

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки «Энергетическое машиностроение»
Кафедра «Парогенераторостроение и парогенераторные установки»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Исследование эксплуатационных характеристик при работе котла БКЗ-220-100 на непроектном топливе»

УДК 621.81.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Коврижкина Кристина Альбертовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ПГС и ПГУ	Долгих Александр Юрьевич	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Попова Светлана Николаевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.03 «Энергетическое
машиностроение»

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
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	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
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	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	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	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
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	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3;ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	стандартов EUR-ACE и FEANI
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	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	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	требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р10	Способность и готовность к	Требования ФГОС ВО

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	(ПК-9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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



Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

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
5BM4A	Коврижиной Кристине Альбертовне

Тема работы:

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАБОТЕ
КОТЛА БКЗ-220-100 НА НЕПРОЕКТНОМ ТОПЛИВЕ**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 716/с, от 03.02.16

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(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.).</i>	1. Объект проектирования – паровой котел паропроизводительностью 220 т/ч. 2. Параметры пара: Рп.п.=10 МПа, тп.п.=540°C. 3. Температура питательной воды – тп.в.=220°C. 4. Давление в барабане – Рб=11,2 Мпа. 5. Основное сжигаемое топливо – бурый уголь месторождения Шивэ-Овоо (Монголия). 6. Способ сжигания топлива: камерный, топка в газоплотном исполнении. 7. Величина непрерывной продувки – р= 1 %. 8. За прототип принять котел – Е-220-10-540БТ (БКЗ 220-100-12С) (ОАО «Сибэнергомаш»).
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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;</i>	1. Введение (Актуальность работы.. Постановка цели и задач работы.); 2. Аналитический обзор проблемы (Состояние вопроса, обзор литературы); 3. Описание объекта исследования, методов и средств. 4. Обоснование выбора методов и средств исследований, принятых исходных данных, предлагаемых технических решений и методов; 5. Поверочный тепловой расчет поверхностей нагрева парового котла; 6. Моделирование эксплуатационных характеристик работы

обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	котла; 7. Анализ полученных результатов работы; 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. (Экономические расчеты и технико-экономические показатели); 9. Социальная ответственность; 10. Раздел работы на иностранном языке (по выбору); 11. Заключение, в том числе на иностранном языке.
Перечень графического материала (формата А1) (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Чертеж общего вида и элементов котла – 1 -2 лист(а). 2. Полученные результаты моделирования (иллюстрации) – 1 лист;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Иностранный язык	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основные разделы ВКР должны быть написаны на русском языке. Один из разделов работы (по согласованию с консультантом) и заключение переводится на иностранный язык.	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры ПГС и ПГУ	Долгих Александр Юрьевич	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Коврижкина Кристина Альбертовна		

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Коврижкина Кристина Альбертовна

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость строительства и монтажа оборудования
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Не рассматривались
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Не рассматривались

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Проведен анализ расходов предприятия за год
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Не рассматривались
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	Не рассматривались
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Проведен расчет окупаемости предприятия
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Проведена оценка рентабельности проекта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Коврижкина Кристина Альбертовна		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Коврижкина Кристина Альбертовна

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Рассматриваемая рабочая зона представляет собой аудиторию № 224 четвертого корпуса НИ ТПУ, В частности, на ПК выполнялись: моделирование процессов горения; измерение данных; их обработка. В помещении существует опасность поражения электрическим током и возникновения возгорания. Помимо этого, на находящихся в таком помещении людей могут оказывать влияние вредные факторы, такие как некачественное освещение, шум, электромагнитное излучение, запылённость и ненадлежащее состояние микроклимата.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

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

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

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

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

Основными вредными факторами при работе в рассматриваемой рабочей зоне являются факторы, связанные с качеством освещения, уровнем шума, состоянием микроклимата, запылённостью и интенсивностью излучения. Необходимо определить нормативные значения данных факторов для данного помещения. Предложить мероприятия по уменьшению воздействия вредных факторов и привести возможные средства защиты.

Основными опасными факторами для данного помещения являются возможность поражения электрическим током и возникновение пожара. Источниками возникновения данных факторов является работающее электрооборудование и неправильное обращение с ним. Необходимо рассмотреть средства и мероприятия по организации безопасной работы с ним, а также средства защиты (например, месторасположение и порядок использования средств пожаротушения).

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу

Рассматриваемая рабочая зона не оказывает существенного воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу. Срок эксплуатации комплектующих данного оборудования достаточно велик. По истечении срока службы часть

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Коврижкина Кристина Альбертовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 137 страниц, 11 рисунков, 5 таблиц, 55 источников, 2 листа графического материала, 3 приложения.

Ключевые слова: паровой котел, топка, ТЭЦ, пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель, температура, давление, горелка, математическое моделирование.

Объектом научного исследования является: паровой котел с естественной циркуляцией, паропроизводительностью 220 т/ч, реально существующий на Артёмовской ТЭЦ (Приморский край). Исследовательским топливом (непроектным) является бурый уголь Шивэ-Овоонского месторождения Монголии.

