

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

Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Моделирование параметров топочной среды для факельного сжигания низкосортного угля в широком диапазоне влажности

УДК 621.182.2 – 66.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Сёмушкин Виталий Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПГС и ПГУ	Воронцова Елена Сергеевна			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент каф. МЕН		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к. т. н., доцент каф. ЭБЖ		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Парогенераторостроения и парогенераторных установок	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н., профессор каф. ПГС и ПГУ		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.03

«Энергетическое машиностроение»

Код	Результат обучения
Универсальные компетенции	
Р1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности
Р2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач
Р3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач
Р4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте
Р5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке
Профессиональные компетенции	
Р6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах
Р7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и выработать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах
Р8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию
Р9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации
Р10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях.

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

Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Кафедра ПГС и ПГУ

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4А	Сёмушкину Виталию Петровичу

Тема работы:

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПОЧНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ФАКЕЛЬНОГО СЖИГАНИЯ НИЗКОСОРТНОГО УГЛЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ВЛАЖНОСТИ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№716/с от 03.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является паровой котел с естественной циркуляцией БКЗ-220-100 Томской ГРЭС-2. <i>Паропроизводительность</i> $D = 220$ т/час; <i>Давление перегретого пара</i> $P_{пп} = 10$ МПа; <i>Температура перегретого пара</i> $t_{пп} = 510$ °С; <i>Температура питательной воды</i> $t_{пв} = 215$ °С Топливо: бурый уголь Таловского месторождения в широком диапазоне теплотехнических характеристик.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение 1 Анализ использования низкосортных топлив в энергетических установках (обзор литературы) 2 Численное моделирование параметров топочной среды при сжигании таловского бурого угля в широком диапазоне влажности: 2.1 Физико-математическая постановка задачи исследования; 2.2 Исходные данные для численного

	<p>моделирования</p> <p>3 Анализ результатов численного моделирования.</p> <p>4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>5 Социальная ответственность</p> <p>Заключение</p>
Перечень графического материала	<p>1 Эскиз топочного устройства котла БКЗ-220-100 (формат А1) – 1 лист;</p> <p>2 Результаты численного моделирования (формат А1) – 4 листа</p>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Раздел на иностранном языке	Исакова Юлия Ивановна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Анализ использования низкосортных топлив в энергетических установках (обзор литературы)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.03.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПГС и ПГУ	Воронцова Елена Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Сёмушкин Виталий Петрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4А	Сёмушкин Виталий Петрович

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Средняя стоимость 1 м³ производственного здания – 1200 руб./м³; стоимость 1 кВт потребляемой энергии – 1,93 руб.; стоимость 1 кВт заявленной мощности – 230 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Паропроизводительность котла – 220 т/ч.; установочная мощность токоприемников парогенератора – 70 кВт; число часов использования установленной мощности – 6500 ч; часовой расход воды в котле – 10 % от паропроизводительности.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления на социальные нужды – 30 %; амортизационные отчисления на капитальный ремонт и реновацию – 3,3 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Проведен анализ годовых расходов, оценка конкурентоспособности технических решений.</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Не рассматривались</i>
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Не рассматривались</i>
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Определение капитальных вложений проекта</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Проведена оценка рентабельности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Оценка конкурентоспособности ИР

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмента	Попова Светлана Николаевна	к. э. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Сёмушкин Виталий Петрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 145 страниц, 17 рисунков, 9 таблиц, 40 источников, 4 приложений.

Ключевые слова: численное исследование, котельный агрегат, поверочный расчет, топочная камера, влажность топлива, максимальная температура, низкосортное топливо.

Объектом исследования является котел БКЗ-220-100 Томской ГРЭС-2.

Цель работы – выбор оптимальной влажности таловского угля для его эффективного сжигания в камерной топке энергетического котла.

В процессе исследования проводились: поверочный расчет котельного агрегата, численное моделирование объекта исследования, сравнение и анализ полученных результатов, технико-экономический расчет эффективности разработки котельного агрегата и его перевода для работы на исследуемом топливе.

В результате исследования была получена общая картина топочных процессов, поля изолиний основных теплофизических характеристик, параметры горения, теплообмена, концентрации частиц, влаги в объеме топочной камеры.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: серийный котельный агрегат БКЗ-220-100 производства Барнаульского котельного завода с естественной циркуляцией и твердым шлакоудалением. Паропроизводительность – 220 т/час, давление перегретого пара – 10 МПа, температура перегретого пара – 510 °С, температура питательной воды – 215 °С. Котел однобарабанный, вертикально-водотрубный. В качестве проектного топлива применяется Кузнецкий каменный уголь, а также природный газ, растопочным топливом при работе на угольной пыли является мазут.

Область применения результатов – тепловые электростанции, эксплуатирующие котельные агрегаты данного типа.

Экономическая эффективность исследования по итогам проведенного технико-экономического расчета показывает, что с учетом невысоких затрат на реновацию системы подготовки топлива к сжиганию, а также снижением затрат на используемое топливо, его транспортировку и сушку проект является экономически выгодным.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

2 ГОСТ 12.1.007 – 76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

3 ГОСТ 17.2.3.02 – 78 Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.

4 ГОСТ 12.1.044 – 89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов номенклатура показателей и методы их определений.

В данной работе применены следующие обозначения с соответствующими определениями:

T – температура (К);

W_t^r – влажность (%);

A_t^r – зольность (%)

V^{daf} – выход летучих (%);

Q_i^r – калорийность (МДж/кг);

C^r – содержание углерода (%);

H^r – содержание водорода (%);

O^r – содержание кислорода (%);

S^r – содержание серы (%);

N^r – содержание азота (%).

Оглавление

Введение	12
1 Анализ использования низкосортных топлив в энергетических установках	16
1.1 Свойства и характеристики низкосортных энергетических топлив.....	18
1.2 Перспективные схемы и способы сжигания низкосортных углей	18
1.3 Вихревой способ сжигания.....	19
1.4 Сжигание топлива в псевдосжиженном состоянии.....	24
1.5 Комбинированные схемы сжигания.....	30
2 Численное моделирование параметров топочной среды при сжигании таловского бурого угля в широком диапазоне влажности	33
2.1 Объект исследования	33
2.2 Физико-математическая постановка задачи исследования.....	35
2.3 Исходные данные для численного моделирования.....	37
3 Методы исследования	39
3.1 Поверочный тепловой расчет	39
3.2 Численное исследование топочных процессов при сжигании таловского бурого и кузнецкого каменного углей в топке котла БКЗ-220-100	50
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	58
5 Социальная ответственность	70
Заключение	85
Список публикаций	87
Список используемых источников	89
Приложение А A characteristics study of the Talovskoe deposit brown coal for numerical simulation of pulverized – coal fired boiler furnace atmosphere	93

Приложение Б Энтальпии воздуха и продуктов сгорания	107
Приложение В Поверочный расчет топочной камеры котла	115
Приложение Г Результаты численного исследования топочной камеры котла БКЗ-220-100 в широком диапазоне влажности.....	131
Графический материал: на отдельных листах формата А1	
ФЮРА. 3211233.002 Эскиз топочной камеры котла БКЗ-220-100	
ФЮРА. 3211233.003 Визуализация результатов численного моделирования	
ФЮРА. 3211233.004 Визуализация результатов численного моделирования	
ФЮРА. 3211233.005 Визуализация результатов численного моделирования	
ФЮРА. 3211233.006 Визуализация результатов численного моделирования	

Введение

Наша страна располагает многочисленными запасами энергетических ресурсов и крупнейшим топливно-энергетическим комплексом. Отечественная энергетика претерпевает периодические изменения из-за нестабильной экономической ситуации и стремительно растущего уровня жизни общества. Поэтому сейчас, как никогда, важны современный подход и инновационные методы для решения первоочередных проблем энергетического сектора.

Основным механизмом государственного регулирования внутренней политики энергетического рынка является энергетическая стратегия, которая разрабатывается на долгосрочную перспективу и направлена на укрепление топливно-энергетического комплекса страны [1].

Энергетическая стратегия России до 2035 года [1] на сегодняшний день является основным документом, содержащим цели, задачи и перспективные пути развития ТЭК с точки зрения экономики и ресурсоэффективности.

В настоящий момент большее количество тепловых электрических станций страны производит энергию посредством сжигания твердых ископаемых топлив. Однако долгосрочное использование месторождений, в силу того, что большинство станций построено еще в прошлом веке и активный рост спроса на тепло - и электроэнергию приводит к уменьшению запасов проектного топлива ТЭС и, как следствие, к разработке новых или поиску альтернативных месторождений, расположенных в непосредственной близости к энергообъекту.

Согласно положениям Энергетической стратегии, базовым источником твердого топлива останется Кузнецкий угольный бассейн, но в дальнейшем планируется освоение новых месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока, в силу исчерпания запасов энергетических ресурсов [1].

Томская государственная районная электрическая станция (ГРЭС-2) была запущена в эксплуатацию еще в 1945 году. С этого момента станция прошла несколько стадий модернизации и частично переведена на газообразное

топливо, а доля использования каменного угля Кузнецкого бассейна, являющегося проектным топливом, находится в пределах 30–40 % [2].

Топливо-энергетический комплекс Томской области богат запасами необходимых энергетических ресурсов, и, в первую очередь, это нефть и газ. Согласно проведенным за последние годы исследованиям, область, помимо нефти и газа, располагает внушительными ресурсами твердых энергоресурсов: бурые угли, торф, сапропели. Бурые угли на территории Томска не вырабатывают из-за низкого качества сырья. Одним из них является Таловское бурого угольное месторождение [2]. В силу географического положения топливо обладает высокой влажностью в широком диапазоне значений, что не дает использовать данный вид топлива в энергетических целях. Для использования бурого угля необходима его качественная подготовка перед подачей в производственный процесс, что позволит рассматривать таловский уголь как альтернативу привозному кузнецкому углю. Но для этого необходимо оценить энергетическую ценность и пригодность топлива к сжиганию, используя современные методы и средства.

Наиболее известным методом является численное моделирование, которое позволяет в теории проверить большое количество практических задач за достаточно короткий срок. При помощи моделирования появляется возможность диагностики, проверки существующего или проектируемого оборудования с проработкой и оценкой различных конструктивных решений. Визуализация физико-химических процессов и наглядность экспериментов, проводимых при помощи трехмерного моделирования, является огромным подспорьем для инженера, так как еще на стадии конструирования возможна объективная оценка экономических и экологических аспектов исследуемого объекта.

