

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

Институт: Энергетический институт

Направление подготовки: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Кафедра: Парогенераторостроения и парогенераторных установок

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект котла с естественной циркуляцией паропроизводительностью 340 т/ч для расширения Хабаровской ТЭЦ – 3

УДК 621.311.22:697.34:621.181(571.62)

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5В21	Попов Валерий Вячеславович		

#### Руководитель

Должность	ФИО	ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лебедев Б.В.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Романцов И.И.	Ст. преподаватель		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой	ФИО	ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Заворин А.С.	д.т.н., профессор		

Томск – 2016

**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 ПГС и ПГУ  
 \_\_\_\_\_ Заворин А.С.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5В21	Попову Валерию Вячеславовичу

Тема работы:

Проект котла с естественной циркуляцией паропроизводительностью 340 т/ч для расширения Хабаровской ТЭЦ – 3

Утверждена приказом директора (дата, номер)	601/с от 01.02.2016
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2016 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Объект проектирования – паровой котел  
 Основное топливо – уголь марки Г Ургальского месторождения  
 Параметры перегретого пара:

- давление пара  $P_{пе} = 13.7$  МПа
- температура  $t_{пе} = 540$  °С

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение.</p> <p>1) Обоснование тепловой мощности ТЭЦ и паропроизводительности котельной установки.</p> <p>2) Тепловой расчет топочной камеры котла:</p> <p>2.1) Характеристики топлива,</p> <p>2.2) Выбор шлакоудаления,</p> <p>2.3) Выбор типа углеразмольных мельниц,</p> <p>2.4) Составление тепловой схемы котла,</p> <p>2.5) Выбор и компоновка горелочных устройств.</p> <p>3) Тепловой расчет парового котла и конструирование его элементов.</p> <p>4) Индивидуальное задание (Расчет испарительного контура циркуляции).</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Общие виды котла – 2-3 листа</p> <p>Контур циркуляции.– 1 лист</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультанты</b></p>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова С.Н. /доцент/ кафедра МЕН
«Социальная ответственность»	Романцов И.И. /старший преподаватель/ кафедра ЭБЖ
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
-	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2016 г.
--	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лебедев Б.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5В21	Попов В.В.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-  
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5B21	Попову Валерию Вячеславовичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	бакалавр	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	Средняя стоимость 1 м <sup>3</sup> производственного здания – 20 тыс. руб/ м <sup>3</sup> ; цена натурального топлива – 758 тыс. руб/ т.; стоимость 1 кВт потребляемой энергии – 1,62 руб.; стоимость 1 кВт заявленной мощности – 230 руб., тариф на воду согласно РЭК г.Хабаровска – 311,57 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Паропроизводительность котла – 340 т/ч.; установочная мощность токоприемников парогенератора – 70 кВт; число часов использования установленной мощности – 6500 ч; часовой расход воды в котле – 10 % от паропроизводительности.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды – 30%; амортизационные отчисления на капитальный ремонт и реновацию – 3,3%.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ конкурентоспособности технических решений	
2. Определение капитальных вложений в проектируемый паровой котел	
3. Определение годовых эксплуатационных издержек	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
-	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Попова С.Н.	Доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5B21	Попов Валерий Вячеславович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5В21	Попову Валерию Вячеславовичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

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

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Рабочая зона – котельный цех Хабаровской ТЭЦ-3 с паровыми котлами Е-340-13,7-540 КТ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные факторы производственной среды: вредные вещества в продуктах сгорания (оксиды азота и серы), недостаток естественного света, повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны, повышенный уровень вибрации;</li> <li>- опасные проявления факторов производственной среды: большая высота, подвижные части производственного оборудования, высокие температуры;</li> <li>- негативное воздействие на окружающую среду: выброс дымовых газов, отходы золы и шлака;</li> <li>- чрезвычайные ситуации: пожары, взрывы котельного оборудования</li> </ul>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<p>СНиП 21-01-97; СНиП П-12-77; СанПиН 2.2.4.548-96; СН 2.2.4/2.1.8.556-96; ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ; ГОСТ 12.2.003-91.</p>