Цель данной работы является исследование эксплуатационных характеристик при работе парового котла на непроектном топливе.

Задачи работы – поверочный расчет поверхностей нагрева исследуемого парового котла при работе на не проектном угле; математическое моделирование топочных процессов (горения и аэродинамики); анализ полученных результатов и оценка возможности его работы на непроектном топливе.

В процессе работы проводились поверочный расчет парового котла, математическое моделирование топочной камеры, а также анализ полученных результатов.

В результате работы были получены теплотехнические и эксплуатационные характеристики парового котла. При помощи математического моделирования получена наглядная картина топочных процессов с распределением температур по высоте топки.

Область применения: энергетическое машиностроение.

Выпускная магистерская диссертация выполнена с помощью прикладных программ: Microsoft Word 2014, Microsoft Excel 2014, ANSYS FLUENT.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

– тепловая электростанция (ТЭС): электростанция, вырабатывающая электрическую энергию в результате преобразования тепловой, выделяющейся при сжигании органического топлива. На электростанциях данного типа химическая энергия топлива преобразуется сначала в механическую, а лишь затем в электрическую;

– теплоэлектроцентраль (ТЭЦ): разновидность тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии (в виде пара и горячей воды);

– паровой котёл: устройство имеющее топку, обогреваемое продуктами сжигаемого в ней топлива и предназначенное для получения пара давлением выше атмосферного, используемого вне самого устройства;

– топка котла: устройство стационарного котла, предназначенное для сжигания органического топлива, частичного охлаждения продуктов сгорания и выделения золы;

– пароперегреватель: устройство, предназначенное для повышения температуры пара выше температуры насыщения, соответствующей давлению в котле;

– экономайзер: устройство, обогреваемое продуктами сгорания топлива и предназначенное для охлаждения дымовых газов и частичного испарения воды;

– питательная вода: вода заданных проектом параметров (температуры, давления и химического состава) на входе в паровой котел.

– горелка котла: устройство для ввода в топку котла топлива, необходимого для его сжигания воздуха и обеспечение устойчивого сжигания топлива;

– топливо: вещество, способное выделять энергию в ходе

определённых процессов, которую можно использовать для технических целей;

- твердое топливо (уголь): горючие вещества, основной составной частью которых является углерод;

- моделирование: исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя;

- температурные поля: совокупность значений температуры во всех точках какой-либо пространственной области в данный момент времени;

- эксплуатационные характеристики: комплекс показателей, характеризующих эксплуатационные возможности энергетического оборудования, в частности парового котла;

ШПП – ширмовый пароперегреватель

КПП – конвективный пароперегреватель

РПП – радиационный пароперегреватель

ПО – пароотводящие

ВП – воздухоподогреватель

ВЭК – водяной экономайзер

Оглавление

Введение.....	17
1 Аналитический обзор проблемы.....	18
2 Описание объекта исследования, методов и средств.....	20
3 Обоснование выбора принятых исходных данных.....	26
4 Поверочный тепловой расчет поверхностей нагрева парового котла.....	28
4.1 Выбор и обоснование температур уходящих газов, горячего воздуха, на выходе из топки.....	28
4.2 Тепловой поверочный расчет парового котла БКЗ-220-100.....	29
4.3 результаты поверочного расчета.....	30
5 Моделирование эксплуатационных характеристик работы котла.....	32
5.1 Анализ погрешности при расчете.....	33
5.2 Анализ температурного распределения.....	33
5.3 Анализ распределения скоростей газов.....	35
5.4 Анализ состава газов в топочной камере.....	36
5.5 Результаты математического моделирования топочной камеры...40	
6 Анализ полученных результатов работы.....	41
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	43
7.1 Анализ конкурентных технических решений.....	44
7.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	46
8 Социальная ответственность.....	51
8.1 Мероприятия по электробезопасности.....	51
8.2 Обеспечение санитарных норм по электромагнитного излучения.....	53
8.3 Обеспечение микроклимата помещений.....	54
8.4 Освещение.....	55
8.5 Обеспечение санитарных норм по уровню шумов.....	56
8.6 Анализ пожарной опасности и разработка противопожарных мероприятий.....	57

Заключение.....	59
Список публикаций.....	60
Список литературы.....	62
Приложение А (английская часть).....	65
Приложение Б.....	85
Приложение В.....	86

Графическая часть:

ФЮРА 311233.001 ОВ

Введение

С развитием научно–технического прогресса в мире с каждым днем увеличивается потребление электроэнергии. По данным ОАО «ЕЭС» (Единая Энергетическая Система) потребление электроэнергии в 2015 году составило 1008,2 млрд кВтч, 68 % всей потребленной энергии вырабатывается на тепловых электрических станциях, использующих химическую энергию сжигаемого органического топлива [1].

В условиях нынешней экономической ситуации, такой вид традиционного топлива как уголь, становится востребованным энергетическим сырьем среди развитых стран мира. Как следствие внедряются новые, модернизируются действующие методы и средства производства с учетом ужесточения норм и требования по охране окружающей среды. Зачастую требуется реконструкция существующего котельного оборудования [2].