Целью данной работы является выбор оптимальной влажности таловского угля для его эффективного сжигания в камерной топке энергетического котла.

Объект исследования котельный агрегат БКЗ-220-100, работающий в составе энергетического блока Томской ГРЭС-2.

Предмет исследования – физико-химические процессы, протекающие в топочной камере котла БКЗ-220-100, при сжигании таловского бурого угля.

Основные задачи исследования:

- анализ использования низкосортных топлив в энергетических установках;
- анализ исходных технических характеристик объекта исследования;
- проведение поверочного теплового расчета топочной камеры котла БКЗ-220-100 по Нормативному методу с целью формирования исходных данных для численного моделирования;
- моделирование параметров топочной среды котла БКЗ-220-100 для сжигания таловского бурого угля в широком диапазоне влажности;
- анализ результатов численного моделирования с выбором оптимальной влажности таловского угля и перспективных конструктивных характеристик.

Актуальность исследования обосновывается положениями стратегической перспективы и экономической выгодой от использования ресурсов близлежащих месторождений.

Практическая значимость:

Проведенные исследования вносят вклад в развитие энергетической инфраструктуры региона, а также являются продолжением исследований по практическому применению низкосортных углей Томской области.

Научная новизна:

Научная новизна исследования состоит в получении данных об особенностях физико-химических процессов, протекающих в топочной камере котла при сжигании таловского бурого угля, не имеющего опытного сжигания, с использованием универсального современного программно-вычислительного комплекса при проведении инженерных расчетов методом конечно-элементного анализа.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: III Международный молодежный форум «Интеллектуальные энергосистемы» (Томск, 28 сентября – 2 октября 2015 г.); XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 5 – 9 октября 2015 г.); XLIV научно-практическая конференция с международным участием «Неделя науки в СПбПУ 2015» (Санкт-Петербург, 29 ноября – 4 декабря 2015 г.), Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования» (Томск, 19 – 21 апреля 2016 г.).

1 Анализ использования низкосортных топлив в энергетических установках

Ускоренное развитие топливно-энергетического комплекса страны, в первую очередь энергетики до 2035 г., будет базироваться в основном на органическом топливе – прежде всего угле и природном газе [1]. При этом оптимизация топливно-энергетического баланса страны, предусмотренная Энергетической программой, ставит задачу достичь экономически и социально обоснованного соотношения в использовании энергоресурсов, заключенных в органическом и ядерном топливе, гидроресурсах, в возобновляемых источниках энергии, прежде всего солнечной и геотермальной [1].

В настоящее время в России расходуется для производства электрической энергии около 28 % и для производства тепловой энергии 46 % всего котельно-печного топлива, получаемого при переработке нефти. В сумме на указанные цели потребляется 3/4 этих ресурсов, в том числе около 200 млн. т в год мазута. Последовательное вытеснение больших объемов ценных нефтепродуктов из сферы котельно-печного топлива посредством его замены на другие виды топлив, рождает процесс вовлечения в энергетический баланс страны дешевых углей перспективных месторождений [1].

Широко известными и наиболее крупными месторождениями угля в стране являются Кузбасский, Экибастузский, Канско-Ачинский угольные бассейны. Последние из них относятся к категории месторождений низкосортного угля. Экибастузский – из-за высокой зольности сырья (до 55 %), Канско-Ачинский – из-за высокой влажности (до 45 %). Эти угли самые дешевые в стране, так как существует возможность добывать их открытым способом [5].

Низкосортные энергетические топлива имеют множество разновидностей. К ним относят горючие сланцы, отходы углеобогащения (шлам), растительные отходы, торф. Низкосортные топлива играют значительную роль в поддержании топливно-энергетического баланса, а в

будущем они могут стать основными среди твердых энергетических топлив, используемых на ТЭС [2]. К этому есть достаточно оснований.

Во-первых, Россия богата многочисленными запасами низкосортных топлив, в том числе и бурых углей. В пределах нашей страны бурые угли обнаружены повсеместно: Дальний Восток, Западная, Восточная Сибирь, Байкальский регион, Европейская часть и Урал – это далеко не полный перечень регионов страны, где сосредоточены крупные запасы бурых углей. Запасы биомассы, сланцев и торфа также велики [5].

Во-вторых, знания в области современной топочной техники, а также в области внедрения и разработки эффективных конструкторских решений при сжигании низкосортных топлив (сжигание в ЦКС [3], сжигание водоугольных суспензий [4]) указывают на перспективы использования топлив низкого качества в большой энергетике. В теории учеными уже давно разработаны методики совместного сжигания низкосортных топлив, однако, на практике большинство современных методов их подготовки и сжигания до сих пор не реализованы, а топливо такого рода, как считают многие, топливо будущего, новая ступень в энергетике. Сегодня, использование низкосортного топлива в комплексе, поможет внедрить его на энергетический рынок как высокоэффективное и энергетически ценное сырье для выработки электрической энергии, получения тепла, а также продуктов химической промышленности.

Резкий переход к сжиганию топлив низкого качества в энергетике с неизменными методами предварительной его подготовки предвещает огромные проблемы при его технологическом использовании – сжигании в энергетических котлах [5].

Оборудование ТЭС, в большинстве случаев, не соответствует современным экологическим требованиям и требованиям безопасности в силу выработки их ресурса, следовательно, не готово в исходном виде эффективно использовать низкосортные виды топлив. Разработка же нового оборудования, его внедрение – процесс длительный и не легкий, поэтому так важно уметь

перестраиваться «на ходу», своевременно обмениваться опытом. Большое значение при этом имеет публикация материалов по этим вопросам. Однако выбор литературы, посвященной низкосортным топливам, весьма ограничен. Особенности подготовки и сжигания низкосортных топлив на электростанциях освещены частично в журнальных статьях и тематических сборниках [3,4,5,6].

1.1 Свойства и характеристики низкосортных энергетических топлив

Отечественная энергетика знаменита огромным разнообразием низкосортного энергетического топлива. В основном, это шлам, продукты обогащения углей, сланец, торф, отходы сельского хозяйства, уголь с высокой зольностью и/или высокой влажностью. Низкая теплота сгорания – одна из главных отличительных признаков низкосортных энергетических топлив. Теплота сгорания таких топлив обычно не превышает 8–10 МДж/кг [5].

В топках энергетических котлов топливо сжигают в пылевидном состоянии, при этом теплота сгорания составляет не менее 6 МДж/кг. Технология сжигания топлива в кипящем слое позволяет сжигать даже шахтные породы, где содержание горючих веществ не превышает и десяти процентов. Низкая теплота сгорания у топлив невысокого качества объясняется тем, что такие энергоносители, помимо горючих веществ, содержат в себе балласт в виде влаги и золы [3].

1.2 Перспективные схемы и способы сжигания низкосортных углей

В основных направлениях развития перспективных схем, способов использования углей ухудшенного качества, а также выбора нового оборудования для ТЭС учитываются требования охраны окружающей среды, безотходности технологии, повышения экономичности и надежности работы котлов, включая нестационарные режимы, и разработки новых, нетрадиционных методов сжигания твердого топлива. Основными вопросами

для перспективных схем и способов являются экономичность и надежность организации сжигания, при этом основным критерием является показатель полноты выгорания твердого топлива, который характеризуется значением $C_{ун}$.

Широко используемыми способами сжигания низкосортного топлива являются: вихревой способ сжигания, сжигание топлива в псевдосжиженном состоянии, сжигания в циркулирующем кипящем слое и комбинирование способы сжигания [5].

1.3 Вихревой способ сжигания

Способ сжигания топлива в вихре заключается в организации вихревого движения смеси потоков газа и воздуха в топочном устройстве энергетического котла. Поток газа с воздухом выполняет функцию транспортировки частиц угля, а также обеспечивает их перемешивание и циркуляцию в определенных пределах. Скорость воздуха, подаваемого в вихревую топку, 30–50 м/с, оптимальный размер частиц 2–10 мм [3].

Вихревой принцип сжигания занимает промежуточное положение между факельным и слоевым. С одной стороны, он реализует сжигание твердого топлива в топочном объеме, а с другой – обеспечивает практически неограниченное время пребывания частиц разных фракций в топке.

Современным вихревым топкам свойственны значительные объемные теплонапряжения, что повышает общий температурный уровень процесса сжигания и обеспечивает режим жидкого шлакоудаления. Благодаря отбрасыванию шлака центробежными силами на стенки вихревой камеры достигается более значительная степень шлакоулавливания топки. Более чем полвека развитие сжигания реализован во многих технических схемах и конструктивных решениях. Первыми разработаны циркуляционно-вихревые топки Шершнева. В последующем было разработано много других модификаций, наиболее известными среди которых являются топки МЭИ с пересекающимися струями, гамма-топка ВТИ, вихревая топка ЦКТИ

(рисунок 1), топка с вертикальными циклонными предтопками ВТИ (рисунок 2), кольцевая циклонная топка (рисунок 3) и др. Достаточно подробное описание их конструктивных особенностей содержится в [4]. Интерес представляет эффективность использования вихревых топочных камер для сжигания низкосортных углей в котлах, эксплуатируемых в нестационарных режимах.

