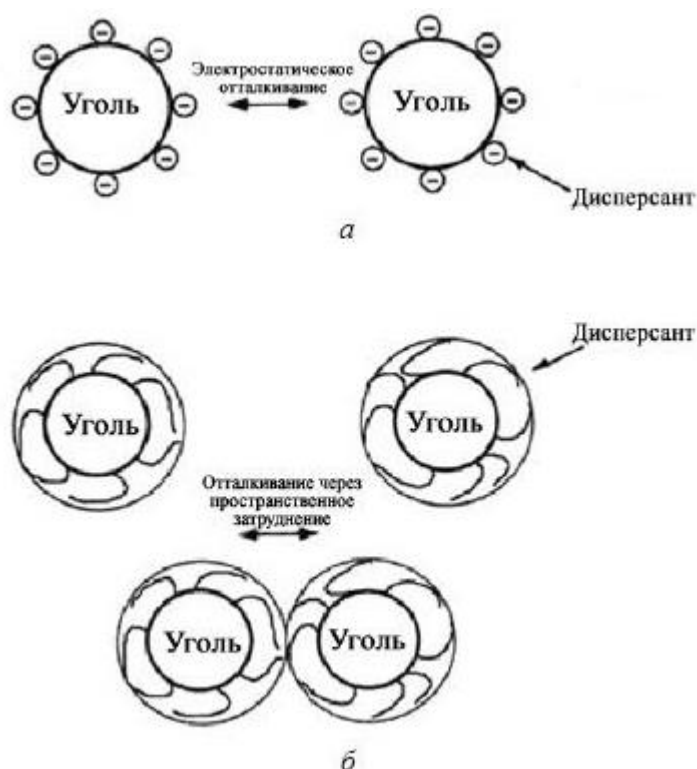


Рисунок 6 – Механизм действия пластификатора: а – эффект электростатического отталкивания; б – эффект пространственного затруднения

При эффекте электростатического отталкивания анионный реагент поглощается поверхностью угля и пропускает по поверхности материала отрицательные заряды. Угольные частицы, став таким образом отрицательными, будут сильно отталкиваться друг от друга, и тогда может быть предотвращен процесс флокуляции, что улучшит дисперсионные качества смеси.

В свою очередь эффект пространственного затруднения предотвращает флокуляцию (хлопьеобразование) между угольными частицами благодаря формированию структурированного органического каркаса в результате которого угольные частицы скрепляются друг с другом, что отлично от эффекта электростатического отталкивания [13].

Добавление ПАВ в процессе приготовления ВУТ осуществляется на первых технологических этапах обработки угля, где ПАВ добавляют в уголь совместно с водной фазой, поскольку в основном применяется мокрый помол. Благодаря смешению с водной средой происходит равномерное распределение

ПАВ между частиц угля, в результате чего достигается воздействие добавки на свойства ВУТ [14]. Однако существуют способы, где добавки вводятся после помола угля и перемешивания с водой. Существующий опыт показывает, что лучше осуществлять добавление ПАВ в несколько приемов на различных стадиях помола, за счет чего достигается рациональное использование добавки, в результате чего возрастают экономические показатели [15].

На сегодняшний день наиболее дешевыми и доступными в России ПАВ могут быть соли гуминовых кислот (гуматы) из окисленных каменных и бурых углей. Подобными свойствами также обладают углещелочные реагенты (УЩР), модифицированные оксиэтилированием или алкильными радикалами, при этом получают высокоэффективные и сравнительно доступные стабилизирующие добавки для ВУТ. В [16] описано применение эффективных и дешевых реагентов-пластификаторов на основе ЛСТ (лигносульфонат) и УЩР. Применение таких реагентов позволяет получать ВУС, которая не уступает по своим реологическим свойствам суспензии с более дорогой добавкой, такой как НФУ на основе нафталинсульфоната и аналогичному ему суперпластификатора С-3.

Как было сказано выше, ВУТ имеет неньютоновский характер жидкости и описывается бингамовским законом, поэтому с учетом зольности, распределения частиц, концентрации угля и его свойств в качестве дополнительной добавки используют полисахариды [16], с целью обеспечения стабильности при хранении ВУТ в резервуарах. В данном случае в условиях нулевого течения потока и низкой скорости сдвига стабилизирующий реагент сгущает суспензию, обеспечивая мостиковую флокуляцию между угольными частицами. При перекачивании эти связи разрушаются, что дает возможность для транспортирования ВУТ без существенных затруднений.

