

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



Институт – Энергетический
Направление подготовки – 141100 Энергетическое машиностроение
Кафедра – Парогенераторостроения и парогенераторных установок

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Проект котла с естественной циркуляцией паропроизводительностью 210 т/ч для замены выработавших ресурс котлов Кузнецкой ТЭЦ	
УДК 621.311.22:697.34:621.181(571.13)	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5В21	Булгаков Артемий Валериевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Хаустов С.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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



Институт Энергетический
 Направление подготовки (специальность) 130303 «Энергетическое машиностроение»
 Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5В21	Булгакову Артемию Валериевичу

Тема работы:

Проект котла с естественной циркуляцией паропроизводительностью 210 т/ч для замены выработавших ресурс котлов Кузнецкой ТЭЦ

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

7 июня 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Паропроизводительность	$D = 210$ т/ч;
	Давление в барабане	$P_6 = 15,5$ МПа;
	Давление перегретого пара	$P_{пп} = 13,8$ МПа;
	Температура перегретого пара	$t_{пп} = 560$ °С;
	Температура питательной воды	$t_{пв} = 230$ °С;
	Сжигаемое топливо: Уголь Кузнецкого бассейна 1й группы зольности марки СС (№ 32);	
	Рабочая влажность	$W_t^r = 10,3\%$;
	Рабочая зольность	$A^r = 18,2\%$;
	Величина непрерывной продувки	$p = 2,5\%$.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Введение (с обоснованием актуальности темы и цели работы) 2 Тепловой расчёт топочной камеры 3 Тепловой расчет и конструирование поверхностей нагрева парового котла 4 Гидродинамический расчет контура циркуляции парового котла 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность 7 Заключение.
Перечень графического материала	Продольный разрез котла (чертеж общего вида; формат А1) – 1 лист; Поперечные разрезы котла (чертеж общего вида; формат А1) – 1 лист; Горизонтальный разрез котла и вид сверху (чертеж общего вида; формат А1 или А2) – 1 лист. Эскиз барабана и/или его развертка – 1 лист на формате А2.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Романцев Игорь Иванович

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Хаустов С.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5В21	Булгаков Артемий Валериевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5B21	Булгакову Артемию Валериевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	бакалавриат	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 ³ производственного здания – 1200 руб/ м ³ ; цена натурального топлива – 2000 руб/т.; стоимость 1 кВт потребляемой энергии – 2,3руб.; стоимость 1 кВт заявленной мощности – 230 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Паропроизводительность котла – 210 т/ч.; установочная мощность токоприемников парогенератора – 70 кВт; число часов использования установленной мощности – 6500 ч; часовой расход воды в котле – 3 % 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):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5B21	Булгаков Артемий Валериевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5B21	Булгакову Артемию Валериевичу

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i> – вредных проявлений факторов производственной среды – опасных проявлений факторов производственной среды.	Рабочее место машиниста–обходчика по котельному оборудованию – котельный цех. Вредные факторы производственной среды: шумы и вибрации, освещение, отклонение показателей микроклимата, электромагнитные поля. Опасные факторы производственной среды: физического происхождения – падение с высоты, получение травм от движущихся и вращающихся предметов; термического происхождения – ожоги, тепловой удар; электрического происхождения – поражение электрическим током; пожарной и взрывной природы – отравление токсичными продуктами горения.
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	СН 2.4/2.1.8.562-96, СанПин 2.2.4.1294-03, МУ 2.2.4.706-98/МУ ОТ РМ 01-98, ГН 2.1.6.1338-03, ГОСТ 12.0.001-82, ГОСТ 12.0.002-80, ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.1.014-84, ГОСТ 12.1.018-93, ГОСТ 12.0.003-74, ГОСТ 12.1.018-93, ГОСТ Р 12.4.207-99, ГОСТ 12.4.021-75, ГОСТ 12.2.061-81, ГОСТ 12.4.100-80, ГОСТ 12.2.063-81, ГОСТ 12.1.029-80

