

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

---

Институт: Энергетический  
Специальность: 130301 Теплоэнергетика и теплотехника  
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы  |
|--|
| <b>ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА<br/>С ПРИМЕНЕНИЕМ РОТОРНОГО АППАРАТА МОДУЛЯЦИИ ПОТОКОВ</b> |

УДК 662.94:532

Студент

| Группа      | ФИО                                  | Подпись | Дата |
|-------------|--------------------------------------|---------|------|
| <b>5Б2А</b> | <b>Толокольников Антон Андреевич</b> |         |      |

Руководитель

| Должность                         | ФИО                   | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|---------|------|
| <b>ассистент кафедры<br/>АТЭС</b> | <b>Янковский С.А.</b> | -                      |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                             | ФИО                | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------|---------|------|
| <b>доцент<br/>кафедры менеджмента</b> | <b>Попова С.Н.</b> | <b>к.э.н., доцент</b>  |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность   | ФИО                     | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|-------------------------|------------------------|---------|------|
| <b>доцент кафедры<br/>экологии и<br/>безопасности<br/>жизнедеятельности</b> | <b>Гусельников М.Э.</b> | <b>к.т.н., доцент</b>  |         |      |

Нормоконтроль

| Должность  | ФИО                | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|--------------------|------------------------|---------|------|
| <b>ст. преподаватель<br/>кафедры атомных и<br/>тепловых<br/>электростанций</b> | <b>Вагнер М.А.</b> | -                      |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016 г.

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

| Код результата                      | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)  |
|-------------------------------------|--|
| <i>Универсальные компетенции</i>    |  |
| Р1                                  | Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.  |
| Р2                                  | Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.  |
| Р3                                  | Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.  |
| Р4                                  | Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.   |
| Р5                                  | К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.   |
| Р6                                  | Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.   |
| <i>Профессиональные компетенции</i> |  |
| Р7                                  | Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.   |
| Р8                                  | Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.   |
| Р9                                  | Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений. |
| Р10                                 | Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.   |
| Р11                                 | Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать   |

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
|                                     | опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.  |
| P12                                 | Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.   |
| <i>Специальные профессиональные</i> |  |
| P13                                 | Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.                           |
| P14                                 | Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины. |
| P15                                 | Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.  |
| P16                                 | Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.              |

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

---

Институт Энергетический  
Направление подготовки **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**  
Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН  
А.С. Матвеев

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

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

В форме:

**бакалаврской работы**

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа      | ФИО                                  |
|-------------|--------------------------------------|
| <b>5Б2А</b> | <b>Толокольников Антон Андреевич</b> |

Тема работы:

**Исследование реологических свойств водоугольного топлива с применением роторного аппарата модуляции потоков**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**10 июня 2016 года**

**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.).*

Целью обзора является исследование влияния механической обработки на реологические свойства водоугольной суспензии. Объектом исследования в работе является водоугольная суспензия. Предметом исследования выступают реологические свойства водоугольного топлива, а именно вязкость, плотность и седиментационная устойчивость водоугольной суспензии на основе разных марок углей в различных концентрациях, а также изучение характеристик ее зажигания.

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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"> <li>1. История создания водоугольного топлива и существующий опыт использования</li> <li>2. Способы приготовления водоугольного топлива</li> <li>3. Получение водоугольного топлива с помощью барабанных мельниц</li> <li>4. Получение водоугольного топлива с помощью вибрационных мельниц</li> <li>5. Реологические свойства водоугольного топлива</li> <li>6. Характеристика исходных образцов</li> <li>7. Изменение реологических свойств водоугольного топлива на основе низкосортных углей с применением механической обработки</li> <li>8. Заключение</li> </ol> |
| <p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>   |  |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br/><i>(с указанием разделов)</i></p> |  |
| <p><b>Раздел</b></p>   | <p><b>Консультант</b></p>  |
| <p><b>Финансовый менеджмент</b></p>  | <p><b>Попова С.Н., доцент кафедры менеджмента</b></p>                                    |
| <p><b>Социальная ответственность</b></p>   | <p><b>Гусельников М.Э., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</b></p> |
| <p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>             |  |