#### 4. Характеристика исходных образцов

В качестве исходных образцов твердого топлива были приняты бурые угли марок 2Б и 3Б месторождений «Бородинское» и «Балахтинское» соответственно. Данные угли были выбраны ввиду того, что они не представляют серьезного интереса для широкого применения в энергетической области из-за низких теплофизических свойств.

Данные угли относятся ко второй стадии метаморфизма – буроугольной. На этой стадии полностью отсутствуют неразложившиеся элементы растений, а также характерна потеря пластичности и кислотность всей или части аморфной массы. Буроугольная стадия может быть представлена:

- бурой массой землистого вида, микроскопически однородной и не содержащей включений;
- однородной, почти черной блестящей массой;
- черно-бурой матовой массой землистого характера, содержащей включения блестящего черного угля и матового угля, сходного с древесным.

В таблице 2 отображен элементный состав рассматриваемых образцов, определенный с помощью микроскопа JEOL JCM 6000.

Таблица 2 – Элементный состав образцов угля

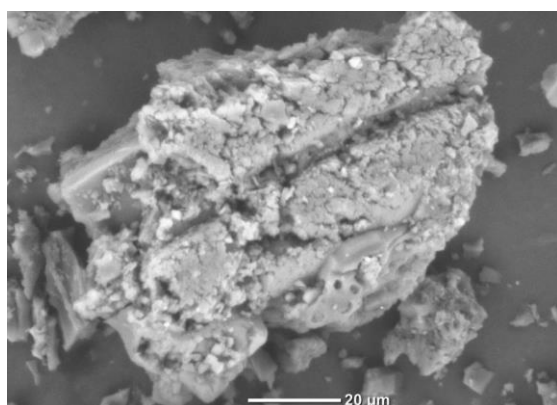
Элемент	Содержание элемента в мас.%	
	2Б	3Б
C	63,12	65,99
N	12,62	12,55
O	17,40	14,25
S	-	0,16
Ca	6,52	1,84
K	-	0,40

Продолжение таблицы 2

Fe	-	1,25
Mg	0,16	-
Al	0,10	0,84
Si	0,08	2,72
Итого	100	100

Минеральная часть, содержащаяся в исходных углях, вступает в реакцию с водой при приготовлении ВУТ и неоднозначно влияет на последующий концентрационный состав и реологические свойства получаемой суспензии. Этот эффект вызван значительным выделением гуминовых кислот из минеральной части углей в процессе их помола, что приводит к повышению вязкости приготавливаемого топлива [1].

Микрофотографии исходного угля (рисунок 7), выполненные с помощью микроскопа JEOL JCM 6000 показывают, что исходные частицы угля имеют негладкую пористую поверхность. Как известно [17], угли с подобной структурой имеют более высокую размолоспособность. При этом наличие большого числа пор приводит к увеличению сорбционного объема, что ведет к возрастанию влагоемкости и гидрофильности угля, в результате чего повышается вязкость ВУТ [18].



а



б

Рисунок 7 – Микрофотографии частиц исходных образцов углей (а, б – угли марок 2Б и 3Б соответственно)