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

<p>В работе рассмотреть:</p> <p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Влияние вредных веществ на организм человека; допустимые нормы и значения выбросов для данного котла; шумовое воздействие на нервную систему, степень освещенности на рабочее место.</p> <p>Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 допустимые нормы шума при средней напряженности трудового процесса 70 дБА.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Движущиеся части производственного оборудования представляют опасность травмирования.</p> <p>Большая высота является источником опасности во многих отраслях, при падении наносятся телесные повреждения.</p> <p>Источники термических опасностей – перегретый пар и поверхности нагрева котла, представляющие опасность в виде ожогов.</p> <p>Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, где присутствуют источники напряжения.</p>

<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Основные виды вредных выбросов – твердые частицы золы, оксиды серы и азота. В зонах воздействия золошлакоотвалов формируются неблагоприятные экологические ситуации из-за пылеобразования, а также вымывания компонентов золы, попадания их в почву и подземные воды, что оказывает негативное воздействие на население. Более того: шлак радиоактивен.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>Наиболее типичным видом ЧС в котельном цехе является взрыв котельного оборудования. Чаще всего взрывы котлов происходят из-за чрезмерно высокого давления пара и обусловлены дефектом конструкции, либо из-за отсутствия надлежащего периодического ремонта. Также причиной может быть выход из строя предохранительного оборудования.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>1. Трудовой кодекс</p>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	-

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	преподаватель		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5В21	Попов Валерий Вячеславович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 133 страниц, четырех рисунков, 10 таблиц, семи источников, четырех приложений.

Ключевые слова: котельная установка, паровой котел, тепловой расчет, топочная камера, теплообмен, поверхность нагрева, электрофильтр, дымосос, дымовая труба.

Объектом исследования является котельная установка с паровым котлом Е-340-13,7-540 КТ.

Цель работы: разработка проекта котельной установки паропроизводительностью 340 т/час для работы в составе энерготехнологического комплекса Хабаровской ТЭЦ-3.

В процессе исследования проводились:

- оценка способа сжигания;
- тепловой расчет и конструирование поверхностей нагрева котла;
- расчет газового тракта котла;

В результате исследования:

- выбрана тепловая схема котла;
- определены геометрические размеры поверхностей нагрева и топочной камеры парового котла;
- определены геометрические размеры каналов газового тракта;
- выбраны тягодутьевые машины и золоулавливающие устройства.

Экономическая эффективность проекта представлена в виде анализа конкурентоспособности технических решений, определения капитальных вложений в паровой котел и годовых эксплуатационных издержек.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью прикладных программ: Microsoft Office 2010, MathCAD V15, КОМПАС 3D V15, Adobe Acrobat Reader V9.0.

В выпускной работе приняты следующие сокращения:

АВ – аэродинамический выступ;

ВО – выходное окно;

ВПО – впрыскивающий пароохладитель;

ПО1 – пароохладитель первой ступени;

ПО2 – пароохладитель второй ступени;

ГВ – горячий воздух;

ХВ – холодный воздух;

ДГ – дымовые газы;

ПВ – питательная вода;

ПВС – пароводяная смесь;

ПП – перегретый пар;

ГГ – горизонтальный газоход;

КПД – коэффициент полезного действия;

КПП1 – конвективный пароперегреватель первой ступени;

КПП2 – конвективный пароперегреватель второй ступени;

ШПП – ширмовый пароперегреватель;

РПП – радиационный пароперегреватель;

ВП1 – воздухоподогреватель первой ступени;

ВП2 – воздухоподогреватель второй ступени;

ВЭК1 – водяной экономайзер первой ступени;

ВЭК2 – водяной экономайзер второй ступени;

КШ – конвективная шахта;

ОП – опускные трубы;

ПО – пароотводящие трубы;

ТШУ – твердое шлакоудаление;

ЖШУ – жидкое шлакоудаление;

кол-во – количество;

коэф. – коэффициент;

Экр. – экранные трубы;

энт. – энтальпия;

СанПиН – санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.