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| <p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p> | <p><b>11 января 2016 года</b></p> |
|--|-----------------------------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность                         | ФИО                   | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|---------|------|
| <p>ассистент кафедры<br/>АТЭС</p> | <p>Янковский С.А.</p> | <p>к.т.н., доцент</p>  |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа      | ФИО                                  | Подпись | Дата |
|-------------|--------------------------------------|---------|------|
| <p>5Б2А</p> | <p>Толокольников Антон Андреевич</p> |         |      |

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

Студенту:

|        |                               |
|--------|-------------------------------|
| Группа | ФИО                           |
| 5Б2А   | Толокольников Антон Андреевич |

|                            |                |                    |  |
|----------------------------|----------------|--------------------|--|
| <b>Институт</b>            | Энергетический | <b>Кафедра</b>     | Атомных и тепловых электростанций            |
| <b>Уровень образования</b> | бакалавриат    | <b>Направление</b> | 13.03.01<br>«Теплоэнергетика и теплотехника» |

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

|   |   |
|---|---|
| <i>1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): на специальное оборудование, зарплату, страховые отчисления, прочие и накладные расходы</i> | Стоимость угля 2 руб. за кг;<br>Стоимость электроэнергии 2,93 руб. за кВт*ч           |
| <i>2. Продолжительность выполнения технического проекта</i>   | Приблизительная оценка продолжительности выполнения ТП составляет 70 календарных дней |

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

|  |   |
|--|---|
| <i>1. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП</i> | Для составления графика технико-конструкторских работ используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график инженерных работ, позволяющий лучше спланировать процесс реализации ТП   |
| <i>2. Формирование сметы</i>   | В процессе формирования сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> <li>• материальные затраты ТП;</li> <li>• затраты на специальное оборудование;</li> <li>• полная заработная плата исполнителей;</li> <li>• отчисления во внебюджетные фонды;</li> <li>• накладные расходы.</li> </ul> |

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

**Задание выдал консультант:**

|           |             |                        |         |      |
|-----------|-------------|------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент    | Попова С.Н. | К.Э.Н.,<br>ДОЦЕНТ      |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

|        |                               |         |      |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО                           | Подпись | Дата |
| 5Б2А   | Толокольников Антон Андреевич |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                    |
| 5Б2А          | Толокольников Антон Андреевич |

|                            |             |                                  |   |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|---|
| <b>Институт</b>            | <b>ЭНИН</b> | <b>Кафедра</b>                   | <b>АТЭС</b>                                     |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат | <b>Направление/специальность</b> | 13.03.01<br>«Теплоэнергетика и<br>теплотехника» |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|   |  |
|---|--|
| <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 и шум; 1.1. Электро- и пожаробезопасность. 1.2. 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<br/>ГОСТ 12.1.003-83<br/>СП 52.13330.2011<br/>ГОСТ 12.1.007<br/>ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ<br/>ГОСТ 12.2.009-80<br/>ГОСТ 12.1.030-81<br/>ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ<br/>ГОСТ 12.1.041-83 ССБТ</p>  |

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

|   |   |
|---|---|
| <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> </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>2.3 электробезопасность (в т.ч. статическое</p>  | <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– подвижные части оборудования;</li> <li>– электрический ток;</li> <li>– пожароопасность;</li> </ul>   |

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

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Гусельников Михаил Эдуардович | к.т.н. доцент          |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                           | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| 5Б2А   | Толокольников Антон Андреевич |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 63 с., 17 рис., 18 табл., 35 источников литературы.

Ключевые слова: уголь, водоугольное топливо, суспензия, роторный аппарат модуляции потоков, реология.

Объектом исследования является водоугольная суспензия.