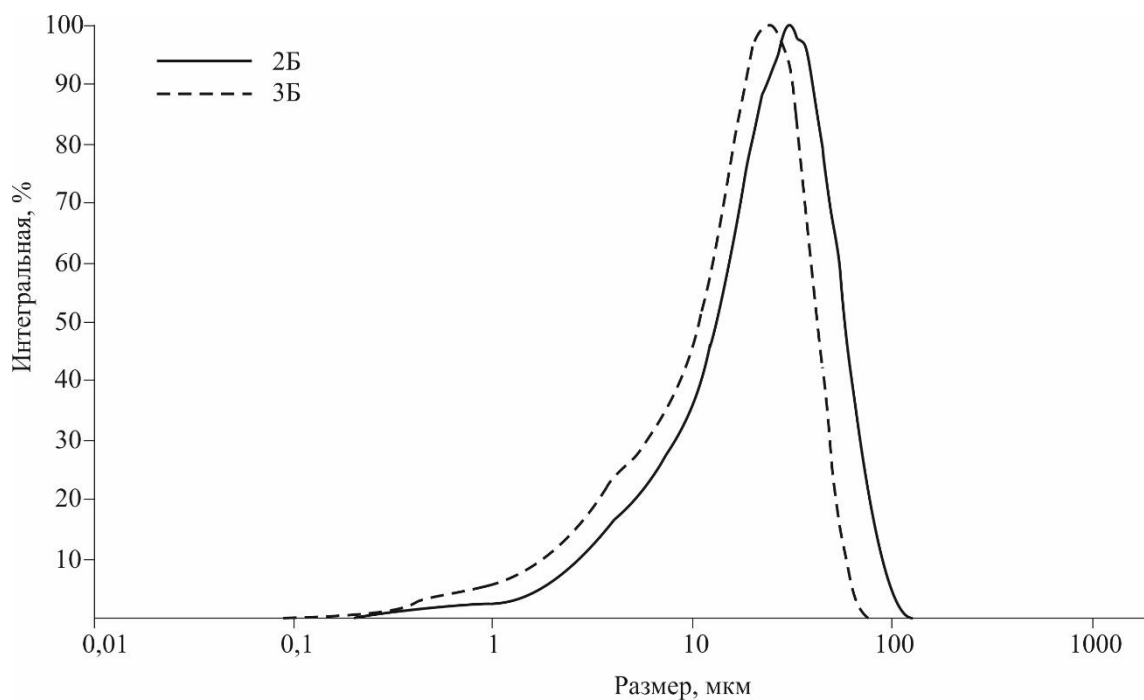


Рисунок 8 – Результаты гранулометрического анализа исходных образцов

В таблице 3 представлен технический анализ, рассматриваемых образцов углей, выполненный согласно существующим методикам [19-22].

Таблица 3 – Технический анализ угля

Образец	Аналитическая влажность $W^a$ , %	Зольность $A^d$ , %	Выход летучих веществ $V^{daf}$ , %	Низшая теплота сгорания $Q_{н^p}$ , МДж/кг
Уголь марки 2Б	14,11	4,12	47,63	22,91
Уголь марки 3Б	15,52	3,85	46,62	23,36

Как видно из таблицы 3, исследуемые угли имеют высокую влажность и зольность.

## 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 6.1 Перечень работ и оценка времени их выполнения

Таблица 8 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
1	Получение задания	Инженер	1
2	Аналитический обзор тенденций развития технологии водоугольного топлива в мире и в России по литературным источникам	Инженер	10
3	Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение реологических свойств водоугольного топлива	Инженер	30
4	Анализ результатов исследования	Инженер	5
5	Написание раздела “Социальная ответственность”	Инженер	10
6	Написание раздела “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”	Инженер	6
8	Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	7
9	Консультации	Научный руководитель	5
	<b>ИТОГО</b>	Инженер	69
		Научный руководитель	5

### 6.2 Смета затрат на проект

Суммарные затраты на разработку темы или договорная цена на выполнение работы будет рассчитываться по формуле:

$$K_{\text{пр}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}}, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{мат}}$  – материальные затраты;

$I_{ам}$  – амортизация компьютерной техники;

$I_{зп}$  – заработная плата сотрудников;

$I_{со}$  – социальные отчисления;

$I_{пр}$  – прочие затраты;

$I_{накл}$  – накладные расходы;

а) Оценим затраты на материалы. К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по средней рыночной стоимости на 2016 год по соответствующим ценникам и приведена в таблице 2.

Таблица 9 – Материальные затраты научного проекта

№ п/п	Наименование	Кол-во	Цена, руб.	Стоимость, руб.
1	Бумага для принтера А4	1 пач.	170	170
2	Картридж для принтера	1 шт.	400	400
3	Ручка шариковая	5 шт.	20	100
4	Карандаш чертежный	1 шт.	60	60
5	Уголь	50 кг	2	100
6	Гидроксид натрия	200 г	15	30
7	Лигносульфонат	300 г	3	9

Итого: 869 рублей.