## Оглавление

Введение	10
1. Обоснование тепловой мощности ТЭЦ и паропроизводительности котельной установки	11
2 Тепловой расчет топочной камеры котла	15
2.1 Характеристики топлива	15
2.2 Выбор способа шлакоудаления	16
2.3 Выбор типа углеразмольных мельниц и системы пылеприготовления	17
2.4 Составление тепловой схемы котла	17
2.5 Выбор и компоновка горелочных устройств	19
3 Тепловой расчет парового котла и конструирование его элементов	20
4 Расчет испарительного контура циркуляции	21
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
6 Социальная ответственность	59
Заключение	69
Список используемых источников	70
Приложение А. Тепловой расчет топочной камеры котла	71
Приложение Б. Энтальпия воздуха и продуктов сгорания	83
Приложение В. Тепловой расчет поверхностей нагрева парового котла	84
Приложение Г. Расчет контура циркуляции	127
Графический материал:	
ФЮРА.311233.002 Котел паровой Е – 340 – 13,7 – 540 КТ (поперечный разрез)	
ФЮРА.311233.003 Котел паровой Е – 340 – 13,7 – 540 КТ (продольный разрез)	
ФЮРА.311233.004 Котел паровой Е – 340 – 13,7 – 540 КТ (горизонтальный разрез, вид сверху)	
ФЮРА.311300.005 Контур циркуляции (расчетная схема)	

## Введение

Российская энергетика в настоящее время стремительно развивается и реорганизуется. Россия обладает гигантскими запасами угля всех известных видов и характеристик и имеет огромный потенциал по развитию и строительству станций, работающих именно на угле. Основной причиной отсутствия существенных результатов в этой области является наличие более лёгкого в использовании топлива – природного газа.

Дальневосточный регион располагает запасами твёрдого, газообразного и жидкого топлива, позволяющими рассматривать различные комбинации при их использовании на энергетических установках в зависимости от расположения предприятий и ценовой политики, определяющей себестоимость энергии.

Большинство территориальных генерирующих компаний отдают предпочтение твердому топливу, ввиду его относительной дешевизны.

При выполнении работы основная цель состоит в определении наиболее рациональной компоновки и размеров основных элементов рассматриваемого котла для обеспечения максимальной эффективности, надёжности и экономичности его работы при номинальных условиях.

Задачей данной работы являлась разработка проекта парового котла с естественной циркуляцией для работы на углях Ургальского бассейна применительно к Хабаровской ТЭЦ-3.

## 1. Обоснование тепловой мощности ТЭЦ и паропроизводительности котельной установки.

ОАО «Дальневосточная генерирующая компания» (ОАО «ДГК») – российская энергетическая компания, действующая в дальневосточном регионе страны.

Установленная электрическая мощность ОАО «ДГК ТЭЦ-3» составляет 720 МВт, установленная тепловая мощность 1640 Гкал/час [1].

ОАО «ДГК» образовано в результате реформирования энергокомпаний, входящих в объединенную энергосистему Дальнего Востока. В состав ОАО «ДГК» вошли электростанции «Амурэнерго», «Хабаровскэнерго», «Дальэнерго», ЗАО «ЛуТЭК» и Нерюнгринская ГРЭС, а также магистральные тепловые сети.

Компания производит тепловую и электрическую энергию, а также обеспечивает централизованное теплоснабжение потребителей в районах расположения электростанций в Хабаровском и Приморском краях, Амурской области, Еврейской автономной области и южном районе Республики Саха. За ОАО «ДГК» также закреплена функция сбыта тепловой энергии конечным потребителям.

ОАО «ДГК» – четвертая по величине установленной мощности территориальная генерирующая компания России и крупнейший участник энергетического рынка Дальнего Востока. Зона деятельности компании охватывает 1/10 часть территории нашей страны [1].

Установленная электрическая мощность ОАО "ДГК" составляет 5846,58 МВт, тепловая - 12585,1 Гкал/час. Выработка электроэнергии в 2012 году составила 23,09 млрд кВт, отпуск тепла - 22,36 млн Гкал. Численность персонала ОАО «ДГК» составляет 15 560 человек [1].