Актуальность представленной работы обусловлена наличием случаев работы топливно-сжигающего оборудования ТЭЦ и ТЭС на непроектном твердом топливе по ряду причин: истощение местных (проектных) источников, экономическая целесообразность и.т.д.

Цель данной работы является исследование эксплуатационных характеристик при работе парового котла на непроектном топливе.

Объектом данного исследования является паровой котел БКЗ-220-100 [4].

Задачи представленной работы являются:

- Определить эксплуатационные характеристика объекта исследования.
- Оценка возможности работы котлоагрегата на непроектном топливе.
- Эффективность работы котла на непроектном топливе.
- Математическое моделирование топочной камеры объекта исследования, с целью получения наглядной картины топочных процессов.

1 Аналитический обзор проблемы

Российская энергетика является базовой отраслью российской экономики, обеспечивающей электрической и тепловой энергией внутренние потребности народного хозяйства и населения, а также осуществляющей экспорт электроэнергии с страны СНГ и дальнего зарубежья [3].

В настоящее время динамика электропотребления в России за последнее десятилетие была неравномерной, средний рост составляет 2,37 % в год. Несмотря на эту неопределенность, есть факторы, которые, независимо от экономики, требуют незамедлительных решений в части повышения энергоэффективности. Прежде всего, это катастрофическое старение энергетического оборудования и электрических сетей. Уровень жизни населения, несмотря на кризис, возрастает. В связи с этим, большая доля потребления тепла и электроэнергии приходится на жилищно-коммунальные услуги. Не целесообразное использование энергетического топлива, недостаточное производство отечественного оборудования, не своевременное обновление технической нормативной базы – данные факторы также сказываются на ухудшение российской энергетики [3,4].

Использование традиционного вида энергетического топлива - угля, в Дальневосточном федеральном округе России, даже в нынешнее время остается актуальным, несмотря на масштабную разработку газовой компании [7,8,12].

Стоимость энергетических услуг для потребителей Дальневосточного федерального округа значительно выше среднероссийской. Она определяется, в большей мере, транспортной составляющей в связи с привозным энергетическим твердым топливом. Один из вариантов по снижению стоимости энергетических услуг заключается в рассмотрении инженерно-технических вопросов и решений в замещении топливно-энергетического баланса регионов источниками снабжения энергоресурсами за счет угольных месторождений, более близких географически [10,13].

Данная проблема напрямую влияют на конечную стоимость топлива и размер тарифов оплаты энергетических услуг. Транспортная составляющая на Дальнем Востоке в целом превышает 40 % [13]. Самый большой объем ввозимых энергоносителей, по территории Дальневосточного федерального округа, является Хабаровский край. Именно здесь наблюдается наиболее высокие тарифные ставки за потребление электроэнергии [13]. В результате ценовая нагрузка на потребителей электрической энергии в среднем по территории федерального округа в 1,7 раза выше среднероссийской, а тарифы на тепловую энергию выше средних по России в 2,2 раза [15]. Значительно увеличивают потребность региона в твердых энергоресурсах и как следствие усугубляет связанные с этим экономические задачи планированное строительство новых энергоблоков, в рамках которых должны быть построены или значительно расширены три ТЭЦ, работающие на угле, а также перевод многочисленных мазутных котельных Приморья на твердое топливо [14,15].

В связи с тем, что Приморский край относят к суровым климатическим регионам, теплоснабжение здесь является наиболее важным аспектом ТЭК для обеспечения энергетической безопасности региона. Теплоснабжение – это важнейший приоритет региональной энергетической политики органов власти Приморского края. Так как теплоснабжение имеет большое социальное значение, повышение его качества, надежности и экономичности является важнейшей задачей. Любые неполадки в обеспечении населения и других потребителей теплом негативным образом воздействуют на хозяйственно-экономический комплекс региона и приводят к социальной напряженности [16,17].

Экономический потенциал края зависит главным образом от топливно-энергетического, динамичное развитие которого является одним из условий устойчивого развития экономики. Приморский край испытывает дефицит в собственных источниках энергетического топлива и вынужден закупать их из Кемеровской области [12,17,18].

2 Описание объекта исследования, методов и средств

Объектом в данной работе выступает паровой котел БКЗ-220–100 (рис.1). Изготовлен Барнаульским котельным заводом и предназначен для факельного сжигания пылевидного твердого топлива и для производства пара на теплофикационных электростанциях с теплофикационными турбинами[4,9]. Основные характеристики исследуемого парового котла приведены в таблице 2.