б) Амортизация компьютерной техники вычисляется по следующей формуле:

$$I_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot C_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{69}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{7} = 675 \text{ руб./год}, \quad (2)$$

где  $T_{исп}$  – время использования компьютерной техники, дней;

$T_{кал}$  – количество дней в году, дней;

$C_{\text{кт}}$  – стоимость компьютерной техники, руб.;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники, лет;

в) Заработная плата сотрудников:

Инженер:  $I_{\text{зп}}^{\text{инж}} = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735$  руб.;

Научный руководитель:  $I_{\text{зп}}^{\text{нр}} = (3П_0 \cdot K_1 + Д) \cdot K_2 = (23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3 = 36179$  руб.;

где  $3П_0$  – месячный оклад (инженер – 14300 руб., научный руководитель, доцент – 23300 руб.);

$K_1$ - коэффициент, учитывающий отпуск, равный 1,1 (10%);

$K_2$ - районный коэффициент, равный 1,3 (10%);

$Д$  – доплата за интенсивность труда (научный руководитель, доцент - 2200 руб.).

Фактическая заработная плата:

Инженер:  $I_{\text{зп}}^{\text{факт.инж}} = \frac{I_{\text{зп}}^{\text{инж}}}{21} \cdot n = \frac{20735}{21} \cdot 111 = 109599$  руб.;

Научный руководитель:  $I_{\text{зп}}^{\text{факт.нр}} = \frac{I_{\text{зп}}^{\text{нр}}}{21} \cdot n = \frac{36179}{21} \cdot 18 = 31011$  руб.;

где  $n$  – количество отработанных дней;

$I_{\text{со}}$ - затраты на социальные отчисления, составляют 30% от ФЗП

где  $\text{ФЗП} = I_{\text{зп}}^{\text{факт.инж}} + I_{\text{зп}}^{\text{факт.нр}} = 109599 + 31011 = 140610$  руб.

$$I_{\text{со}} = \frac{30 \cdot \text{ФЗП}}{100} = \frac{30 \cdot 140610}{100} = 42183 \text{ руб.} \quad (3)$$

$I_{\text{пр}}$  – прочие затраты, составляют 10% от суммы всех остальных затрат;

$$I_{\text{пр}} = \frac{10 \cdot (I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{со}} + I_{\text{накл}})}{100} = \frac{10 \cdot (869 + 675 + 109599 + 42183 + 113828)}{100} = 26715 \text{ руб.} \quad (4)$$

$I_{\text{накл}}$ - накладные расходы, составляют 200% от ФЗП

$$I_{\text{накл}} = \frac{200 \cdot \text{ФЗП}}{100} = \frac{200 \cdot 140610}{100} = 281220 \text{ руб.} \quad (5)$$

Теперь мы можем найти сумму капитальных затрат на проект:



$$\begin{aligned}
K_{\text{пр}} &= I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{со}} + I_{\text{накл}} = \\
&= 869 + 675 + 109599 + 26715,4 + 42183 + 281220 = \\
&= 461261,4 \text{ руб.}
\end{aligned}
\tag{6}$$

Таблица 10 – Материальные затраты научного проекта.

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	869
Затраты на амортизацию	675
Затраты на заработную плату	109599
Затраты на социальные отчисления	42183
Прочие затраты	26715,4
Накладные расходы	281220
Итого:	461261,4

### 6.3 Анализ затрат на производство водоугольной суспензии в зависимости от способа обработки

В данной работе рассматривается применение двух способов обработки водоугольной суспензии с целью улучшения ее реологических характеристик.

При использовании механической обработки основными затратами являются стоимость угля и электроэнергии для привода РАМП. Использование химических добавок влечет за собой затраты в виде стоимости реагентов и угля. Стоимость угля в обоих экспериментах одинакова. Произведем расчет затрат на производство одной тонны ВУТ.

#### 6.3.1 Расчет затрат на производство ВУТ при использовании РАМП

Время обработки одной загрузки ВУТ (1 кг) в РАМП составляет 12 секунд. Следовательно, затраты на производство одного кг суспензии составят:

$$K_{\text{рамп}} = \left( N_{\text{шбм}} \cdot t_{\text{шбм}} + N_{\text{рамп}} \cdot \frac{t_{\text{рамп}}}{3600} \right) \cdot \text{Э} = 7,5 \cdot \frac{12}{3600} \cdot 2,93 = 0,073 \text{ руб.}, \tag{7}$$

где  $N_{\text{рамп}}$  – мощность РАМП, кВт;

$t_{\text{рамп}}$  – время обработки материала в РАМП, с;

$N_{\text{шбм}}$  – мощность ШБМ, кВт;

$t_{\text{шбм}}$  – время помола в ШБМ, ч;

$\text{Э}$  – стоимость одного кВт\*ч электроэнергии, руб./кВт\*ч.