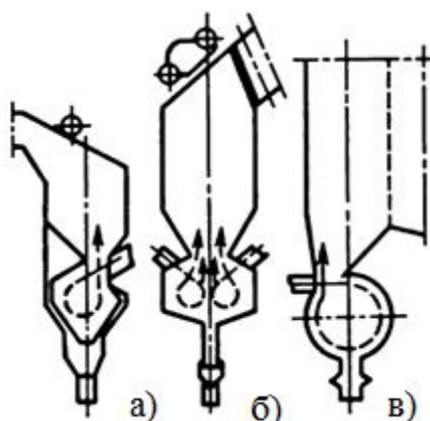


Рисунок 1 – Топки с пересекающимися струями:

- а) топка Московского энергетического института; б) топка ВТИ;
в) вихревая топка ЦКТИ

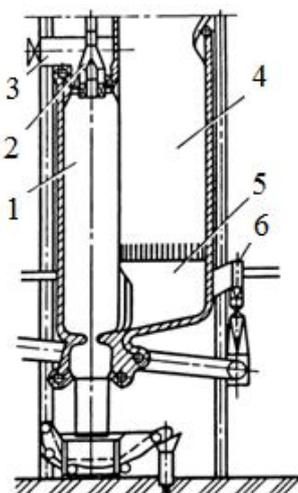


Рисунок 2 – Топка с предтопками:

- 1 – вертикальный предтопок;
2 – горелка; 3 - короб воздуха;
4 – камера охлаждения; 5 – камера дожигания; 6 – сопла

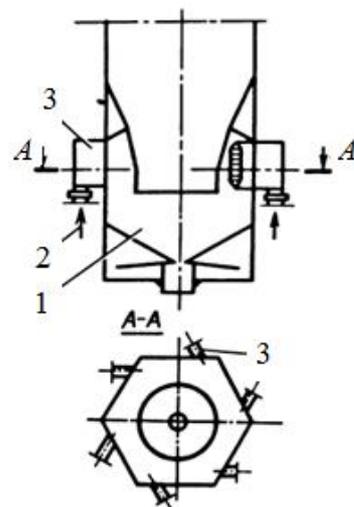


Рисунок 3 – Вертикальная циклонная топка:

- 1 – топка;
2 – воздух; 3 – горелка

Использование топки МЭИ для сжигания низкосортного АШ обеспечивает стабильное его горение в широком интервале изменения теплоты сгорания угля и нагрузки котла. К особенностям топок с пересекающимися струями следует отнести способность снижения концентрации выбросов в атмосферу оксидов азота. Это подтверждено непосредственными измерениями на котлах, работающих как на мазуте, так и на АШ. В частности, концентрация NO_x на АШ в топке с пересекающимися струями котла ТП-43 составляет $0,2-0,37 \text{ г/м}^3$, а на котле ТП-230 она достигла $1,0 \text{ г/м}^3$ [4]. Отмеченная особенность топки с пересекающимися струями обусловлена подавляющим воздействием газов внутренней принудительной рециркуляции на механизм генерации атомарного кислорода в факел, определяющий интенсивность образования оксидов азота и серы.

Близкими являются результаты, полученные при сжигании АШ ухудшенного качества в топке котла паропроизводительностью 230 т/ч с вертикальными циклонными предтопками. Устойчивый режим горения и выхода жидкого шлака обеспечивается в достаточно широком интервале нагрузок и качественных характеристик угля. Общим недостатком отмеченных топочных устройств является высокий уровень механического недожога. На рисунке 4 представлены данные о полноте выгорания АШ в топке с вертикальными циклонными предтопками ВТИ [5].

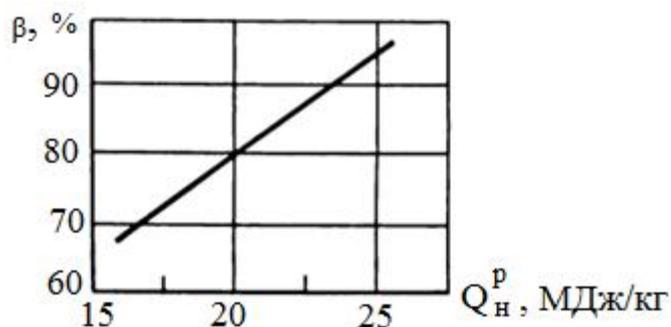


Рисунок 4 – Эффективность сжигания АШ в топке с вертикальными циклонными предтопками ВТИ: β – полнота выгорания топлива $\beta = 1 - q_4$

Приведенные показатели являются среднеэксплуатационными для котла ТП-230, оснащенного указанными топочными устройствами. Они

свидетельствуют о существенном влиянии качества топлива на эффективность работы циклонных предтопок. Снижение Q_p^H от 25 до 16,8 МДж/кг сопровождается ростом значения механического недожога от 3 % до примерно 30 %. Это значительно ограничивает возможный диапазон использования данных топок.

Кроме того, чрезмерное увеличение теплонапряжения топочного объема в циклонных и вертикальных предтопках приводит к увеличению выхода оксидов азота, а при сжигании высокозольных углей увеличивается абразивный износ поверхностей нагрева предтопок, что снижает надежность их работы.

Разновидностью вихревой топки является кольцевая циклонная топка (рисунок 3). Она представляет собой прямоугольную многогранную призму, внутри которой соосно может быть установлена вставка. В верхней части топки смонтированы газоходы, а внизу имеется холодная воронка. Щелевые горелки установлены по центру каждой грани в один ярус и направлены по касательной к условной окружности.

Предусмотрена аэродинамическая регулировка направления горелочной струи, обеспечивающая расположение факела в середине кольцевого промежутка [5]. Опыты на огневой модели показали, что в кольцевой топке может обеспечиваться устойчивое горение экибастузского и борлынского углей в широком диапазоне изменения режимных параметров. Характерным для кольцевой топки является равномерное температурное поле в объеме топки и отсутствие локальных зон с повышенной температурой. Одним из приемов, позволяющих повысить устойчивость горения низкосортных твердых топлив, является инвертный способ сжигания, при котором процесс горения осуществляется в двух больших вихрях [6]. Конструктивной особенностью инвертного топочного устройства является отдельная подача топлива и воздуха в топку. Несмотря на достаточно большое удаление в пространстве друг от друга их мест ввода, топка обеспечивает хорошее итоговое перемешивание потоков.

Как видно из рисунка 5, в котле производительностью 64 кг/с подача пыли высокой концентрации в топку осуществляется четырьмя каналами. Вторичный воздух подается по двум круглым соплам, расположенным по центру фронтальной и задней стен. В топке воздух и пыль движутся вниз, а затем газы поднимаются вверх. Топка оборудована четырьмя мазутными форсунками, расположенными по две на фронтальной и левой стенах.

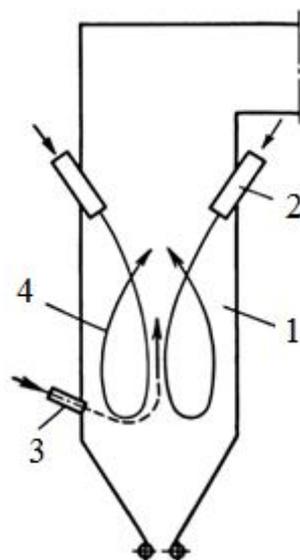


Рисунок 5 – Инвертная топка:

1 – топка; 2 – воздушные сопла; 3 – подача топлива; 4 – дымовые газы

При сжигании углей марок Д, Г и промпродукта в диапазоне нагрузок 36–58 кг/с, температура газов в районе летки находилась на уровне 1620–1690 °С при добавке мазута по теплоте до 10 %, при этом $\eta_k^{бр} = 82\text{--}87\%$. При переводе котла на сжигание АШ $\eta_k^{бр} = 60\text{--}65\%$. Таким образом, сжигание АШ ухудшенного качества в инвертной топке не представляется перспективным [6].

В целом топки с вихревым принципом работы на низкосортных твердых топливах при сжигании не способны обеспечить высокий уровень экономических и экологических показателей, однако, наиболее эффективными являются топки с умеренным тепловым напряжением ее объема.

1.4 Сжигание топлива в псевдосжиженном состоянии

Основная линия топочных устройств основана на принципе сжигания псевдосжиженного слоя топлива. Известно, что в процессе фильтрации слоя сыпучих твердых частиц материала воздухом или другим газом слой при определенных удельных массовых расходах переходит в псевдосжиженное состояние. Приобретенная частицами свобода перемещения и степень перемешивания определяются аэродинамическими и конструктивными характеристиками реализующих устройств, при этом слой аналогично жидкости может кипеть, циркулировать, бурлить и фонтанировать. Основываясь на протекающих физико-химических процессах при сжигании топлив в псевдосжиженном слое различают топки с заторможенным (классическим) кипящим слоем (КС), аэрофонтанные топки (АФТ), топки с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) и др. По уровню температур их конструкции разделяются на низкотемпературные (например, для АШ менее 1000 °С) без шлакования в слое и высокотемпературные (более 1000 °С) с шлакованием в выходной зоне слоя. В зависимости от давления, при котором происходит процесс сжигания, могут быть топки, работающие при атмосферном давлении, и топки, работающие при давлении выше атмосферного. Преимущества сжигания угля в кипящем слое состоит в том, что внутри топочного объема обеспечивается высокий коэффициент теплоотдачи, снижаются удельные капитальные затраты и уменьшаются выбросы оксидов азота в атмосферу, при этом обеспечивается возможность использования углей с высокой зольностью и низкой теплотой сгорания [5].

Использование установок кипящего слоя под давлением открывает перспективы внедрения парогазовых установок с внутрицикловой газификацией топлива [7]. По достоинству широкое распространение в малой энергетике находят установки с заторможенным низкотемпературным кипящим слоем [8]. Технологическая схема установки применительно к котлу паропроизводительностью 6,5 кг/с приведена на рисунке 6 [8].

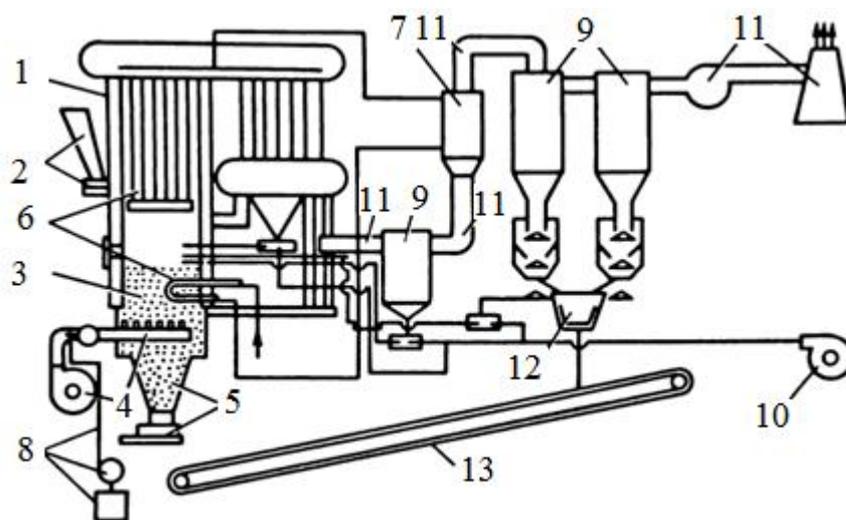


Рисунок 6 – Схема котла для сжигания АШ ухудшенного качества в низкотемпературном кипящем слое

1 – котел; 2 – топливный бункер с забрасывателем топлива; 3 – топка с кипящим слоем; 4 – дутьевой вентилятор с колпачковой решеткой; 5 – бункер золы с качающимся разгрузчиком; 6 – погружные и радиационные поверхности нагрева; 7 – экономайзер; 8 – устройство розжига; 9 – циклоны для улавливания уноса; 10 – вентилятор возврата уноса с эжекторами; 11 – газоходы котла с дымососом и дымовой трубой; 12 – сепаратор уносов; 13 – конвейер для удаления золы

Опыт сжигания низкорекреакционных топлив (антрацита, полуантрацита, тощих углей) в топках низкотемпературного заторможенного кипящего слоя показывает, что интенсификация процесса в таких топках обеспечивает устойчивость режима горения без применения вспомогательного топлива во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок. Кроме того, топки имеют хорошие экологические показатели. В зоне горения при температуре 850–1000 °С происходит интенсивное связывание оксидов серы кальцием и магнием, содержащимися в золе топлива, или, если их недостаточно, в специальных добавках. Степень поглощения оксидов серы 80–90 %. Вследствие низких температур уровень выбросов оксидов азота по сравнению с пылеугольными топками снижается на 20–50 % [5].