Основными видами деятельности АО «Дальневосточная генерирующая компания» являются:

- производство тепловой и электрической энергии;
- транспортировка с наименьшими потерями тепловой энергии потребителям;
- распределение теплоэнергии между потребителями;
- обеспечение безаварийной передачи теплоэнергии;
- обеспечение тепловой энергией Дальневосточного региона, при которой возникновение и развитие кризисных ситуаций региона сведено к нулю;
- поставка (продажа) электрической и тепловой энергии по установленным тарифам в соответствии с диспетчерскими графиками электрических и тепловых нагрузок;
- организация энергосберегающих режимов работы оборудования электростанций, соблюдение режимов поставки энергии в соответствии с договорами;
- реализация (продажа) тепловой энергии на розничных рынках тепловой энергии потребителям (в том числе гражданам);
- обеспечение энергоснабжения потребителей, подключенных к электрическим и тепловым сетям Общества, в соответствии с заключенными договорами;
- добыча и реализация угля.

Миссия и стратегия.

Специфика дальневосточной энергетической отрасли, являющейся стратегической областью экономики Дальнего Востока требует от менеджмента генерирующей компании эффективно балансировать рыночные и технологические приоритеты в стратегии управления и развития бизнеса.

С учетом данного фактора, трансформируя понимание миссии Компании в конкретные стратегические ориентиры деятельности, определена следующая.

Рост экономических и производственных масштабов Компании, обеспеченный расширением рынков сбыта энергии, комплексным развитием теплового бизнеса, внедрением инновационных технологий и эффективной инвестиционной деятельностью.

ОАО «Дальневосточная генерирующая компания» зарегистрировано 19 декабря 2005 года в г. Нерюнгри. Операционную деятельность ОАО «ДГК» начало с 01 января 2007 года.

Основными целями ОАО «ДГК» в области качества являются: существенно повысить эффективность бизнеса Компании, обеспечить рост финансовых показателей, капитализацию Компании и привлечение инвесторов, а также максимально укрепить свои позиции и возможность на высочайшем уровне исполнять своё дело в исторически сложившейся, экономически и территориально обусловленной роли стратегически важного и социально-ориентированного предприятия.

В связи с этим ОАО «ДГК» делает акцент на свою клиентоориентированность, понимая под этим постоянное повышение удовлетворенности прямых потребителей электрической и тепловой энергии и всех заинтересованных в деятельности Компании сторон, включая общество (государство), инвесторов, акционеров, контрагентов, собственный персонал [1].

В своей работе Компания руководствуется следующими принципами:

- Постоянное улучшение деятельности с помощью непрерывного развития потенциала наших сотрудников и создания благоприятной социальной и производственной среды.

- Достижение высокого уровня качества нашей продукции, надежной и бесперебойной работы оборудования станций на основе построения эффективной системы процессного управления.

- Обеспечение, поддержание в рабочем состоянии и совершенствование производственной среды.

- Эффективное взаимодействие с поставщиком в области качества с целью удовлетворения потребителей продукции ОАО «ДГК» создания положительного имиджа Компании в России и за рубежом.

- Построение и применение экономически эффективной системы менеджмента качества на основе анализа международного опыта и с учетом отраслевой специфики.

Ответственность за реализацию Политики в области качества высшие менеджеры Компании возлагают на себя и гарантируют ее претворение в жизнь.

## 2. Тепловой расчет топочной камеры котла

### 2.1 Характеристики топлива

#### 2.1.1 Расчетные характеристики топлива

Сжигаемое топливо: Углереза Ургальского б-на марки Г (№116)

Средний состав топлива для рабочего состояния [2]:

влажность:  $W_t^r = 10 \%$ ,

зольность:  $A_t^r = 31,1 \%$ ,

сера:  $S_{(o+p)t}^r = 0,4 \%$ ,

углерод:  $C_t^r = 46,6 \%$ ,

водород:  $H_t^r = 3,4 \%$ ,

азот:  $N_t^r = 0,8\%$ ,

кислород:  $O_t^r = 7,7 \%$ ,

низшая теплота сгорания для рабочего состояния топлива

$$Q_{i_T}^r = 16,64 \text{ МДж/кг},$$

выход летучих для сухого беззольного состояния  $V_T^{daf} = 42 \%$ .

#### 2.1.2 Температурные характеристики золы [2]:

$t_A = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$  — температура начала деформации,

$t_B = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$  — температура начала размягчения,

$t_C$  больше  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$  — температура нормального шлакоудаления.