При выборе парового котла, было проанализирован парковый состав теплового энергетического оборудования ближайших электростанций в регионе Дальнего Востока [14,13]. Месторасположение ТЭЦ в Приморском крае и характеристики их энергетического оборудования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – ТЭЦ Приморского края с характеристиками энергетического оборудования

Название ТЭЦ и месторасположение в Приморском крае	Вид топлива	Количество котлов	Характеристика котельного оборудования
Артёмовская ТЭЦ, г. Артём	уголь	8	БКЗ-220-100
Владивостокская ТЭЦ-2, г. Владивосток	уголь, мазут, газ	14	БКЗ-210-140
Партизанская ГРЭС, г. Партизанск	уголь	5	ТП-170-1
Приморская ГРЭС, г. Лучегорск	уголь	8	БКЗ-220-100
		5	БКЗ-670-140

Как видно из таблицы, котлоагрегаты изготовленные Барнаульским котельным заводом имеются повсеместно и составляют 88% от общего количества топливо-сжигающего энергетического оборудования рассматриваемых ТЭЦ.

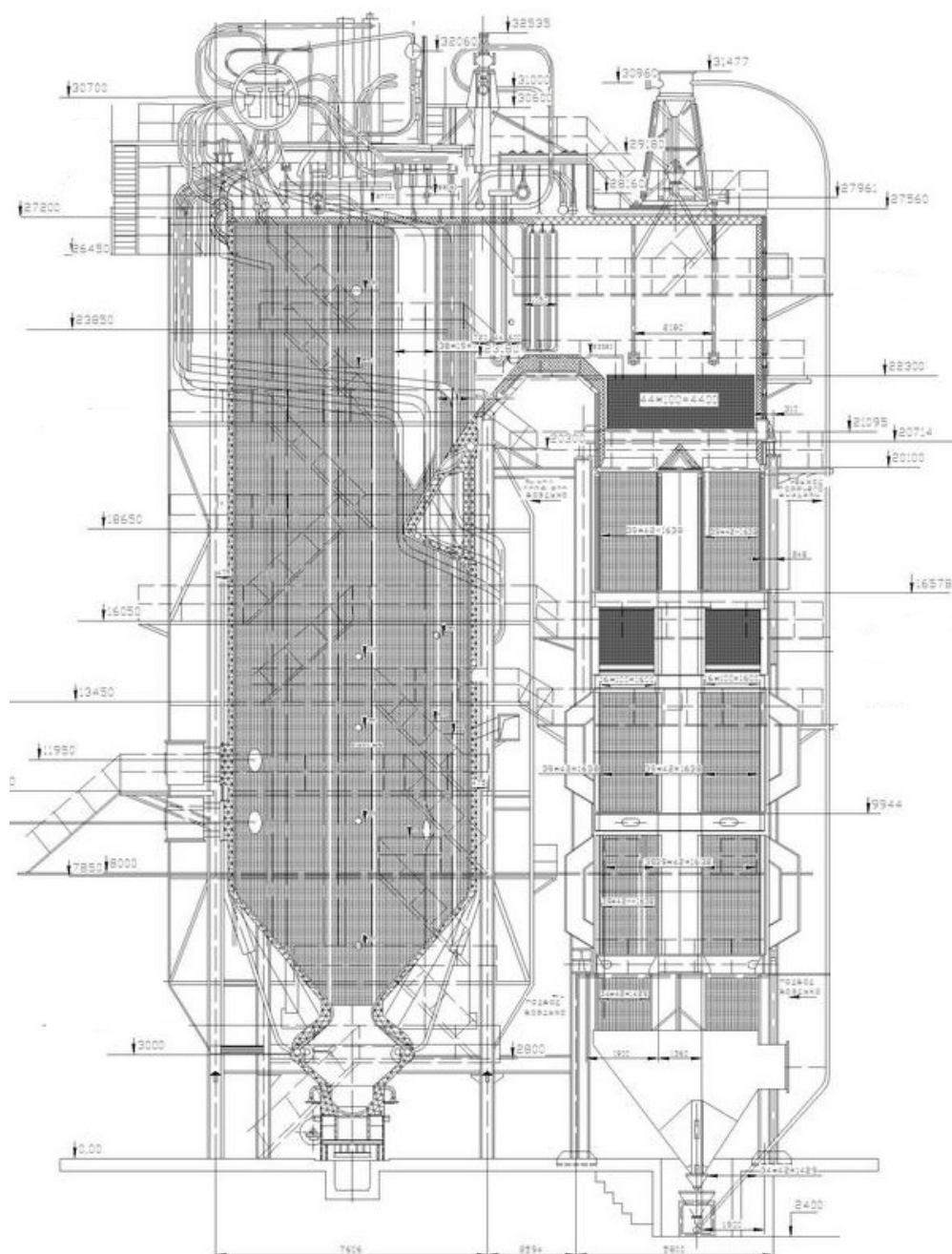


Рисунок 1 – Продольный разрез котла БКЗ-220-100

Таблица 2 – Основные характеристики котла [4]

Паропроизводительность котла	$D_{\text{пе}} = 220 \text{ т/ч}$
Давление перегретого пара	$p_{\text{пе}} = 10 \text{ МПа.}$
Температура перегретого пара	$t_{\text{пе}} = 540 \text{ }^{\circ}\text{C.}$
Температура питательной воды	$t_{\text{пв}} = 215 \text{ }^{\circ}\text{C.}$
Давление в барабане	$p_6 = 11,2 \text{ МПа.}$
Непрерывная продувка	$p_{\text{пр}} = \text{до } 1 \text{ \%}$

Котел вертикально-водотрубный, одnobарабанный с естественной циркуляцией, однокорпусный, выполнен по П-образной схеме. Установка с твердым шлакоудалением, оборудована двумя шнековыми транспортерами дробилками. Топка расположена в первом восходящем газоходе. Во втором нисходящем газоходе расположены водяной экономайзер и воздухоподогреватель, которые установлены в рассечку. Пароперегреватель размещен в верхнем горизонтальном газоходе [11].