Для топок с низкотемпературным кипящим слоем характерны относительно низкие скорости газа в слое, составляющие обычно 2–4 м/с, что определяет теплонапряжение зеркала горения до 2,5 МВт/м². По мнению некоторых авторов, габариты топки с низкотемпературным кипящим слоем в плане соизмеримы с факельными топками аналогичной мощности, что позволяет внедрять данный способ сжигания при реконструкции действующих агрегатов, рассматривать их как альтернативный вариант [7].

На рисунке 7 в качестве объекта реконструкции показан котел ТП-230.

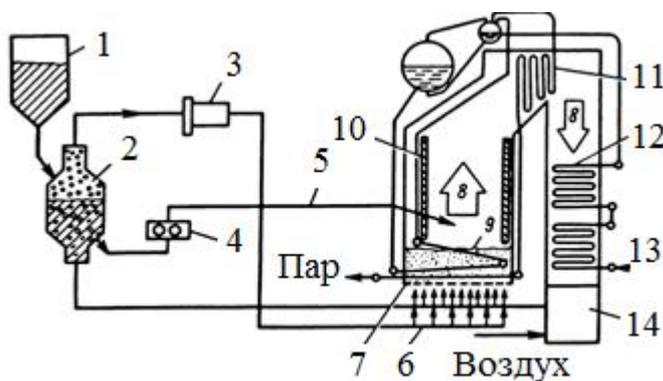


Рисунок 7 – Котел ТП-230 по схеме низкотемпературного кипящего слоя:

- 1 – бункер сырого угля; 2 – аэрофонтанная сушилка-классификатор;
- 3 – шаровая барабанная мельница; 4 – валковая дробилка; 5 – система подачи крупной фракции на слой; 6 – подача пылевидного топлива под слой;
- 7 – воздухораспределительная решетка; 8 – дымовые газы в надслоевом пространстве и в газоходах котла; 9 – кипящий слой; 10 – тепловая изоляция стен топочной камеры; 11 – пароперегреватель; 12 – экономайзер;
- 13 – питательная вода; 14 – воздухоподогреватель

При варианте реконструкции по технологии низкотемпературного (классического) КС требуются минимальные затраты в связи с сохранением геометрии котла. Воздухораспределительная решетка площадью 78 м² размещается в нижнем сечении котла. Высота слоя 1,6 м. Температура слоя 950–1000 °С поддерживается отводом теплоты из слоя поверхностями нагрева, имеющими площадь 670 м². Расчетный КПД котельной установки брутто 84 %, паропроизводительность 61 кг/с с параметрами пара: температурой 510 °С,

давлением 11 МПа. Потеря теплоты с механическим недожогом 3,1 %, с уходящими газами 6 %, с физической теплотой шлака (золы) 1,27 %. Необходимость обеспечения достаточной маневренности котла требует секционирования топки, что представляет сложную задачу [5].

Технология низкотемпературного кипящего слоя требует специальной сортировки топлива. Из него должны удаляться мелкие фракции размером 0,1–2,0 мм, плохо выгорающие из-за их интенсивного выноса из слоя в камеру. Важным мероприятием по снижению потерь теплоты с механическим недожогом в КС может быть возврат уноса в слой. Сложности представляют пусковые операции. Перед запуском котла бункер золы с качающимся разгрузчиком заполняется золой (или другим инертным материалом) фракцией 0–13 мм на 200–250 мм выше уровня колпачковой воздухоподающей решетки. Затем включается устройство розжига, разогревающее золу в бункере до температуры 600–650 °С с помощью сжигания жидкого топлива. После достижения температуры слоя 700–850 °С прекращается подача жидкого топлива. Периодическое удаление золы осуществляется с помощью качающегося разгрузчика и конвейера. Тепловая мощность котла регулируется подачей топлива в топку или изменением положения погружных поверхностей нагрева. Общая глубина регулирования составляет 40–100 % номинальной нагрузки. Процесс горения в топках с низкотемпературным слоем осуществляется при повышенном коэффициенте избытка воздуха, что приводит к увеличению уноса с дымовыми газами.

Важнейшим параметром, в значительной степени определяющим эффективность работы низкотемпературного кипящего слоя, является коэффициент реакционной способности топлива $R_T = V^e / (1 - V^e)$, где V – относительное содержание летучих в горючей массе. Значения R_T составляют для бурых углей 0,8–1,25, для каменных 0,1–1,0, для тощих 0,1–0,2, для антрацитов 0,035–0,1. В зависимости от значения R_T показатель полноты выгорания топлива β может изменяться от 92 до 98 % (рисунок 8), возрастая с ростом выхода летучих. Можно оценить предельные значения зольности и

влажности топлива, допускающие его использование в топках с низкотемпературным кипящим слоем. Из приведенных на рисунке 9 данных следует возможность устойчивого сжигания в топках с низкотемпературным кипящим слоем топлив, содержащих до 90 % инертных компонентов. Этот вывод подтвержден в условиях реальной эксплуатации.

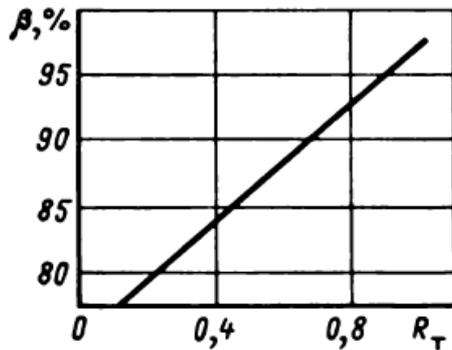


Рисунок 8 – Эффективность сгорания антрацитовых углей в топках с низкотемпературным кипящим слоем:

β – полнота выгорания топлива;
 R_T – коэффициент реакционной способности топлива

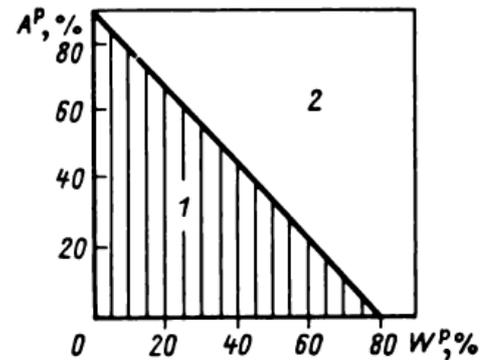


Рисунок 9 – Характеристики забалластированных топлив, при которых допустимо их использование в топках с низкотемпературным кипящим слоем: 1 – рабочая область характеристик топлива; 2 – нерабочая область

С увеличением единичной мощности котельной установки с низкотемпературным кипящим слоем сложность ее эксплуатации существенно возрастает, а надежность снижается. Это значительно ограничивает возможности использования данной технологии для мощного энергетического оборудования.

Зарубежные энергетические компании значительное внимание уделяют освоению технологии сжигания топлива в топках с ЦКС [7]. Совместную проработку в этом направлении осуществляют фирмы «Lurgi GmbH» (Германия) [9], «Combustion Engineering» (США).

Принцип ЦКС основан на многократном возврате в топку уноса, в связи с чем особенностью котлов, работающих по этой технологии, является наличие крупногабаритных циклонов, в которых улавливаются крупные частицы. Котлы

с ЦКС отличаются более высокой степенью выгорания топлива и малыми коэффициентами избытка воздуха по сравнению с КС и АФТ.

Интерес к топкам с ЦКС связан с возможностью увеличения скорости газов в слое до 5–7 м/с, или в 2–2,5 раза, чем при применении топок с кипящим слоем. В результате габариты топки уменьшаются в 1,5–2 раза. В основном отрабатываются в опытно-промышленной эксплуатации котлы мощностью от 22 до 125 МВт. Самый крупный котел с циркулирующим кипящим слоем сооружен фирмой «Lurgi GmbH». Его паропроизводительность 75 кг/с, давление 14,5 МПа. Схема котла с ЦКС представлена на рисунке 10.

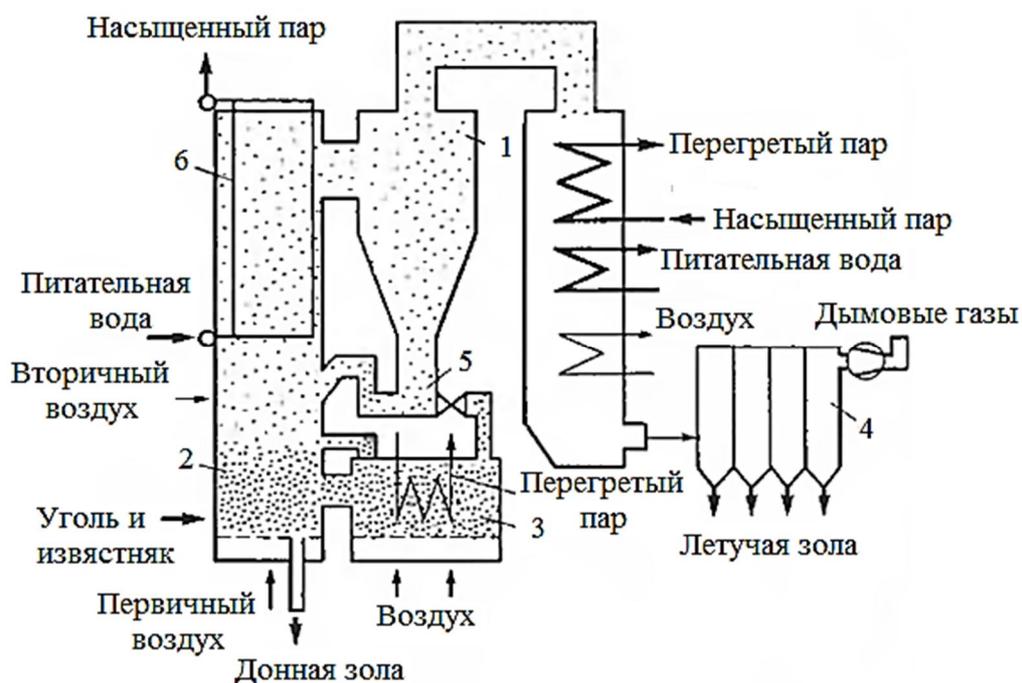


Рисунок 10 – Принципиальная схема ЦКС – котлоагрегата системы «Lurgi»:
 1 – циклон; 2 – топка; 3 – теплообменник кипящего слоя; 4 – рукавный фильтр;
 5 – L-клапан; 6 – испарительные поверхности нагрева

Котельная установка состоит из реактора с кипящим слоем, циклона, парового котла, электрофильтров и дымовой трубы. В реактор подается уголь с известью, где при избытке воздуха 1,1–1,15 происходит его выгорание и одновременное связывание серы. Несгоревшая часть топлива из циклона направляется обратно в кипящий слой реактора. Для абсорбции диоксидов серы используется известняк. Топливо и известняк подаются в слой в нескольких местах.