#### 2.1.3 Влага гигроскопическая

$$W^{ги} = 2,5 \%$$

#### 2.1.4 Приведенные влажность и зольность:

$$W_{пр}^r = 0,55 \%,$$

$$A_{пр}^r = 1,72 \%.$$

#### 2.1.5 Значения влажности и зольности топлива (по заданию из расчета топочной камеры)

$$W^r = 12 \%,$$

$$A^r = 32 \%.$$

2.1.6 Коэффициент пересчета состава топлива на массу с заданной влажностью и зольностью

$$k = 0,951 \quad (1.1)$$

2.1.7 Расчетный состав рабочей массы топлива

$$\begin{aligned} S_{p+o}^r &= 0,38 \%, \\ C^r &= 44,306 \%, \\ H^r &= 3,233 \%, \\ N^r &= 0,761 \%, \\ O^r &= 7,321 \%. \end{aligned} \quad (1.2)$$

2.1.8 Проверка правильности перерасчета состава топлива:

$$\begin{aligned} A^r + W^r + S_{p+o}^r + C^r + H^r + N^r + O^r &= 100 \% \\ 32 + 12 + 0,38 + 44,306 + 3,233 + 0,761 + 7,321 &= 100 \% \end{aligned} \quad (1.3)$$

2.1.9 Низшая теплота сгорания для рабочего состояния топлива при заданных значениях влажности и зольности

$$Q_i^r = 16,053 \text{ МДж/кг} \quad (1.4)$$

2.2 Выбор способа шлакоудаления

Сжигается в топочной камере каменный уголь углеразреза Ургальского бассейна. Так как  $t_c$  больше  $1350^\circ\text{C}$ , выход летучих  $V_t^{daf}$  больше 18 %, то целесообразно выбрать систему твердого шлакоудаления (ТШУ) [3].



## 2.3 Выбор типа углеразмольных мельниц и системы пылеприготовления

При выборе типа мельниц в общем случае приводится анализ следующих данных:

- Возможность получения пыли требуемого качества;
- Капитальные расходы;
- Эксплуатационные расходы;
- Простота управления и автоматизации.

Выбор типа мельницы производится в зависимости от физических свойств топлива (коэффициента размолоспособности, выхода летучих) и мощности котельного агрегата.

Для данной марки угля коэффициент размолоспособности (характеризует прочностные характеристики топлива)  $k_{\text{ло}}$  больше одного, а выход летучих  $V^{\text{daf}}$  больше 28 %. В соответствии с рекомендациями выберем молотковую мельницу (ММ). ММ имеют высокие экономические показатели при относительно грубом размоле топлив с высоким выходом летучих веществ [4].

Схема пылеприготовления определяется видом топлива, его приведенной влажностью, количеством влаги, которое необходимо испарить в процессе сушки, типом мельницы, типом топочного устройства, производительностью котла и характером его нагрузки.

В данной работе использована замкнутая система пылеприготовления с воздушной сушкой.

## 2.4 Составление тепловой схемы котла

Под тепловой схемой котла подразумевается компоновка частей котла.

Температура газов на выходе из топки определяется рекомендациями по условиям надежности работы конвективных поверхностей нагрева.

Температура уходящих газов оказывает решающее влияние на экономичность работы парового котла, так как потеря теплоты с уходящими газами является наибольшей в сравнении с суммой других потерь. Снижение температуры уходящих газов приводит к повышению коэффициента полезного действия (КПД) котла. Однако глубокое охлаждение газов требует увеличения размеров конвективных поверхностей нагрева и во многих случаях приводит к усилению низкотемпературной коррозии.

Исходя из вышесказанного и, так как топливо имеет малую зольность, то целесообразно выбрать «П-образную» компоновку.

#### 2.4.1 Температура газов на выходе из топки

Температура газов на выходе из топки рекомендуется выбирать исходя из следующих параметров [4]:

Сумма кислых компонентов

$$\sum K = 90,7 \% \quad (1.5)$$

Сумма основных компонентов

$$\sum O = 5,3 \% \quad (1.6)$$

Отношение кислых компонентов к основным

$$\frac{\sum K}{\sum O} = \frac{90,7}{5,3} = 17,1 \% \quad (1.7)$$

Так как  $\sum K / \sum O$  меньше шести, то исходя из рекомендаций [3] выбираем температуру на выходе из топки 1000 °С.