Топочная камера прямоугольного сечения, открытого типа, объём топки – 1043 м³, стены топочной камеры полностью экранированы трубами с шагом 64 мм, материал – сталь (ст.) 20. Фронтной и задней экраны в нижней части образуют скаты холодной воронки, через которую падающий шлак непрерывно удаляется.

Экраны конструктивно выполнены в виде 14 панелей – блоков. На фронте и сзади котла – по четыре блока, с боков – по три блока. Камеры по воде и пару соединяются с барабаном трубами.

В верхней части топки 27 труб каждого блока задней экрана отогнуты внутрь топочной камеры, образуя «порог», предназначенный для частичного затенения ширм. 10 труб каждого блока задней экрана проходят прямо в коллектор, эти трубы находятся в необогреваемой зоне. Угол наклона «порога» к горизонту 50 °С.

12 труб задней экрана образуют фестон (конвективные испарительные поверхности, образованные разводкой в несколько рядов труб задней экрана в зоне пересечения ими горизонтального газохода). В нижней части топочной камеры трубы задней и фронтной экраны образуют холодную воронку.

Топочная камера снабжена четырьмя пылевыми щелевыми горелками, установленными встречно на каждой боковой стене.

На котле установлен один сварной барабан. Барабан выполнен из стали 22К, полная длина 12905 мм, вес 47515 кг, оборудован устройствами для ускоренного обогрева и расхолаживания.

Схема испарения двухступенчатая. Первая ступень испарения включена непосредственно в барабан и представляет собой сочетание внутрибарабанных циклонов и промывочных устройств. Вторая ступень испарения помещена в средних циркуляционных экранах боковых стен и включена в выносные паросепарационные циклоны с собственной водоподводящей и пароотводящей системами.

На котле установлен радиационно-конвективный пароперегреватель. Радиационная часть пароперегревателя выполнена в виде ширмовых поверхностей, расположенных в топке, и труб потолочного пароперегревателя.

Конвективные поверхности пароперегревателя расположены в горизонтальном газоходе котла.

Тракт пароперегревателя состоит из двух не перемешивающихся самостоятельных потоков. Температура перегретого пара регулируется двухступенчатым впрыском собственного конденсата, получаемого в конденсаторах, установленных на потолочной раме каркаса. Впрыск конденсата осуществляется благодаря перепаду давлений на участке конденсатор – точка впрыска.

В конвективной шахте по ходу газов расположены экономайзер и воздухоподогреватель. Водяной экономайзер выполнен из двух ступеней. Блоки экономайзера и воздухоподогревателя установлены друг на друга и опираются на портал каркаса. Все соединения сварены между собой, что до минимума снижает присосы.

Методика исследования основана на сопоставлении результатов нормативного метода теплового расчета энергетических котлов с результатами математического моделирования.

В свою очередь тепловой расчет подразделяется на конструкторский и поверочный [19].

Задача конструкторского теплового расчета котла заключается в выборе компоновки поверхностей нагрева в газоходах котла, определении

Задача конструкторского теплового расчета котла заключается в выборе компоновки поверхностей нагрева в газоходах котла, определении размеров радиационных и конвективных поверхностей нагрева, обеспечивающих номинальную паропроизводительность котла при заданных номинальных параметрах пара [18,19].

Задача поверочного расчета является определение тепловых характеристик (температуры), по уже известным геометрическим. Особенностью поверочного расчета является также то, что расчёт каждой из конвективных поверхностей производят методом последовательных приближений, задаваясь, предварительно тепловосприятием по газовой или рабочей среде и сравнивая затем его с расчётным тепловосприятием [10].

В связи с выбранным объектом исследования, котлом БКЗ-220-100 [4], будет проведен поверочный метод расчета. Данный паровой котел реально существует на Артёмовской ТЭЦ и имеет весь аспект конструкторских данных. С помощью него будут исследованы теплотехнические характеристики котлоагрегата. Геометрические характеристики данного котла находятся в свободном доступе справочных материалов для ВУЗов [10].

Математическое моделирование топочных устройств является одним из важнейших способов получения информации об аэродинамике, локальном и суммарном теплообмене. Эта информация весьма необходима при проектировании тепловых установок и оценки работы эксплуатирующихся [11]. Математическое моделирование особенно полезно при разработке новых технологий для оценки их работоспособности и оценки их потенциала, а также для анализа надёжности эксплуатации проектируемого оборудования.