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	Выявленные вредные факторы в котельном цехе возникают вследствие использования энергетического оборудования (проектируемый котельный агрегат, мельницы, паропроводы и др.). Негативное влияние обусловлено наличием повышенной температуры, шумов, вибраций и недостаточной освещенности. Нормирование шумов, температуры, вибраций и освещенности осуществляется по СанПин 2.2.4.1191-03, СН 2.2.4/2.1.8.562—96, СанПиН 2.2.4.548-96, СН 2.2.4/2.1.8.566-96 и СП 52.13330.2011 соответственно. Средства коллективной защиты от вышеописанных воздействий: ограниченная продолжительность пребывания в КЦ; экранирование и изоляция источников вибраций, шума, тепла; увеличение числа источников света. Индивидуальные – СИЗ.
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	Механические опасности – падение с высоты; движущиеся машины и механизмы. Средства защиты от механического воздействия: соблюдения ТБ; грамотное проектирования обслуживаемых объектов. Термические опасности – ожоги о трубопроводы и котельный агрегат. Электробезопасность – опасность поражения электрическим током. Пожаробезопасность – существует опасность пожаров и взрывов в случае отклонения от технологических карт розжига и остановки котла, а также при неисправности маслonaполненного и другого оборудования.
3. <i>Охрана окружающей среды.</i>	Защита селитебной зоны – установка санитарно-защитной зоны.

	Выбросы паровых котлов (ПК). Основные выбросы: оксиды серы (SO₂, SO₃), оксиды азота (NO_x), угарный газ (CO), углеводороды (CH), бенз(а)пирен (C₂₀H₁₂), а также тепловые выбросы. ПДВ выбросов устанавливается на основе РД 153-34.02.303-98. Эксплуатация ПК связана с использованием большого количества воды. Воды гидрозалогоудаления значительно загрязнены. Это вносит отклонения в сложившиеся экосистемы. Имеется воздействие проектируемого объекта на литосферу, так как при использовании твердого топлива остается большое количество золы и шлака. В результате этого происходит: изменение альбедо поверхности; изъятие территорий; радиационное загрязнение.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях.	Возможные ЧС на объекте: пожары, взрывы, аварии на производстве; Наиболее типичная ЧС – пожар. Превентивные меры по предупреждению ЧС – проведение противопожарных инструктажей, обучение персонала; своевременная диагностика пожароопасного оборудования.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Специальные правовые нормы для вредных и опасных производств регулируются разделом XII ТК РФ. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны – получение разрешения на строительство ТЭС; назначение ответственных за компоновку и строительство ТЭС, а также монтаж котельного агрегата и вспомогательного оборудования.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию .	—

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
5В21	Булгаков Артемий Валериевич		

Реферат

Дипломная работа состоит из 137 страниц, 19 источников, 15 таблиц, трех приложений.

Ключевые слова: паровой котел, теплообмен, температура, пар, дымовые газы, поверхность нагрева, тепловосприятие, трубы, пароперегреватель.

Объектом проектирования является котельный агрегат паропроизводительностью 210 т/ч для работы на Кузнецкой ТЭЦ.

Цель работы – разработка новой котельной установки для замены выработавших ресурс котлов Кузнецкой ТЭЦ.

Работа является заключительным этапом на пути получения высшего профессионального технического образования по направлению «Энергетическое машиностроение». Она объединяет в себе такие дисциплины, как высшая математика, физика, химия, термодинамика, гидродинамика, материаловедение, а также паровые котлы и котельные установки. Всё это в совокупности формирует определённые знания и навыки при проектировании энергетического оборудования.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, с использованием прикладных программ: «Компас – 3D», «MathCAD», «MathType» и «WaterSteamPro».