Первичный воздух вводится через распределительную плиту в дне топки и используется для ожижения слоя. Вторичный воздух направляется в нижнюю часть топки и используется для регулирования в ней температуры и избытков воздуха. Зола из нижней части топки удаляется через охлаждаемые водой теплообменники, являющиеся одновременно подогревателями первичного воздуха.

1.5 Комбинированные схемы сжигания

Достижение требуемых характеристик котельного оборудования при сжигании низкосортных углей ухудшенного качества в части обеспечения большой единичной мощности, эффективности работы, технической маневренности, экологичности и чистоте может быть обеспечено только на основе оптимального сочетания различных технологий сжигания. Наиболее оптимальными могут являться системы, состоящие из модулей отдельных технологий, дополняющих друг друга и исключающих в целом отрицательные стороны каждой из них, при этом выбираемые схемы и конструктивные решения должны обеспечивать достижение наилучших конечных результатов.

В энергетике ряда стран мира получили распространение схемы двухступенчатого сжигания топлива, отличающиеся тем, что в первой ступени происходит в основном термическая подготовка и частичное сжигание топлива, а во второй – его полное дожигание. Котельные установки, работающие по данному принципу, предназначены для сжигания углей ухудшенного качества. В большинстве случаев первая ступень представляет собой установку с кипящим слоем, а вторая – различные модификации камерных или вихревых топок.

Одним из котлов с принципом двухступенчатого сжигания низкокачественного бурого угля является котел «Дуклафлюид» [7]. Котел оснащен реактором-газогенератором с низкотемпературным газифицирующим кипящим слоем (первая ступень) и топкой для факельного горения топлива

(вторая ступень). Реактор-газогенератор работает с недостатком воздуха. Основными преимуществами этой установки являются универсальность по отношению к разным видам высокорреакционных углей, широкий диапазон регулирования мощности, возможность использования углей ухудшенного качества, простота подготовки топлива, состоящая только в его дроблении. Реактор-газогенератор снабжается неохлаждаемой топкой, поэтому он легко компоуется с существующими пылеугольными котлами практически без реконструкции их пароводяной схемы.

Работа реактора-газогенератора тесно связана с работой собственно котла. Его управление включается в общую систему управления. Недостатком схемы является ограниченность единичной мощности реактора-газогенератора, а соответственно и установки в целом. Компоновка на котле нескольких реакторов существенно усложняет его конструкцию и обслуживание. Следует также отметить, что для низко реакционных углей типа АШ в настоящее время нет эффективных и надежных конструкций реакторов-газогенераторов на базе низкотемпературного кипящего слоя.

Для низкорреакционных углей перспективной является схема двухступенчатого сжигания, в которой в первой ступени производится термическая подготовка топлива, частичная газификация и сжигание топлива, а его пылевидное сжигание – в камерной топке (вторая ступень). Вариант компоновочного решения данной схемы приведен на рисунке 11.

Роль первой ступени здесь выполняет подвижная колосниковая решетка. На нее сверху подается сырое неизмельченное топливо, а снизу – слабо подогретый воздух. На начальном участке решетки расход воздуха устанавливается из расчета обеспечения псевдооживленного состояния слоя, при котором благодаря теплообмену с второй зоной происходит сушка топлива и выход летучих.

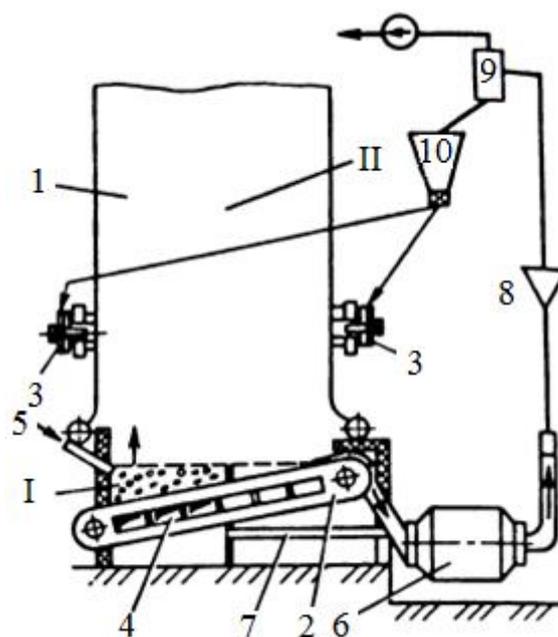


Рисунок 11 – Двухступенчатая схема сжигания низкорреакционного топлива:
 1 – котел; 2 – колосниковая решетка; 3 – горелочные устройства ступенчатого сжигания топлива; 4 – подача воздуха для I зоны; 5 – подвод топлива для I зоны; 6 – мельница; 7 – подача воздуха на вентиляцию мельницы; 8 – сепаратор; 9 – циклон; 10 – бункер пыли; I – зона подготовки топлива в кипящем слое; II – зона факельного сжигания

Температура в слое достигает 600–800 °С. На конечном участке решетки за счет уменьшения или прекращения подачи воздуха слой перегревается до 1000–1100 °С, что обеспечивает термическую подготовку топлива.

Использование перечисленных технологий для сжигания низкосортных, особенно низкорреакционных углей в настоящее время наталкивается на значительные трудности и в первую очередь в вопросах обеспечения их безотходности. Так, например, объем используемых золошлаковых отходов на энергетическом рынке России составляет лишь около 10 млн.т, т.е. всего 10 % общего количества образующихся отходов, что крайне недостаточно, при этом одной из причин такого положения является несоответствие свойств золошлаковых отходов требованиям их потенциальных потребителей. Решение стоящих задач в рамках используемых технологий сжигания весьма сложно и дорого. Поэтому параллельно с разработкой специальных схем и оборудования газоочистки ведется поиск новых технологий сжигания.

2 Численное моделирование параметров топочной среды при сжигании таловского бурого угля в широком диапазоне влажности

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является серийный котельный агрегат БКЗ-220-100-4 производства Барнаульского котельного завода с естественной циркуляцией и твердым шлакоудалением, который работает в составе энергетического блока Томской ГРЭС-2. Котел однобарабанный, вертикально - водотрубный. В качестве сжигаемого топлива применяется каменный уголь, а также природный газ, растопочным топливом при работе на угольной пыли является мазут. Основные характеристики котла приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики котла БКЗ 220-100 [12]

Наименование	Ед. изм.	Величина
Производительность	т/ч	220
Давление пара в барабане	кгс/см ²	112
Давление перегретого пара	кгс/см ²	100
Температура п/п	°С	510
Температура питательной воды	°С	215
Топка котла		
Объем топочного пространства	м ³	1087
Ширина топки в свету	м	6,656
Глубина топки в свету	м	9,539
Высота топки	м	16,4

Компоновка котла исполнена по П-образной схеме. Топочная камера расположена в первом газоходе. В поворотном газоходе сконструирован пароперегреватель, в нисходящем – водяной экономайзер (ВЭ) и воздухоподогреватель (ВП).

Топка призматическая, открытого типа, экранирована трубами 60х4 мм, сталь 20. Тыльный и фронтной экраны снизу формируются в скат «холодной» воронки [12].

На боковых стенах топки располагаются шесть пылегазовых турбулентных горелок (по три на каждой стене). Расположены горелки по углам треугольника вершиной вниз (рисунок 12) [12].