Суть математического моделирования заключается в создании и исследовании с помощью компьютера математических моделей реально существующих объектов и явлений. Основное отличие математического моделирования от экспериментального в том, что все процессы происходят в

программе, а не в реальности, что способствует избавлению от трудных и дорогостоящих экспериментов. Однако, с помощью компьютерных экспериментов с моделями объектов, используя современные методы вычислений, можно более детально и углубленно изучать объекты исследования, что недостижимо при только теоретическом подходе и является приоритетом эксперимента [22].

Процесс математического моделирования условно разделяют на несколько этапов. В 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 объектов и управление ими. От правильности задания всех данных зависит результативность и правдивость расчета [22,23].

Второй этап основывается на формировании математической модели объекта. При построении модели необходимо помнить, что наиболее информативной будет не та самая сложная модель, что больше похожа на объект, а та, которая позволит получить логичный и рациональный результат, так как большая конкретизация или укрупнение лишь помешают построению модели [22,24].

В третьем этапе происходит исследование построенной математической модели, которое начинается с выбора метода ее решения.

Расчеты производились хорошо известным программным продуктам ANSYS FLUENT. Это основные продукты для задач гидрогазодинамики общего назначения, предлагаемые компанией ANSYS, Inc [15].

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Рациональная организация производства энергетического предприятия имеет огромное значение в настоящее время. При все более усугубляющемся кризисе, наиболее важным становится найти те возможности, те ресурсы, которые бы восстановили уровень и темп развития производства. Оценив эффективность своей деятельности, энергетические предприятия могут выбрать экономически выгодное направление, которое соответствовало бы возможностям предприятия и сложившимся экономическим условиям.

Экономико-математическая модель даёт возможность определить основные параметры развития производства для текущего и перспективного планирования, позволяющего выявить более целесообразные пути использования и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения [30].

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
 - определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

7.1 Анализ конкурентных технических решений

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.

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

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

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в табл. 4. Для сравнения были выбраны спроектированный котел БКЗ–220–100 и котел БКЗ–160.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{кл}	К _ф	К _{кл}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	3	2	0,21	0,14
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,13	4	3	0,52	0,39
3. Помехоустойчивость	0,03	4	4	0,12	0,12
4. Энергоэкономичность	0,1	3	3	0,3	0,3
5. Надежность	0,2	4	3	0,8	0,6
6. Уровень шума	0,04	2	1	0,08	0,04
7. Безопасность	0,2	4	3	0,8	0,6
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	0,12	0,09
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	1	1	0,04	0,04
3. Цена	0,06	2	2	0,12	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	36	29	3,61	2,84

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 4, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

7.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

7.2.1 Годовые затраты на топливо

$$I_{\text{топ}} = B_p \cdot h_{\text{год}} \cdot (1 + B_{\text{пот}}/100) \cdot C_{\text{т.н.т.}} = 37,13 \cdot 6500 \cdot (1 + 5,5/100) \cdot 1850 = \\ = 471045103 \text{ рублей}$$

где $B_p=37,13$ – часовой расход натурального топлива, т/час;

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

$B_{\text{пот}} = 5,5 \%$ – суммарная величина потерь топлива на территории котельной в % от годового потребления топлива;

$C_{\text{т.н.т.}} = 1850$ руб/т – цена натурального топлива

7.2.2 Амортизационные отчисления

$$I_a = p_n \cdot K = 3,7 / 100 \cdot 75106,8216 = 2778,95 \text{ тыс. руб,}$$

где $p_n = 3,7 \%$ – норма амортизационных отчислений на капитальный ремонт и на реновацию для котельной установки;

K – капитальные вложения = 75106,8216 тыс.руб(средняя стоимость затрат на паровой котел)

7.2.3 Затраты на текущий ремонт

$$I_{mp} = 0,2 \cdot I_a = 0,2 \cdot 2778,95 = 555,79 \text{ тыс. руб.}$$

7.2.4 Затраты на воду

Рассчитывается исходя из пароводяного баланса котельного цеха для определения затрат на воду, которая потребляется для добавки в цикл с целью компенсации потери ее из цикла и для хозяйственных нужд.

$$I_B = D_B \cdot h_{год} \cdot \Pi_B = 2,2 \cdot 6500 \cdot 73 = 1043,9 \text{ тыс.руб.}$$

где $D_B = D_{пп} \cdot 10\% = 2,2$ – часовой расход воды на продувку, т/час;

$\Pi_B = 73 \text{ руб/м}^3$ – стоимость воды с учетом химводоочистки.