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

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

В результате исследования была проведена оценка воздействия механической обработки 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.

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 12 |
| 1. История создания ВУТ и существующий опыт использования .....         | 14 |
| 2. Способы приготовления ВУТ .....                                      | 17 |
| 2.1 ПОЛУЧЕНИЕ ВУТ С ПОМОЩЬЮ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ.....                     | 18 |
| 2.2 ВИБРАЦИОННЫЕ МЕЛЬНИЦЫ .....   | 19 |
| 3. Реологические свойства ВУТ.....                                      | 21 |
| 4. Характеристика исходных образцов .....                               | 23 |
| 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 27 |
| 7.2 ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИДОВ ТОПЛИВА .....      | 30 |
| 7.3 КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ НИР .....                               | 31 |
| 7.5 Расчет затрат на производство ВУТ при использовании РАМП .....      | 37 |
| 7.6 ВЫВОД .....   | 37 |
| Список публикаций.....  | 38 |

## **Введение**

Для динамичного экономического развития России требовалось создать мощную систему централизованного электро- и теплоснабжения, в основном потребляющую традиционное органическое топливо (уголь, нефтепродукты, природный газ). Длительное время в топливно-энергетический баланс страны базировался на газе и мазуте (более 70%). В настоящее время в связи с истощением запасов и значительной выработкой основных месторождений нефти и газа, а также увеличивающейся продажей их за рубеж, роль твердого топлива в топливно-энергетическом балансе России увеличивается. Это обуславливается тем, что запасы угля во много раз превышают разведанные запасы нефти и газа, поэтому твердое топливо будет занимать ведущее место в мире как источник тепловой и электрической энергии [1].

Нельзя не обратить внимание, что уголь представляется наименее экологичным топливом. При сжигании энергетического угля возникает необходимость разработки и внедрения новых эффективных технологий, обеспечивающих максимальную полноту использования добытого топлива и существенный экономический эффект [1].

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].

Водоугольное топливо (ВУТ) является одной из самых перспективных технологий использования низкосортных марок углей в энергетике. 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:

- пожаро- и взрывобезопасность всех технологических операций (приготовление, хранение, транспортирование и использование);
- снижение выбросов оксидов азота, серы и углерода в атмосферу при сжигании;
- 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.

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.

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.

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 1).

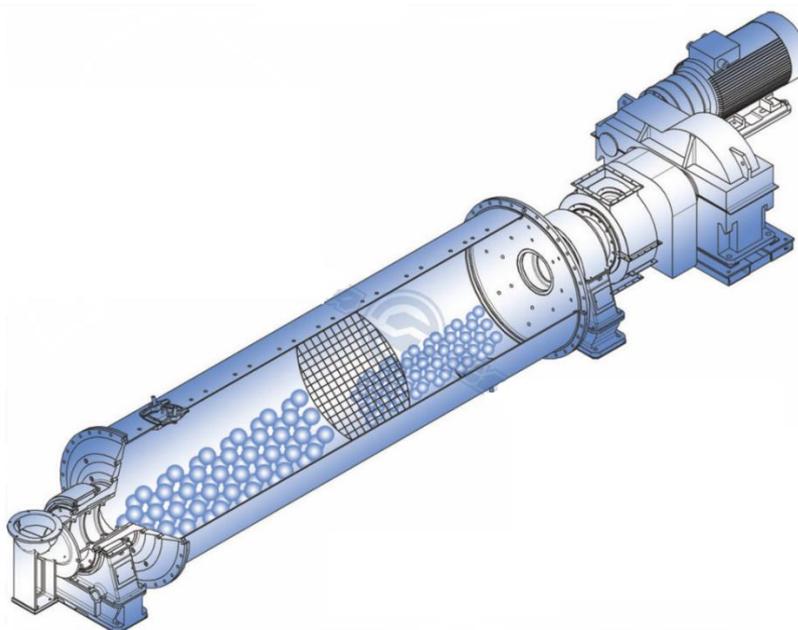


Рисунок 1 – Шаровая барабанная мельница [9]