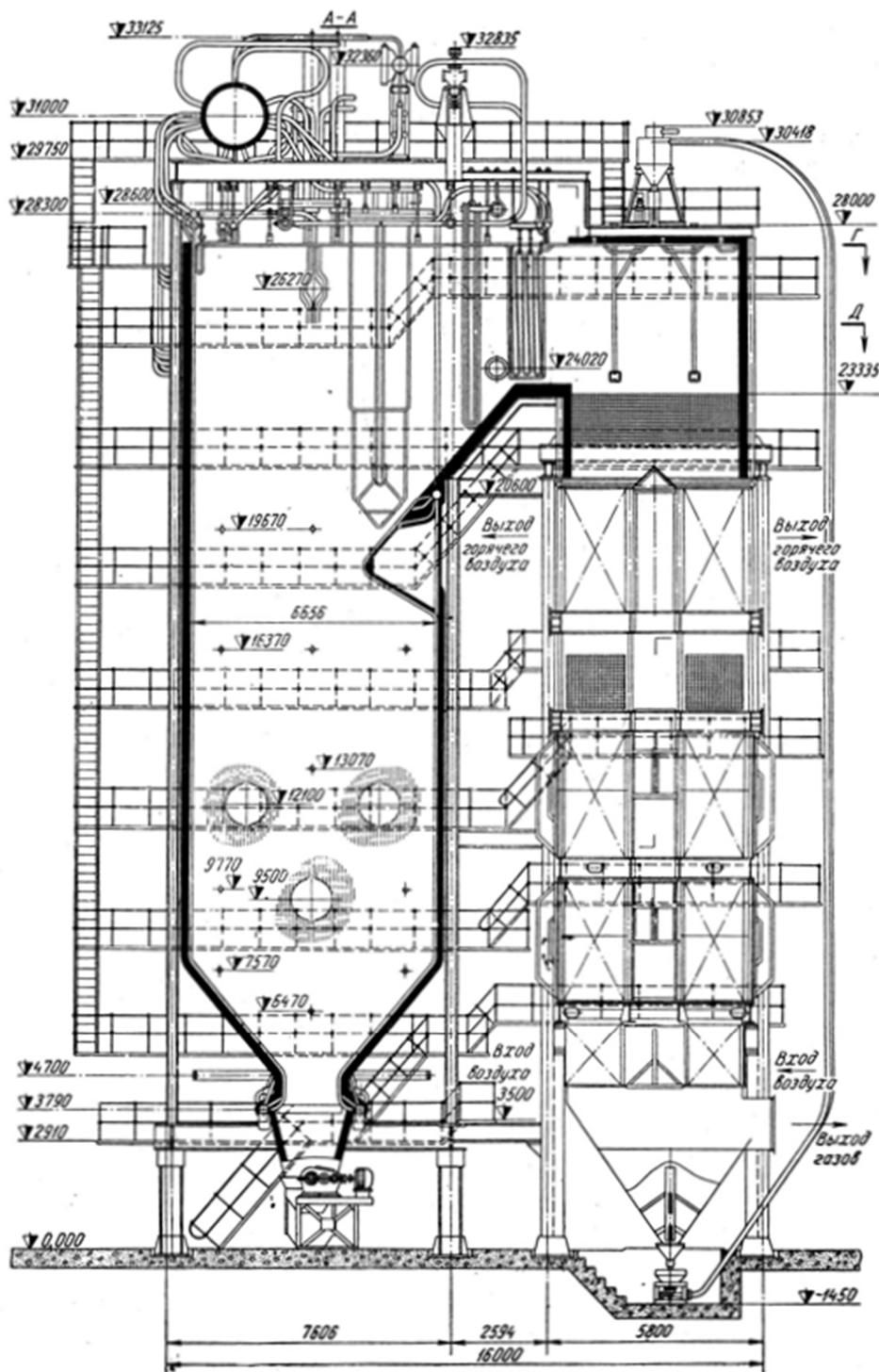


Рисунок 12 – Продольный разрез котла БК3-220-100

3 Методы исследования

3.1 Поверочный тепловой расчет

Граничные и начальные условия математической модели задавались в соответствии с результатами проведенного поверочного теплового расчета топочной камеры БКЗ-220-100.

Поверочный расчет котла или отдельных его элементов выполняется для существующей конструкции с целью определения показателей ее работы при переходе на другое топливо, при изменении нагрузки или параметров пара, а также после проведенной реконструкции поверхностей нагрева [20].

При выполнении поверочного расчета топочной камеры котла его производительность, параметры пара и питательной воды являются заданными значениями, поэтому цель расчета состоит в определении температур и тепловосприятий рабочего тела и газовой среды в поверхностях нагрева.

В качестве исходных данных для расчета принималось: топливо – бурый уголь Таловского месторождения, каменный уголь Кузнецкого месторождения; характеристики таловского угля в соответствии с таблицей 2.

Результаты расчетов энтальпий представлены в приложении Б. Поверочный расчет топки для работы на таловском угле с 20 % влажностью и кузнецком каменном угле представлен в таблице 3. Полный поверочный расчет в диапазоне влажности от 25 до 50 % представлен в приложении В.

3.2 Численное исследование топочных процессов при сжигании таловского бурого и кузнецкого каменного углей в топке котла БКЗ-220-100

На сегодняшний день наиболее эффективными инструментами для численного моделирования являются профессиональные инженерные пакеты прикладных программ, такие как ANSYS CFD (Fluent & CFX), STAR-CD, FLOW3D, Open-FOAM, Flow Vision, VP2/3, Sigma Flow, FIRE 3D [24].

Пакет прикладных программ FIRE 3D разработан совместно сотрудниками ТПУ и ТГУ и неоднократно апробирован в решении задач по исследованию внутритопочных процессов энергетических котлов, поэтому в настоящей работе используются ресурсы именно этого пакета прикладных программ.

Процесс моделирования условно разделяют на несколько этапов. На первом этапе, на основании анализа теоретических закономерностей, принадлежащих объекту, происходит постановка задачи, определение объекта и основных целей исследования. Так же задаются признаки, по которым происходит изучение объекта и управление им. Строится геометрическая модель в текстовом формате. Далее задаются граничные области и основные параметры расчета (теплотехнические характеристики сжигаемого топлива и условия его подачи в топочное устройство). От правильности задания всех данных зависит результативность и правдивость расчета.

Второй этап основывается на формировании математической модели объекта. При построении модели необходимо помнить, что наиболее информативной будет не та модель, что больше похожа на объект, а та, которая позволит получить логичный и достоверный результат, так как большая конкретизация или укрупнение лишь помешают построению модели.

Далее расчетная сетка импортируется в расчетный модуль Flow Searcher при помощи приложения Mesh Creator (рисунок 13), входящего состав программного комплекса Fire 3D [24].

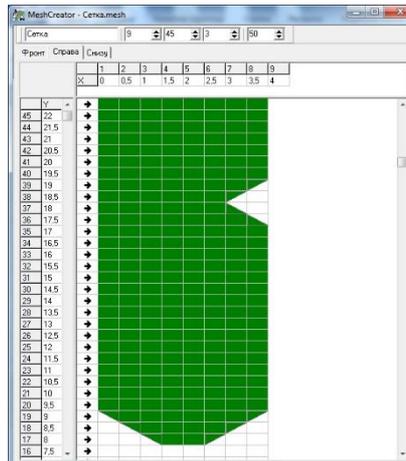


Рисунок 13 – Основное приложение для импорта расчетных сеток Mesh Creator

После построения трехмерной геометрической модели расчетная сетка импортируется в приложение Flow Searcher (рисунок 14), где ведутся численные расчеты внутритопочных процессов при горении топлива.

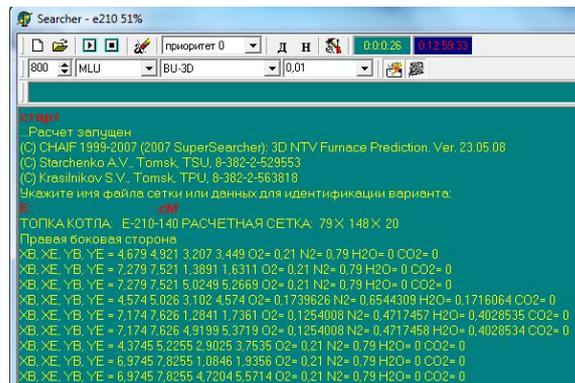


Рисунок 14 – Основное приложение для расчета Flow Searcher

На третьем этапе происходит исследование построенной численной модели, которое начинается с визуализации расчетных данных в двухмерном и трехмерном вариантах в программе Data Vision (рисунок 15).

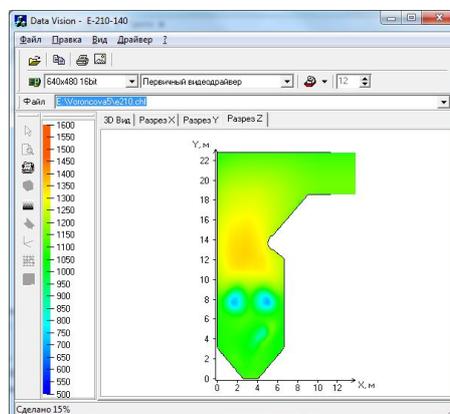


Рисунок 15 – Основное приложение для визуализации расчета Data Vision

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Технико-экономическое обоснование работы

В условиях рынка заметно возрастает значение технико-экономического обоснования инженерных решений. Такое обоснование позволяет находить оптимальные решения при проектировании парогенератора и его элементов, предотвращать излишние затраты, повышать надежность конструкции [26].

На многих тепловых станциях, оборудованных котлами с практически израсходованным временем службы, имеется острая необходимость в ремонте, реконструкции, модернизации или замене оборудования. Чаще всего быстрая замена на новые современные котлы невозможна ввиду недостатка финансовых средств у теплоснабжающих предприятий. Поэтому при принятии решения, прежде всего, необходимо оценить целесообразность реконструкции станции или отдельных котлов. Замена производится посредством оценки затрат на модернизацию и экономическую эффективность планируемых мероприятий. Проводится оценка проекта, из которого можно сделать вывод, будет ли проект окупаем или нет и за какой промежуток времени это произойдет.

Целью экономической части данного проекта является расчёт экономической эффективности разработанного котельного агрегата паропроизводительностью 220 т/час. Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач:

- провести анализ конкурентных технических решений;
- определить капитальные вложения на разработку котельного агрегата;
- рассчитать годовые эксплуатационные расходы.

4.2 Определение конкурентоспособности

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

Оценка технических решений с точки зрения ресурсоэффективности является основой для анализа эффективности конструкторских решений и помогает определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4. Для сравнения были выбраны смоделированный в ВКР котел БКЗ-220-100 и котел Е-210-11,0-520 БТ.

Таблица 4 – Сводная карта для оценки технических решений

Критерии оценки (технические)	Вес	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}
1. Увеличение коэффициента производительности труда потребителя	0,07	3	3	0,21	0,21
2. Эксплуатационные удобства (соответствие требованиям заказчика)	0,13	4	3	0,52	0,39
3. Экономия энергии	0,1	3	3	0,3	0,3
4. Надежность эксплуатации	0,2	4	3	0,8	0,6
5. Шум	0,04	3	4	0,12	0,16
6. Производственная безопасность	0,2	4	4	0,8	0,8
Критерии оценки (экономические)					
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	3	3	0,09	0,09
2. Спрос на энергетическом рынке	0,04	1	2	0,04	0,08
3. Капиталовложения	0,06	2	2	0,12	0,12
4. Срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	33	32	3,59	3,24

Конкурентоспособность продукта определяют по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (10)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – доля показателя;

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что котел БКЗ-220-100 конкурентоспособен, так как технически эффективен, по сравнению с прототипом Е-210-11,0-520. Котел-прототип уступает исследуемому котлу с точки зрения безопасности, надежности и эксплуатационных удобств.

4.3 Определение капитальных вложений

4.3.1 Содержание единовременных (капитальных) затрат

$$K = C_{пол} + (C_{пол} \cdot P / 100) + K_{тр} + K_{ном} + K_{стр} \quad (11)$$

где $C_{пол}$ – полная себестоимость ПГ;

P_n – средняя рентабельность по парогенераторостроению – 20 %);

$K_{тр}$ – транспортно-заготовительные расходы (принять – 2 % от $C_{пол}$);

$K_{ном}$ – сопутствующие затраты у потребителя;

$K_{стр}$ – затраты на строительную часть у потребителя.