7.2.5 Затраты на электроэнергию

Затраты на собственные нужды определяются по двухставочному тарифу

$$I_{\varepsilon} = N_{уст} \cdot h_{год} \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_n \cdot \Pi_{\varepsilon} + N_{уст} \cdot \Pi_{кв} = 106 \cdot 6500 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,62 + 106 \cdot 230 = 682344 + 18400 = 934,3545 \text{ тыс. руб.},$$

где $N_{уст} = 106 \text{ кВт}$ – установочная мощность токоприемников парового котла;

$k_{\varepsilon} = k_n = 0,9$ – коэффициенты времени и потерь электрической энергии;

$\Pi_{\varepsilon} = 1,62 \text{ руб/кВт}$ – тариф на потребленную электрическую энергию;

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

7.2.6 Затраты на заработную плату обслуживающего персонала

Расходы на содержание обслуживающего персонала складываются из: заработной платы эксплуатационного, ремонтного и управленческого персонала котельного цеха, отнесенная на один парогенератор. Прямая заработная плата определится из штатного расписания котельного цеха и должностных окладов, приведенных в таблице

Таблица 5 – Штатное расписание котельного цеха

№ п/п	Наименование должностей	Норма обслужив. в смену ПГ/чел	Месячн. оклад, руб/чел/ мес	Месяч оклад на 1 ПГ пг,
1	2	3	4	5
1	Старший машинист	3	17000	17000
2	Машинист котлов 4 разряда	2	16300	24450
	Машинист котлов 3 разряда	1	16000	48000
4	Машинист багерной насосной	6	15800	7900
5	Машинист насосных установок	3	15700	15700
6	Машинист обходчик по котельному оборудованию	3	15500	15500
7	Котлочист	3	14500	4833
8	Зольщик	3	14100	4700
9	Слесарь по ремонту котельного оборудования	2	14200	7100
10	Дежурный слесарь	6	13800	2300
11	Дежурный электрик	6	13800	2300
12	Электросварщик	6	14000	2333
13	Газоэлектросварщик	6	14100	2350
14	Газорезчик	6	14100	2350
15	Печник	3	14500	4833
16	Крановщик	6	13500	2250
17	Токарь	6	13800	2300
18	Кладовщик	3	12500	4167
19	Уборщица	3	5000	1667
	Итого	$3П^{оп}$	172033	
20	Нач. цеха	1	19000	19000
21	Зам. нач. цеха	1	18200	18200
22	Нач. смены	3	17800	5933
23	Ст. мастер	1	16000	16000
24	Мастер	3	12000	4000
	Итого	$3П^{рук}$	63133	
	Всего по котельному цеху		235166	

7.2.6.1 Основная заработная плата обслуживающего персонала

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

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

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

7.2.6.2 Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала

$$П_{доп}^{ОП} = 0,08 \cdot 3П^{ОП} = 0,08 \cdot 172033 = 13762,64 \text{ руб} = 13,76264 \text{ тыс. руб.}$$

7.2.6.3 Общая заработная плата обслуживающего персонала

$$П_{общ}^{ОП} = П_{осн}^{ОП} + П_{доп}^{ОП} = 332,02369 + 13,76264 = 345,78633 \text{ тыс. руб.}$$

7.2.6.4 Основная заработная плата руководящего персонала

$$\begin{aligned} П_{осн}^{Рук} &= 3П^{Рук} + 3П^{Рук} \cdot (k_{прем} + k_{рк}) = 63133 + 63133 \cdot (0,43 + 0,3) = \\ &= 109220,09 \text{ руб} = 109,22009 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

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

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

7.2.6.5 Дополнительная заработная плата руководящего персонала

$$П_{доп}^{Рук} = 0,08 \cdot 3П^{Рук} = 0,08 \cdot 63133 = 5050,64 \text{ руб} = 5,05064 \text{ тыс. руб.}$$

7.2.6.6 Общая заработная плата руководящего персонала

$$П_{общ}^{Рук} = П_{осн}^{Рук} + П_{доп}^{Рук} = 109,22009 + 5,05064 = 114,27073 \text{ тыс. руб.}$$

7.2.6.7 Затраты на заработную плату

$$И_{зн} = П_{общ}^{ОП} + П_{общ}^{Рук} = (345,78633 + 114,27073) \cdot 12 = 460,05706 \text{ тыс. руб.}$$

7.2.6.8 Отчисления на социальные цели

$$И_{ОСЦ} = 0,3 \cdot И_{зн} = (0,3 \cdot 332,84575) \cdot 12 = 138,017118 \text{ тыс. руб.}$$

7.2.6.9 Прочие расходы

$$\begin{aligned} И_{пр} &= 0,12 \cdot (И_{зн} + И_{ОСЦ} + И_{г} + И_{е} + И_{мр} + И_{а} + И_{мон}) = \\ &= 0,12 \cdot (460,05706 + 138,017118 + 700,744 + 2301,325 + 498,0062 + 2490,0321 + \\ &+ 291972,681) = 35827,3035 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Таблица 6 – Эксплуатационные расходы