### 6.3.2 Расчет затрат на производство ВУТ при использовании химических реагентов

В работе проводилась оценка воздействия двух реагентов на свойства суспензии: гидроксида натрия и лигносульфоната. Затратами на электроэнергию в данном случае можно пренебречь, так как мощность планетарной мельницы очень мала.

Затраты на производство 1 кг ВУТ при использовании NaOH:

$$K_{\text{NaOH}} = m_{\text{NaOH}} \cdot C_{\text{NaOH}} = 5 \cdot 0,15 = 0,75 \text{ руб.}, \quad (8)$$

где  $m_{\text{NaOH}}$  – масса гидроксида натрия, необходимая для производства одного килограмма ВУТ, г;

$C_{\text{NaOH}}$  – стоимость 1 г гидроксида натрия.

Затраты на производство 1 кг ВУТ при использовании лигносульфоната:

$$K_{\text{лст}} = m_{\text{лст}} \cdot C_{\text{лст}} = 20 \cdot 0,03 = 0,6 \text{ руб.}, \quad (9)$$

где  $m_{\text{лст}}$  – масса лигносульфоната, необходимая для производства одного килограмма ВУТ, г;

$C_{\text{лст}}$  – стоимость 1 г лигносульфоната.

### 6.4 Вывод

Исходя из приведенных выше расчетов, можно сделать вывод, что использование механической обработки влечет за собой меньшие расходы, нежели применение химических реагентов. Однако, воздействие данного

способа обработки на реологические характеристики ВУТ значительно уступает гидроксиду натрия и лигносульфонату. Вследствие этого, можно сделать вывод, что выбор того или иного способа обработки должен производиться исходя из необходимых значений вязкости и седиментационной устойчивости суспензии с учетом конечного назначения, технологий транспортирования и хранения, а также экономической целесообразности.

## Список публикаций

За время написания выпускной квалификационной работы были опубликованы статьи в материалах конференций и выступления с докладами на следующих мероприятиях, представленных ниже.

### Список опубликованных работ за время написания ВКР

№ п.п.	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Авторы
1.	Modern methods of the gasification	Печатн.	Лингвистические и культурологические традиции и инновации: сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции «Лингвистические и культурологические традиции и инновации» / под ред. В.М. Ростовцевой; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 214с	Sokolova E.Ya, Zenkov A.
2.	Modern methods of the gasification	Печатн.	Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Scientific and Practical Results in 2014. Prospects for Their Development, Vol. I (December 22-24, 2014, Dubai, UAE)”. – Dubai.: Rost Publishing, 2014. – 179 p.	Зенков А.В.
3.	Газификация твердого топлива. Проблемы и перспективы	Печатн.	Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Scientific Issues of the Modernity, Vol. II (April 20-21, 2015, Dubai, UAE)”. – Dubai.: Rost Publishing, 2015. – 111 p.	Зенков А.В., Бейсеков М.К.
4.	Оценка эффективности регенеративной системы подогрева питательной воды для высокотемпературных турбоустановок на	Электр.	Интеллектуальные энергосистемы: труды III Международного молодежного форума. В 3т. Томск 28 сентября -2 октября 2015г. Т.2. - Материалы III Международного	Ларионов К.Б., Гвоздяков Д.В., Зенков А.В., Калугин Б.Ф.

№ п.п.	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Авторы
	децентрализованных объектах энергетики		форума «Интеллектуальные энергосистемы», 291 с.	
5.	Study of the electrophysical intra-stratal method of gasification at different heating rates of coal	Электр.	Интеллектуальные энергосистемы: труды III Международного молодёжного форума. В 3т. Томск 28 сентября -2 октября 2015г. Т.2. - Материалы III Международного форума «Интеллектуальные энергосистемы», 291 с.	Zenkov A.V., Larionov K.B., Gubin V.E.
6.	Сравнение характеристик ВУТ в зависимости от времени помола и способа обработки	Электр.	Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2-4 декабря 2015 г., Томск в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) [и др.]; ред. кол. В. В. Литвак [и др.]. — Т. 1. — [С. 313-317].	А. В. Зенков, К. Б. Ларионов, А. А. Толокольников
7.	Coal-water slurry	Печатн.	Язык и мировая культура: взгляд молодых исследователей: сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции: в 3-х ч. / под ред. Н.А. Качалова (Часть III); Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 211 с.	Зенков А., Соколова Э.Я.