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 2 – Вибромельница VM-60 [1]

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. Реологические свойства ВУТ

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

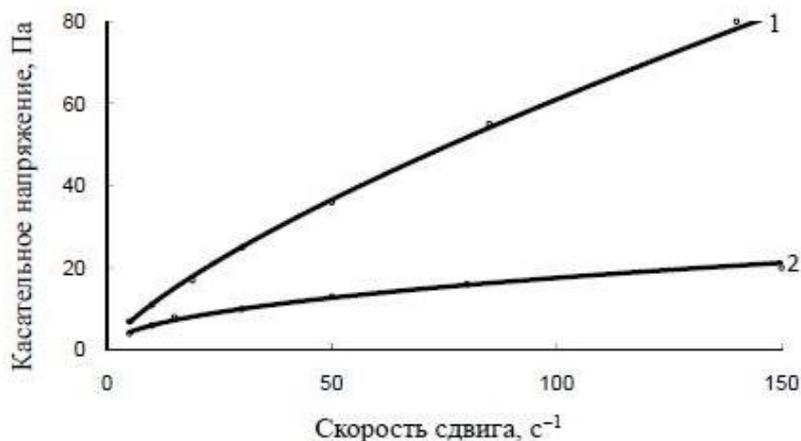


Рисунок 3 – Отношение касательного напряжения к скорости сдвига (1 и 2 – содержание твердой части 40,5 % и 37 % соответственно) [9]

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 отличие от топлив с более низкой степенью (бурые угли). Данный эффект вызван химическим составом топлива, где определяющую роль играет содержание углерода и минеральной части [11].

#### 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. В свою очередь бурые угли, согласно [12], по степени углефикации делятся на 3 стадии: O1, O2, и O3 и классы 01, 02, 03. На буроугольной 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.

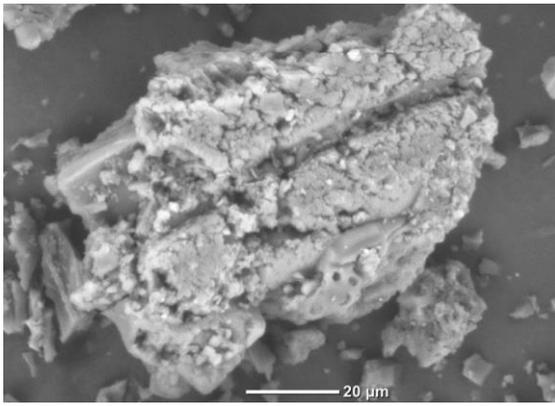
Минеральная часть, содержащаяся в исходных углях, вступает в реакцию с водой при приготовлении ВУТ и неоднозначно влияет на последующий концентрационный состав и реологические свойства получаемой суспензии. Этот эффект вызван значительным выделением гуминовых кислот из минеральной части углей в процессе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

В таблице 1 отображен элементный состав рассматриваемых образцов, определенный с помощью микроскопа JEOL JCM 6000.

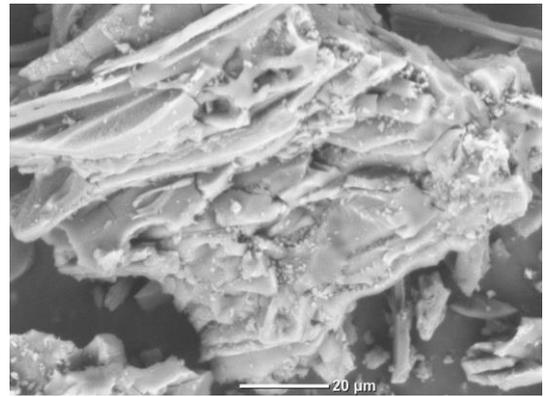
Таблица 1 – Элементный состав образцов угля

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

Микрофотографии исходного угля (рисунок 4), 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 4 – Микрофотографии частиц исходных образцов углей (а, б – угли марок 2Б и 3Б соответственно)

После первичной обработки углей был выполнен гранулометрический анализ подготовленных проб с помощью анализатора частиц Analysette 22 MicroTec Plus (рисунок 5). Согласно полученному результату видно, что полученная зависимость интегральной кривой имеет мономодальный характер и превалирующая дисперсность пробы составляет 80 мкм, как для угля марки 2Б, так и для марки угля 3Б.