№ п/п	Наименование затрат	Обозначение	Величина, тыс. руб.	Уд. Вес %
1	Затраты на топливо	$I_{\text{топ}}$	471045,103	91,89
2	Амортизационные отчисления	I_a	2778,95	0,54
3	Затраты на текущий ремонт	$I_{\text{ТР}}$	555,79	0,108
4	Затраты на воду	I_v	1043,9	0,204
5	Затраты на электроэнергию	$I_э$	934,3545	0,18
6	Заработная плата	$I_{\text{зп}}$	406,06	0,08
7	Отчисления на соц. цели	$I_{\text{соц}}$	138,017118	0,03
8	Прочие расходы	$I_{\text{пр}}$	35827,3035	6,968
	Итого	$I_{\text{год}}$	512729,4781	100

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

7.4.7 Себестоимость выработанной тонны пара

$$C_{\text{выр}} = I_{\text{год}} / D_{\text{год}} = 5127294781 / 14300000 = 358,5 \text{ руб/т},$$

где $D_{\text{год}} = h_{\text{год}} \cdot D = 6500 \cdot 220 = 14300000 \text{ т/год}$.

7.4.8 Себестоимость отпущенной тонны пара

$$C_{\text{отп}} = I_{\text{год}} / D_{\text{отп}} = 5127294781 / 1358500 = 335,4 \text{ руб/т},$$

где $D_{\text{отп}} = D_{\text{год}} - D_{\text{сн}} = 1430000 - 71500 = 1358500 \text{ т/год}$ — годовой расход отпущенного пара,

где $D_{\text{сн}} = 0,05 \cdot D_{\text{год}} = 0,05 \cdot 14300000 = 71500 \text{ т/год}$ — годовой расход пара на собственные нужды.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации был выполнен тепловой поверочный расчет, а также математическое моделирование топочной камеры реально существующего парового котла БКЗ-220-100.

После проведения численного моделирования был проведён анализ визуальных и графических результатов, включающих в себя графики распределения температуры, скоростей и тепловыделения.

Оценка всех основных параметров показала достаточно близкое соответствие результатов математического моделирования и теплового расчета. Наблюдалось стабильное воспламенение пылевоздушной смеси, устойчивое горение и факел. В активной области горения наблюдается интенсивное вихревое движение и перемешивание пылевоздушной смеси.

К достоинствам данной магистерской диссертации можно отнести незначительные изменения геометрии котла. Это положительно влияет не только на экономические показатели, но и приводит к положительному результату исследования. Так, Шивэ-Овоонский уголь Монгольского месторождения, вполне может заменить реализующееся топливо на сегодняшний день. Распределение температур и тепловыделения показали приемлемую надёжность работы топочной камеры, не допускающую пережога поверхностей нагрева и обеспечивающую длительный срок эксплуатации оборудования.

В качестве недостатков данной работы можно отнести незначительное превышение температуры дымовых газов на выходе из топочной камеры над рекомендуемыми, с точки зрения надежности эксплуатации парового котла.

Итогом выпускной магистерской диссертации стало исследование эксплуатационных характеристик парового котла БКЗ-220-100 на непроектном топливе с использованием математического моделирования.

Список публикаций

- Коврижкина К. А., Микроэлементы и редкие металлы в составе минеральной части угля месторождения Шивэ-Овоо [Электронный ресурс] = Trace elements and rare metals in the composition of mineral of coal mine Shiwei-Ovoo / К. А. Коврижкина; науч. рук. А. Ю. Долгих //Современные техника и технологии: сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 5-9 октября 2015 г.: в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Т. 1. – [С. 82 – 84]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.
- Коврижкина К. А., Разработка котельного агрегата для электростанций типа Томской ТЭЦ-3 с использованием современных методов конструирования [Электронный ресурс] = Development of the boiler unit, using modern mathematical modeling for typical power stations on an example of Tomsk TPS-3 / К. А. Коврижкина; науч. рук. А. Ю. Долгих //Современные техника и технологии: сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 5-9 октября 2015 г.: в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Т. 1. – [С. 85-87]. — Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.
- Коврижкина К. А., Изучение минерального состава бурого угля Шивэ-Овооского месторождения Монголии методом фракционирования в тяжелых жидкостях [Электронный ресурс] / К. А. Коврижкина, Г. А. Черкашина, А. Ю. Долгих //Интеллектуальные энергосистемы: труды II Международного молодёжного форума, 6-10 октября 2014 г., г. Томск: в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). –Т. 1. – [С. 265-267]. – Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. – Adobe Reader.

Примечание: Диплом III степени Коврижкиной Кристине Альбертовне, магистр группы 5BM41, Энергетический институт НИ ТПУ, за доклад «Микроэлементы и редкие металлы в составе минеральной части угля месторождения Шивэ-Овоо» представленный на II Международном молодежном форуме «Интеллектуальные энергосистемы», НИ ТПУ, 6-10 октября 2014 г.

- Коврижкина, К. А., Расчетный подход к замещению проектного топлива для действующего котла/ К. А. Коврижкина; науч. рук. А. Ю. Долгих //Современные техника и технологии: I(XVI) Всероссийская научно-техническая конференция студентов и магистрантов, г. Братск, 19-22 апреля 2016 г.: в 1 т. / Братский государственный университет (БГУ). – 3 [С. 120 – 122].