Расчет полной себестоимости

$$C_{пол} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot D \cdot 2000 \cdot K_{пер} \quad (12)$$

где $K_1 = 0,8$ – коэффициент по паропроизводительности;

$K_2 = 1$ – коэффициент по параметрам пара;

$K_3 = 1$ – коэффициент по промежуточному перегреву;

$K_4 = 1,15$ – коэффициент по блочности поставки;

$K_5 = 1,12$ – коэффициент по видам топлива;

$K_6 = 1$ – коэффициент по компоновке котлов;

$K_7 = 1$ – коэффициент по числу корпусов котла;

$K_8 = 1$ – коэффициент по типам котлов;

$D = 220$ т/ч – паропроизводительность котла;

$K_{пер} = 110$ – коэффициент пересчета на современные цены (принято)

$$C_{пол} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 220 \cdot 2000 \cdot 110 = 49871,36 \text{ тыс.руб.} \quad (13)$$

4.3.2 Средняя рентабельность по парогенераторостроению

$$P_n = 20\%$$

$$\frac{C_{пол} \cdot P_n}{100} = 0,2 \cdot 49871,36 = 9974,272 \quad (14)$$

4.3.3 Транспортно-заготовительные расходы

$$K_{тр} = 0,02 \cdot C_{пол} = 0,02 \cdot 49871,36 = 997,4272 \text{ тыс.руб.} \quad (15)$$

4.3.4 Сопутствующие затраты у потребителя

$$K_{ном} = K_m + K_{обм}. \quad (16)$$

где K_m – затраты на монтаж

$$K_m = 0,1 \cdot C_{пол} = 0,1 \cdot 49871,36 = 4987,136 \text{ тыс.руб.} \quad (17)$$

$K_{обм}$ – затраты на обмуровку

$$K_{обм} = 0,12 \cdot C_{пол} = 0,12 \cdot 49871,36 = 5984,5632 \text{ тыс.руб.} \quad (18)$$

$$K_{ном} = 4987,136 + 5984,5632 = 10971,6992 \text{ тыс.руб.} \quad (19)$$

4.3.5 Расчет затрат на строительную часть

$$K_{стр} = K_{зд} + K_{ф} \quad (20)$$

Капитальные вложения в здание, приходящееся на один эксплуатируемый парогенератор

$$K_{зд} = S_{нз} \cdot K_{он} \cdot h_{кот} \cdot Ц_{зд} = 440 \cdot 2 \cdot 37 \cdot 1200 = 39072 \text{ тыс.руб.}, \quad (21)$$

где $S_{нз}$ – площадь, занимаемая парогенератором

$$S_{нз} = a \cdot b = 20 \cdot 22 = 440 \text{ м}^2; \quad (22)$$

$K_{он} = 2$ – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь;

$H_{кот} = 37$ м – высота помещения котельной;

$Ц_{зо} = 1200 \text{ руб/м}^3$ – средняя стоимость 1 м³ производственного здания, в котором эксплуатируется парогенератор;

Стоимость фундамента

$$K_{\phi} = D \cdot k_{\phi} = 220 \cdot 9084,64 = 1998220,8 \text{ тыс. руб} \quad (23)$$

где k_{ϕ} – коэффициент, учитывающий влияние производительности котла на стоимость фундамента.

$$k_{\phi} = КПД \cdot 10^4 = 0,908464 \cdot 10000 = 9084,64 \quad (24)$$

D – паропроизводительность парогенератора.

$$K_{стр} = 39072 + 1998220,8 = 2037292,8 \text{ тыс. руб} \quad (25)$$

4.3.6 Общие капитальные вложения

$$K = 24935,68 + 4987,136 + 498,714 + 5485,846 + 2037292,8 = 2047703,076 \text{ тыс. руб} \quad (26)$$

Общая картина капитальных вложений представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Сводная таблица капитальных вложений (инвестиций)

Состав капитальных вложений	Величина	
	Тыс.руб.	%
Себестоимость парогенератора	49871,36	44,22
Затраты на монтаж	4987,136	4,42
Затраты на обмуровку	5984,5632	5,31
Стоимость строительства	40979,77	36,33
Транспорт. -заготов. расходы	997,4272	0,88
Наценка на ПП	9974,272	8,84
Общие капитальные вложения	112794,528	100

4.4 Расчет годовых эксплуатационных расходов

4.5.1 Годовые текущие издержки или эксплуатационные расходы

Расходы, составляющие себестоимость продукции (эксплуатационные расходы), являются текущими расходами, обычно повторяющимися в течение всего периода изготовления продукции.

$$I_{год} = I_{мон} + I_{ам} + I_{пр} + I_{г} + I_{эл} + I_{зн} + I_{соц.н} + I_{пр}, \quad (26)$$

где $I_{\text{топ}}$ – затраты на топливо;

$I_{\text{ам}}$ – затраты на амортизацию;

$I_{\text{тр}}$ – затраты на текущий ремонт;

$I_{\text{е}}$ – затраты на воду;

$I_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию;

$I_{\text{зн}}$ – затраты на заработную плату;

$I_{\text{соц.н}}$ – затраты на социальные цели;

$I_{\text{пр}}$ – прочие расходы.

4.5.2 Затраты на кузнецкий каменный уголь

$$I_{\text{топ}} = B_p \cdot h_{\text{год}} (1 + B_{\text{ном}}) \cdot C_{\text{м.н.т}} \quad (27)$$

где $B_p = 7,402 \text{ кг/с} = 26,6472 \text{ т/ч}$ – расход топлива;

$h_{\text{год}} = 6500 \text{ ч}$ – число часов использования установленной мощности;

$B_{\text{ном}}$ – потери топлива в процентах (от его годового потребления);

$C_{\text{м.н.т}} = 1900 \text{ руб/т}$ – цена натурального топлива.

$$I_{\text{топ}} = 26,6472 \cdot 6500 \cdot (1 + 6/100) \cdot 1900 = 526548,7 \text{ тыс. руб} \quad (28)$$

4.5.3 Затраты на таловский бурый уголь

$$I_{\text{топ}} = B_p \cdot h_{\text{год}} (1 + B_{\text{ном}}) \cdot C_{\text{м.н.т}} \quad (29)$$

где $B_p = 12,316 \text{ кг/с} = 44,3376 \text{ т/ч}$ – расход топлива;

$h_{\text{год}} = 6500 \text{ ч}$ – число часов использования установленной мощности;

$B_{\text{ном}}$ – потери топлива в процентах (от его годового потребления);

$C_{\text{м.н.т}} = 580 \text{ руб./т}$ – цена натурального топлива.

$$I_{\text{топ}} = 44,3376 \cdot 6500 \cdot (1 + 6/100) \cdot 580 = 297444,4 \text{ тыс. руб.} \quad (30)$$

4.5.4 Определение затрат на электроэнергию

$$\begin{aligned} I_{\text{эл.эн.}} &= N_y \cdot h_{\text{год}} \cdot k_{\text{вр}} \cdot k_n \cdot C_{\text{э}} + N_y \cdot C_{\text{кв}} = \\ &= 70 \cdot 6500 \cdot 0,9 \cdot 0,91,93 + 70 \cdot 230 = 727,401 \text{ тыс. руб.}, \end{aligned} \quad (31)$$

где $N_y = 70 \text{ кВт}$ – установочная мощность токоприемников парогенератора;

$h_{\text{год}} = 6500 \text{ ч}$ – число часов использования установленной мощности;

$k_{ep} = 0,9$, $k_{п} = 0,9$ – коэффициенты времени и потерь эл. энергии;

$\Pi_3 = 1,93 \text{ руб./кВт}$ – тариф на потребленную эл. энергию;

$\Pi_{кВ} = 230 \text{ руб./кВт}$ – стоимость кВт на заявленную мощность.

4.5.5 Определение амортизационных отчислений

$$I_a = p_n \cdot K = 0,033 \cdot 76887,146 = 2537,27 \text{ тыс. руб.}, \quad (32)$$

где $p_n = 3,3 \%$ – норма амортизационных отчислений на капитальный ремонт и на реновацию;

K – капитальные вложения (строка 7 табл.2).

4.5.6 Определение затрат на текущий ремонт

$$I_{\text{тек. рем.}} = 0,2 \cdot I_a = 0,2 \cdot 2537,27 = 507,454 \text{ тыс. руб.} \quad (33)$$

Определение затрат на воду

Годовой расход воды определяют из пароводяного баланса котельной.

$$I_6 = D_6 \cdot \Pi_6 \cdot h_{\text{вод}} = 22 \cdot 73 \cdot 6500 = 10439 \text{ тыс. руб} \quad (34)$$

где $\Pi_6 = 73 \text{ руб./т}$ – стоимость воды с учетом химводоочистки;

$D_6 = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 220 = 21 \text{ т/ч}$ – часовой расход воды (принимается 10 % от паропроизводительности).

4.6 Определение затрат на содержание персонала

Норма обслуживания котельных установок представлена в табл. 6 (расчет ведется на 6 котлов).

Таблица 6 – Норма обслуживания котельных установок (заработная плата)

Наименование должностей	Норма обслуживания	Месячный оклад, руб./чел./ мес.	Месяч. оклад на 1 ПГ
1	2	3	4
Старший машинист	3	17000	17000
Машинист котлов 4 разряда	2	16300	24450
Машинист котлов 3 разряда	1	16000	48000
Машинист багерной насосной	6	15800	7900
Машинист насосных установок	3	15700	15700
Машинист обходчик по котельному оборудованию	3	15500	15500

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4
Котлочист	3	14500	4833
Зольщик	3	14100	4700
Слесарь по ремонту котельного оборудования	2	14200	7100
Дежурный слесарь	6	13800	2300
Дежурный электрик	6	13800	2300
Электросварщик	6	14000	2333
Газоэлектросварщик	6	14100	2350
Газорезчик	6	14100	2350
Печник	3	14500	4833
Крановщик	6	13500	2250
Токарь	6	13800	2300
Кладовщик	3	12500	4167
Уборщица	3	5000	1667
Итого ЗП ^{оп}			172033
Нач. цеха	1	19000	19000
Зам. нач. цеха	1	18200	18200
Нач. смены	3	17800	5933
Ст. мастер	1	16000	16000
Мастер	3	12000	4000
Итого ЗП ^{итр}			63133
Всего по котельному цеху			235166

4.7.1 Основная заработная плата

$$\begin{aligned}
 ЗП_{осн}^{он} &= ЗП_{пр}^{он} + ЗП_{пр}^{он} (K_{дон} + K_{прем} + K_{рк}) = \\
 &= 172033 + 172033(0,2 + 0,43 + 0,3) = 332024 \text{ руб.},
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

где $K_{дон} = 0,2$ – коэффициент, учитывающий доплаты до часового фонда времени;

$K_{прем} = 0,43$ – коэффициент, учитывающий премии;

$K_{рк} = 0,3$ – районный коэффициент.