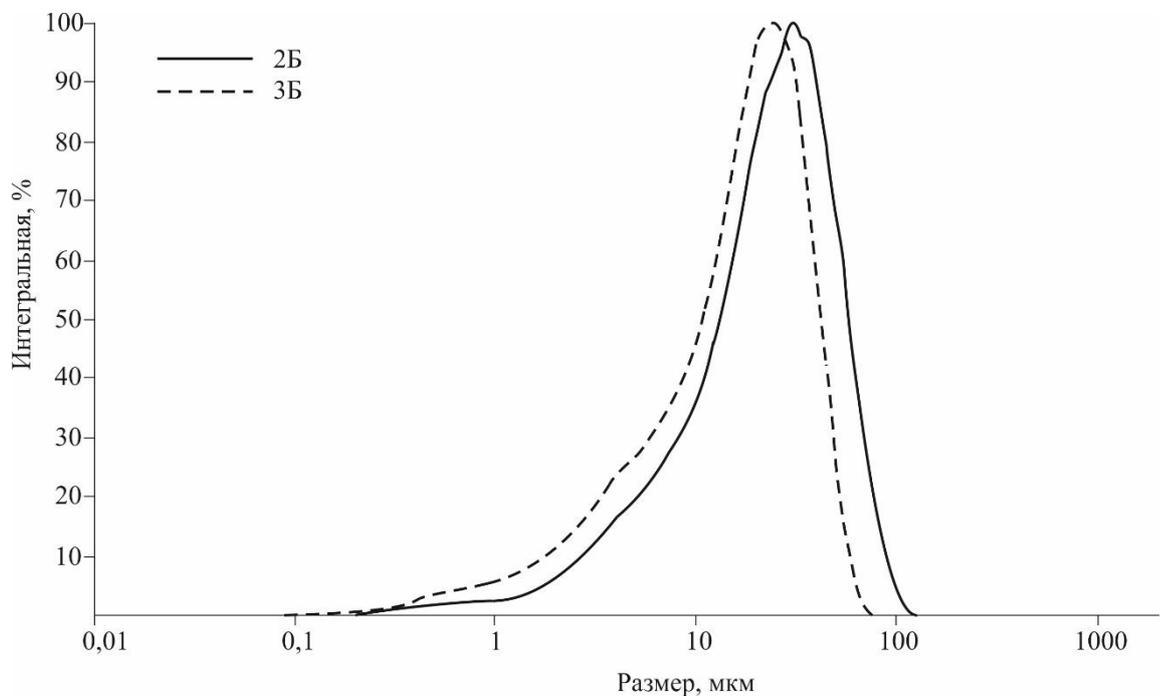


Рисунок 5 – Результаты гранулометрического анализа исходных образцов

В таблице 2 представлен технический анализ, рассматриваемых образцов углей, выполненный согласно существующим методикам [19-22].

Таблица 2 – 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 2, исследуемые угли имеют высокую влажность и зольность.

## 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является анализ перспективности проведенных в ВКР проектных работ, определение продолжительности работ над проектом, а также определение финансовых затрат для реализации проекта и разработку.

Данная работа предназначена для исследования водоугольного топлива как альтернатива традиционному бурому углю для ТЭС.