#### 2.4.2 Температура уходящих газов

Температура уходящих дымовых газов выбирается на основании технико-экономических расчетов по условию эффективного использования тепла топлива, расхода металла на хвостовые поверхности нагрева и с учетом низкотемпературной коррозии.

Так как топливо имеет малую приведенную влажность (меньше 0,7 %), то считается, что топливо сухое, и, так как температура питательной воды

ровна 225 °С, то исходя из рекомендаций [4] примем температуру уходящих газов 130 °С.

### 2.4.3 Температура горячего воздуха

Для подогрева воздуха больше 300 °С воздухоподогреватели выполняют двухступенчатыми, в рассечку. При этом в конвективной шахте последовательно по ходу газов размещаются: вторая по ходу воды ступень экономайзера, вторая по ходу воздуха ступень воздухоподогревателя, первая ступень экономайзера, первая ступень воздухоподогревателя.

В соответствии с рекомендациями [3]: 1) для данного вида топлива, 2) с индивидуальной замкнутой системой пылеприготовления с воздушной сушкой, 3) для топki с ТШУ принимаем температуру горячего воздуха равной 400 °С.

## 2.5 Выбор и компоновка горелочных устройств

2.5.1 В соответствии с рекомендациями [4] для сжигания каменных углей с  $V_T^{daf}$  больше 30 % принимаем для установки прямоточно-лопаточные горелки.

В задачи компоновки и размещения горелок входит: 1) полнота заполнения топочной камеры, 2) снижение вероятности зашлаковывания стен топочной камеры.

2.5.2 В проектируемой камере сгорания принято встречное размещение горелок на боковых стенках [4].

### 3 Тепловой расчет и конструирование поверхностей нагрева парового котла

Цель конструктивного теплового расчета заключается в выборе компоновки поверхностей нагрева в газоходах котла, определении размеров радиационных и конвективных поверхностей нагрева.

Расчет топочной камеры, как и всего котла в целом, проводился конструктивным методом. Задача расчета заключалась в определении тепловосприятности поверхностей нагрева, размеров необходимой лучевоспринимающей поверхности экранов и ее объема, при этом должен соблюдаться ряд условий, таких как:

- в пределах объема топочной камеры должно обеспечиваться наиболее полное сгорание;
- обеспечение снижения температуры продуктов сгорания до экономически разумного и безопасного значения на выходе из топки по условиям зашлакованности и перегрева металла труб;
- аэродинамика потока продуктов сгорания в объеме топочной камеры должна исключать шлакование стен или перегрева металла экранов, что можно достичь выбором типа горелочных устройств и их расположением.

Все расчеты представлены в приложении В.

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка конкурентоспособности разработки, а также расчет капитальных инвестиций и годовых эксплуатационных расходов проектируемого котельного агрегата.

### 5.1 Анализ конкурентоспособности 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 конкурентам. 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.

Позиции разработки и конкурентоспособности оцениваются каждым показателем отдельно по пятибалльной шкале, где один – самая слабая позиция, а пять – самая сильная. Вес всех показателей в сумме должен быть равен одному.

Анализ конкурентных и технических решений определяется по формуле [7]:

$$K = \sum B_i * B_i \quad (5.1)$$

Где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки;

$B_i$  – вес показателя;

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Уязвимость позиции конкурентов обусловлена главным образом устареванием эксплуатируемого оборудования и его износом. Следовательно, предполагаемый срок эксплуатации у конкурентного оборудования будет меньше.

## 5.2 SWOT-анализ

Главное конкурентное преимущество разработки – её новизна. Это делает её более надежной в сравнении с конкурентом, а также более легкой в эксплуатации, что способствует повышению производительности труда рабочих. Удобство в эксплуатации так же сказывается на стоимости производимого пара в сторону её удешевления.

## 5.3 Расчет капитальных вложений в проектируемый паровой котел

На стадии предварительных экономических расчетов капитальные вложения можно определять по формуле Ползунова [7]:

## 5.4 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Расчет капитальных инвестиций и годовых эксплуатационных расходов, а также анализ конкурентных технических решений позволили доказать и обосновать технико-экономическую целесообразность эксплуатации спро-

ектированной установки. Благодаря этому можно избежать излишних затрат, а также повысить конкурентоспособность и надежность котлоагрегата.