4.7.2 Дополнительная заработная плата

$$\begin{aligned} 3\Pi_{осн}^{он} &= 3\Pi_{пр}^{он} + 3\Pi_{пр}^{он} (K_{дон} + K_{прем} + K_{рк}) = \\ &= 172033 + 172033(0,2 + 0,43 + 0,3) = 332024 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (36)$$

4.7.3 Общая годовая заработная плата

$$\sum (3\Pi)_{год}^{он} = (3\Pi_{осн}^{он} + 3\Pi_{дон}^{он}) \cdot 12 = (332024 + 13763) \cdot 12 = 4149,44 \text{ тыс. руб.} \quad (37)$$

4.7.3 Годовая заработная плата руководителей

4.7.3.1 Основная заработная плата руководителей

$$3\Pi_{осн}^{ИТП} = 3\Pi_{пр}^{ИТП} + 3\Pi_{пр}^{ИТП} (K_{прем} + K_{рк}) = 63133 + 63133(0,43 + 0,3) = 109220 \text{ руб.}, \quad (38)$$

где $K_{прем} = 0,43$ – коэффициент, учитывающий премии;

$K_{рк} = 0,3$ – коэффициент.

4.7.3.2 Дополнительная заработная плата руководителей

$$3\Pi_{дон}^{ИТП} = 0,08 \cdot 3\Pi_{пр}^{ИТП} = 0,08 \cdot 63133 = 5051 \text{ руб.} \quad (39)$$

4.7.3.3 Общая годовая заработная плата руководителей

$$\sum (3\Pi)_{год}^{ИТП} = (3\Pi_{осн}^{ИТП} + 3\Pi_{дон}^{ИТП}) \cdot 12 = (109220 + 5051) \cdot 12 = 1371,25 \text{ тыс. руб.} \quad (40)$$

4.7.4 Общие затраты на заработную плату

$$I_{зн} = \sum (3\Pi)_{год}^{он} + \sum (3\Pi)_{год}^{ИТП} = 4149,44 + 1371,25 = 5520,69 \quad (41)$$

4.8 Определение отчислений на социальные нужды

$$I_{соц.н} = 0,3 \cdot I_{зн} = 0,3 \cdot 5520,69 = 1656,207 \text{ тыс. руб} \quad (42)$$

4.9 Определение общекотельных и прочих расходов

$$I_{пр} = 0,12 \cdot I_{экспл} = 0,12 \cdot 227807,046 = 27336,85 \text{ тыс. руб} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} I_{экспл} &= I_{топ} + I_{ам} + I_{тек.рем} + I_{г} + I_{эл.эн} + I_{зн} + I_{соц.н} = 526548,7 + 2537,27 + \\ &+ 507,454 + 10439 + 727,401 + 5520,69 + 1656,207 = 547936,722 \text{ тыс. руб} \end{aligned} \quad (44)$$

где $I_{экспл1}$ – эксплуатационные расходы котельной на Кузнецком угле

$$\begin{aligned} I_{экспл2} &= I_{топ} + I_{ам} + I_{тек.рем} + I_{г} + I_{эл.эн} + I_{зн} + I_{соц.н} = 297444,4 + 2537,27 \\ &+ 507,454 + 10439 + 727,401 + 5520,69 + 1656,207 = 318832,422 \text{ тыс. руб} \end{aligned} \quad (45)$$

где $I_{экспл2}$ – эксплуатационные расходы котельной на таловском угле

4.10 Определение годовых затрат

$$I_{год} = I_{экспл} + I_{пр} = 318832,422 + 27336,85 = 346169,272 \text{ тыс. руб} \quad (46)$$

По результатам расчета годовых затрат заполняется таблица 7.

Таблица 7 – Сводная таблица затрат

Наименование затрат	Обозначение	Величина, т.руб.	Удельный вес в %
Расходы на топливо	I_m	297444,4	81,16
Расходы на амортизацию	$I_{ам}$	2537,27	0,97
Расходы на текущий ремонт	$I_{тек.рем}$	507,454	0,20
Расходы на электроэнергию	$I_{эл эн}$	613,151	0,24
Расходы на воду	$I_в$	10439	3,91
Расходы на зарплату	$I_{зн}$	5520,69	2,16
Отчисления на социальные нужды	$I_{соц.н}$	1656,207	0,65
Прочие расходы	$I_{пр}$	27336,85	10,71
Годовые издержки	$I_{год}$	346169,272	100

Полученные значения эксплуатационных расходов однозначно указывают на преобладающее значение расходов на обеспечение поставок топлива. На них приходится наибольшая доля ежегодных капиталовложений. Первостепенной задачей эффективного управления и эксплуатации парового котла является обеспечение непрерывного снабжения топливом и снижение сопутствующих его потерь при транспортировке и хранении.

4.12 Себестоимость вырабатываемого пара

$$C_n = \frac{I_{год}}{D_{год}^{бвп}} = \frac{346169,272 \cdot 1000}{1430000} = 242,08 \text{ руб} / \text{т.}, \quad (47)$$

где $D_{год}^{бвп} = h_{год} - D = 6500 \cdot 220 = 1430000 \text{ т/год.}$

4.13 Себестоимость отпущенной тонны пара

$$C_{омп} = \frac{I_{год}}{D_{омп}} = \frac{346169,272 \cdot 1000}{1358500} = 254,817 \text{ руб} / \text{т.}, \quad (48)$$

где $D_{омп} = D_{год} - D_{сн} = 1430000 - 7500 \text{ т} / \text{год}$ – годовой расход.

$D_{сн} = 0,05 - D_{сн} = 0,05 \cdot 1430000 \text{ м} / \text{год}$ – годовой расход пара на собственные нужды.

В результате расчета технико-экономических показателей котельного агрегата были получены: величина капитальных вложений моделируемого парового котла, а также величина годовых текущих издержек потребителя, исходя, из которых была определена себестоимость вырабатываемого пара.

4.14 Затраты на транспортировку

При использовании кузнецких углей транспортировка осуществляется ЖД транспортом. Согласно прейскуранту, при транспортировке в полуоткрытом вагоне с грузоподъемностью 60 тонн на расстояние 550 км (расстояние от Новокузнецка до Томска) стоимость вагона с НДС составляет 36426,6 руб. или 607,11 руб./т. Срок доставки при заказе составляет до 6 дней.

При транспортировке автотранспортом с Таловского месторождения бурого угля цена составит 168 руб./т. Стоимость 1 км составляет 30 руб., а предположительное расстояние составило 140 км. Срок доставки при оформлении заказа будет колебаться в районе 3–4 часов.

4.15 Затраты на подготовку топлива

В качестве альтернативного способа подготовки топлива к сжиганию на этапе исследования предлагается использовать для сушки и частичного дробления таловского бурого угля методом микроволнового (МВ) излучения. На рисунке 16 представлена опытно промышленная установка на основе метода МВ излучения [27].

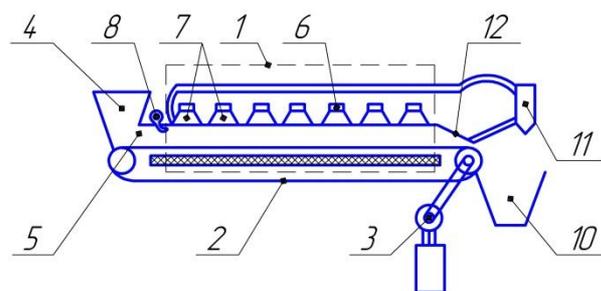


Рисунок 16 – Опытно-промышленная установка

1 – рабочая камера, 2 – транспортерная лента из диэлектрического материала,
 3 – регулируемый электропривод, 4 – загрузочное устройство,
 5 – регулируемый шиберный затвор, 6 – излучатели (магнетроны),
 7 – рупорные антенны, 8 – вентилятор, 9 – материал для поглощения излишек энергии электромагнитной волны, 10 – разгрузочное устройство, 11 – циклон,
 12 – запердельный волновод

Кроме того, после МВ-сушки, в процессе удаления влаги, протекает процесс полного удаления азота из топлива и снижается содержание серы.

Применение МВ-установок на тепловых электростанциях и других промышленных предприятиях для подготовки к сжиганию бурого угля технологически целесообразно. Данный метод подготовки топлива направлен на получение качественного конечного продукта, при достаточно малых энергозатратах. Сравнительно низкая себестоимость подготовки бурого угля на МВ-установке гарантирует быструю окупаемость капитальных вложений (таблица 8) [28].

Таблица 8 – Показатели экономической МВ установки

Показатель	Единица измерения	Величина
Производительность	т/час	1
Объем капвложений	тыс. руб.	180,508
Прибыль (чистая)	тыс. руб.	862,704
Окупаемость	мес.	менее года

Список публикаций

Основные результаты диссертационной работы представлены в следующих сборниках:

1 Сёмушкин В. П., Воронцова Е. С. Исследование особенностей горения высоковлажного бурого угля в топке энергетического котла // Интеллектуальные энергосистемы: материалы III Международного молодежного форума. В 3 т., Томск, 28 сентября – 2 октября 2015. – Томск: ТПУ, 2015 – Т. 1 – С. 255–258.

2 Сёмушкин В. П., Воронцова Е. С. Обоснование характеристик бурого угля Таловского месторождения для численного моделирования среды в топке пылеугольного котла [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 5-9 октября. – Томск: ТПУ, 2015 – Т. 1 – С. 160–163.

3 Сёмушкин В. П., Воронцова Е. С. Численное исследование сжигания низкосортного бурого угля Таловского месторождения в топочной камере котла БКЗ-220-100 // Неделя науки СПбПУ: материалы форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. Ч. 1, Санкт – Петербург, 30 ноября – 5 декабря 2015. – Санкт – Петербург: СПбПУ, 2015 – С. 133–137.

4 Сёмушкин В. П., Воронцова Е. С. Предварительное исследование возможности использования непроектного топлива // Тинчуринские чтения: сборник трудов XI Международной молодежной научной конференции в 3 т., Казань, 23 – 25 марта 2016. – Казань КГЭУ, 2016 – С. 133–137.

5 Сёмушкин В.П. Использование современных методов трехмерного моделирования при конструировании котельных агрегатов / В.П. Сёмушкин, В.А. Юдин; науч. рук. С.А. Хаустов // Современные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной конференции студентов,

аспирантов и молодых ученых, Томск, 5–9 октября 2015 г.: в 2 т. – Томск:
Изд-во ТПУ, 2015. – Т.1. – С.164–166.