### 7.1 SWOT-анализ

SWOT-анализ предназначен для выявления сильных, слабых сторон проекта, а также возможностей создаваемого проекта и его угроз. Анализ проводится в два этапа: на первом этапе описываются сильные и слабые стороны разрабатываемой технологии, выявляются возможности и угрозы при реализации проекта; на втором этапе анализа строятся интерактивные матрицы для оценки вариантов стратегического выбора.

Сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы реализации представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Экологичность технологии.<br>С2. Дешевизна сырья.<br>С3. Использование низкосортных топлив.<br>С4. Приближенность к потребителю.<br>С5. Повышение КПД котла за счет уменьшения потерь с механическим недожогом | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Низкое теплосодержание водоугольного топлива.<br>Сл2. Новизна технологии.<br>Сл3. Необходимость в сложном гидротранспорте. |
| <b>Возможности:</b><br>В1 Значительное расширение географии применения технологии.<br>В2. Привлечение зарубежных инвестиций.<br>В3. Замена углеводородных топлив. | <b>Направления развития:</b><br>В1С3С4:<br>Возможность использования технологии в регионах, приближенных к залежам  | <b>Сдерживающие факторы:</b><br>В1Сл2: Необходимость в наработке опыта эксплуатации действующей технологии.   |

Продолжение таблицы 7

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | <p>низкосортных топлив, непригодных для традиционного сжигания.</p> <p>V2C1C2C5: Возможность привлечения зарубежных инвесторов, заинтересованных в экологических и экономических преимуществах технологии.</p> <p>V3C3: Возможность частичного перехода от ископающих нефти и газа на уголь.</p> | <p>V2C1C2C3: Инвесторы могут с осторожностью к новой технологии, требующая серьезных финансовых вложений.</p> <p>V3C1: Пока углеводородных ресурсов достаточно для обеспечения потребителя, технология может не развиваться.</p>   |
| <p><b>Угрозы:</b><br/>                 У1. Неблагоприятный экономический фон в стране.<br/>                 У2. Обращение к другим альтернативным источникам энергии.</p> | <p><b>Угрозы развития:</b><br/>                 У1C1: Технология может не обрести финансовую поддержку со стороны государства.<br/>                 У2C1: Развитие технологий, основанные на других источниках энергии может поставить под угрозу развитие технологии использования ВУТ.</p>     | <p><b>Уязвимости:</b><br/>                 У1C1C2C3: Отказ от технологии, требующая модернизацию специального оборудования в угоду экологии.<br/>                 У2C1C2C3: Развитие альтернативных источников энергии, в области которых проведено больше исследований и обладающих большей экономичностью.</p> |

На втором этапе проведения SWOT-анализа проводится составление интерактивных матриц проекта, в которых производится анализ соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах.

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта     |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|                         | B1 | -  | +  | +  | +  | -  |
|                         | B2 | 0  | +  | +  | +  | +  |
|                         | B3 | -  | +  | 0  | +  | -  |

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта    |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | B1 | -   | -   | -   |
|                        | B2 | -   | +   | -   |
|                        | B3 | +   | -   | -   |

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

| Слабые стороны проекта |    |    |    |    |    |    |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта         |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|                        | У1 | -  | +  | +  | +  | +  |
|                        | У2 | +  | -  | -  | 0  | 0  |

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Угрозы проекта         |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | У1 | +   | +   | +   |
|                        | У2 | -   | +   | +   |

## 7.2 Экспертная оценка эффективности применения видов топлива

В данном исследовании рассматривается водоугольная суспензия и традиционный уголь марки БЗ. Для оценки наиболее подходящего вида топлива использован метод экспертного оценивания.

Для каждого типа подогревателей в столбцах с характеристиками необходимо поставить оценку от 1 до 5, показывающую степень совершенства подогревателя относительно данной характеристики.

$b_i$  – важность критерия – в этой строке необходимо было поставить цифру от 1 до 5.

$W_i$  – весовой коэффициент – в этой строке рассчитывается весовой коэффициент каждого фактора конкурентоспособности как отношение важности критерия к сумме важностей всех факторов  $\frac{b_i}{b_{\Sigma}}$ .

Далее необходимо умножить полученные весовые коэффициенты на оценку эксперта (от 1 до 5) и сумма полученных значений даст итоговую оценку эксперта по каждому поставщику.

Модель экспертной оценки строится по следующим параметрам:

- 1. Эффективность применения.** Эффективность топлива характеризуется коэффициентом полезного действия, поэтому высший балл получает топливо, при применении которого котел выработает с наибольшее КПД.
- 2. Теплосодержание топлива.**
- 3. Стоимость.**
- 4. Транспортировка.**

Экспертная оценка была проведена двумя экспертами: Зенков А. В. и Ларионов К.Б.

Таблица 12 – Экспертная оценка студента Зенкова А.В.

|                                      | Эффективнос<br>ть | Теплосодержан<br>ие | Стоимост<br>ь | Транспортиров<br>ка | Сумм<br>а |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------|---------------------|-----------|
| ВУТ                                  | 5/1,39            | 3/0,666             | 5/1,39        | 3/0,666             | 4,112     |
| БЗ                                   | 3/0,834           | 4/0,888             | 4/1,112       | 5/1,11              | 3,944     |
| Важность (b <sub>i</sub> ) [1-<br>5] | 5                 | 4                   | 5             | 4                   | 18        |
| Вес (W <sub>i</sub> )                | 0,278             | 0,222               | 0,278         | 0,222               | 1         |

Таблица 13 – Экспертная оценка ассистента Ларионова К.Б.

|                                      | Эффективнос<br>ть | Теплосодержан<br>ие | Стоимост<br>ь | Транспортиров<br>ка | Сумм<br>а |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------|---------------------|-----------|
| ВУТ                                  | 5/1,39            | 3/0,666             | 4/1,112       | 3/0,666             | 3,834     |
| БЗ                                   | 3/0,834           | 5/1,11              | 3/0,834       | 4/0,888             | 3,666     |
| Важность (b <sub>i</sub> ) [1-<br>5] | 5                 | 4                   | 5             | 4                   | 18        |
| Вес (W <sub>i</sub> )                | 0,278             | 0,222               | 0,278         | 0,222               | 1         |

Таблица 14 - Итоговая экспертная оценка

|     | Зенков А.В. | Ларионов К.Б. | Средний балл |
|-----|-------------|---------------|--------------|
| ВУТ | 4,112       | 3,834         | 3,973        |
| БЗ  | 3,944       | 3,666         | 3,805        |

По результатам экспертной оценки следует сделать вывод, что наиболее универсальным и экономичным типом органического топлива является водоугольное топливо.

### 7.3 Календарный план проведения НИР

Календарный план отражает перечень необходимых работ для проведения исследования, а также количество исполнителей работ и длительность каждой работы.

Таблица 15 – 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                       |
| 7     | Оформление пояснительной записки ВКР   | Инженер                 | 7                       |
| 8     | Консультации   | Научный руководитель    | 5                       |
|       | <b>ИТОГО</b>   | Инженер                 | 69                      |
|       |  | Научный руководитель    | 5                       |

График Ганта строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках ВКР проекта на основе таблицы 16 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различным цветом в зависимости от исполнителя работы.

Таблица 16 – Календарный план-график проведения ОКР по теме

| № работ | Вид работ  | Исполнители  | $T_{ki}$ ,<br>кал. дн. | Продолжительность выполнения работ |   |         |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
|---------|--|--------------|------------------------|------------------------------------|---|---------|---|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|---|--|
|         |  |              |                        | январь                             |   | февраль |   |   | март |   |   | апрель |   |   | май |   |   | июнь |   |   |  |
|         |  |              |                        | 2                                  | 3 | 1       | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 |  |
| 1       | Получение задания                                    | Студент      | 1                      |                                    | ■ |         |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
| 2       | Аналитический обзор технологии водоугольного топлива | Студент      | 10                     |                                    |   | ■       |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
| 3       | Проведение лабораторных исследований                 | Студент      | 30                     |                                    |   |         | ■ | ■ | ■    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
| 4       | Анализ результатов исследования                      | Студент      | 5                      |                                    |   |         |   |   | ■    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
| 5       | Написание раздела социальная ответственность         | Студент      | 10                     |                                    |   |         |   |   |      | ■ |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
| 6       | Написание раздела финансовый менеджмент,             | Студент      | 6                      |                                    |   |         |   |   |      |   | ■ |        |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
| 7       | Оформление пояснительной записки ВКР                 | Студент      | 7                      |                                    |   |         |   |   |      |   |   | ■      |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
| 8       | Консультации   | Студент      | 5                      |                                    |   |         |   |   |      |   |   | ■      |   |   |     |   |   |      |   |   |  |
|         |  | Руководитель | 5                      |                                    |   |         |   |   |      |   |   |        | ■ |   |     |   |   |      |   |   |  |

Обозначения:

■ - Руководитель

■ - Студент

Исходя из данной диаграммы можно сделать вывод, что общая продолжительность работы над проектом составляет 69 календарных дней. Основной объем работы выполняется студентом, а самой продолжительной работой над проектом является проведение экспериментов, занимающих 30 дней.

#### 7.4 Составление сметы ВКР

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;

$I_{\text{ам}}$  – амортизация компьютерной техники;

$I_{\text{зп}}$  – заработная плата сотрудников;

$I_{\text{со}}$  – социальные отчисления;

$I_{\text{пр}}$  – прочие затраты;

$I_{\text{накл}}$  – 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 17.

Таблица 17 – 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             |

Продолжение таблицы 17

|   |                    |       |      |     |
|---|--------------------|-------|------|-----|
| 3 | Ручка шариковая    | 5 шт. | 20   | 100 |
| 4 | Карандаш чертежный | 1 шт. | 60   | 60  |
| 5 | Уголь              | 50 кг | 2,78 | 139 |

Итого: 869 рублей.

б) Амортизация компьютерной техники вычисляется по следующей формуле:

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

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

$T_{\text{кал}}$  – 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:  $I_{\text{зп}}^{\text{инж}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735 \text{ руб};$

Научный руководитель:  $I_{\text{зп}}^{\text{нр}} = (ЗП_0 \cdot K_1 + Д) \cdot K_2 = (23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3 = 36179 \text{ руб};$

где  $ЗП_0$  – 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:  $I_{\text{зп}}^{\text{факт.инж}} = \frac{I_{\text{зп}}^{\text{инж}}}{21} \cdot n = \frac{20735}{21} \cdot 111 = 109599 \text{ руб};$

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

где  $n$  – количество отработанных дней;

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

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

$$I_{со} = \frac{30 \cdot ФЗП}{100} = \frac{30 \cdot 140610}{100} = 42183 \text{ руб}$$

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

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

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

$$I_{накл} = \frac{200 \cdot ФЗП}{100} = \frac{200 \cdot 140610}{100} = 281220 \text{ руб}$$

Теперь мы можем найти сумму капитальных затрат на проект:

$$K_{пр} = I_{мат} + I_{ам} + I_{зп} + I_{пр} + I_{со} + I_{накл} \\ = 869 + 675 + 109599 + 26715,4 + 42183 + 281220 \\ = 461261,4 \text{ руб}$$

Таблица 18 – 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        |

## 7.5 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:

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

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;

$\mathcal{E}$  – стоимость одного кВт\*ч электроэнергии, руб./кВт\*ч.

## 7.6 Вывод

В заключении необходимо отметить, что технология изготовления и применения водоугольного топлива может решить несколько ключевых проблем современной энергетики и это направление необходимо развивать.

## 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.     | 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,<br>К. Б. Ларионов,<br>А. А.<br>Толокольников |