Оглавление

Введение	10
1 Объект проектирования и актуальность проекта	111
2 Обоснование технических решений проектируемого парового котла.....	12
2.1 Выбор температуры на выходе из топки.....	12
2.2 Выбор температуры уходящих газов	13
2.3 Выбор способа шлакоудаления	13
2.4 Выбор типа углеразмольных мельниц и системы пылеприготовления	14
2.5 Выбор типа горелочных устройств	14
3 Тепловой расчёт и конструирование поверхностей нагрева парового котла	16
4 Гидравлический расчёт контура с естественной циркуляцией	Ошибка!
Закладка не определена.	
4.1 Распределение тепловой нагрузки по контурам циркуляции	17
4.2 Обоснование выбора расчётного контура циркуляции	33
4.3 Расчёт естественной циркуляции в расчётном контуре	34
4.4 Оценка надёжности естественной циркуляции в расчётном контуре.....	55
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	60
5.1 Анализ конкурентоспособности технических решений	60
5.2 Характеристика проектируемого котельного агрегата	63
5.3 Расчет капитальных вложений проектируемого парового котла ..	63
5.4 Расчет годовых эксплуатационных расходов	66

5.5 Себестоимость тонны пара.....	72
6 Социальная ответственность.....	73
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	73
6.2 Обеспечение защиты от опасных производственных факторов	74
6.3 Обеспечение защиты от вредных производственных факторов	76
6.4 Охрана окружающей среды	81
6.5 Обеспечение безопасности при чрезвычайных ситуациях	83
Заключение	84
Список использованной литературы.....	85
Приложение А – Тепловой расчет топочной камеры котла Е-320-13,9-560К.....	86
Приложение Б – Таблица энтальпий продуктов сгорания.....	99
Приложение В – Тепловой и конструирование поверхностей нагрева котла Е-320-13,9-560КТ	100

Введение

На сегодняшний день в энергетике России существует много проблем, связанных с моральным и физическим старением энергетического оборудования. Особенно остро проблема устаревшей техники затрагивает тепловые электростанции. Значительная доля оборудования на ТЭС отработала свой проектный срок и требует замены. Единственным решением этой проблемы является привлечение новых инвестиций в энергетический сектор экономики, и соответственно, полная замена морально и физически устарелого энергетического оборудования на современные экономичные и экологичные аналоги [1].

Проектирование нового энергетического оборудования неразрывно связано с используемым топливом. Газ и жидкие органические топлива имеют преимущества перед низкосортными твёрдыми топливами по теплоте сгорания и по количеству вредных выбросов в атмосферу. Однако в силу того, что газ имеет ограниченные запасы на ближайшие десятилетия, его цена будет неизбежно расти, и кроме того газ и мазут является ценным продуктом в химической промышленности. Поэтому, для получения тепла и энергии целесообразно сжигать низкосортные виды твёрдого топлива [2].

Данная работа направлена на разработку парового котла с естественной циркуляцией, работающего на низкосортном каменном угле Кузнецкого бассейна паропроизводительностью 210 т/ч для замены выработавших ресурс котлов Кузнецкой ТЭЦ.

1 Объект проектирования и актуальность его разработки

В бакалаврской работе представлен проект парового котла с естественной циркуляцией Е-210-13,8-560 КТ для установки его на Кузнецкой ТЭЦ. Предприятие является филиалом ООО «Сибирская генерирующая компания».

Кузнецкая ТЭЦ расположена в юго-восточной части Кузнецкого района города и является действующим предприятием, предназначенным для обеспечения электроэнергией, паром и горячей водой жилищно-коммунального сектора и группы промышленных предприятий города Новокузнецка:

- Новокузнецкий алюминиевый завод;
- Кузнецкий завод ферросплавов.

Кузнецкая ТЭЦ построена по проекту Ленинградского отделения «Теплоэлектропроект». Строительство началось в 1939 году. Площадка ТЭЦ расположена в юго-восточной части кузнецкого района города Новокузнецка, на правом берегу реки Томь. Установленная мощность ТЭЦ – 108 МВт, тепловая мощность – 976 Гкал/час, количество котлоагрегатов (котлов) – 14, турбин – семь [3].

Вместе с ростом экономики города Новокузнецка постоянно растет потребность в электрической и тепловой энергии. Потребление энергии каждый год возрастает, что требует повышения мощностей электроцентрали. Поэтому было принято решение о полной замене морально и физически устарелого энергетического оборудования на современные экономичные и экологичные аналоги.

2 Обоснование технических решений проектируемого парового котла

Исходные данные для проектирования:

- Паропроизводительность 210 т/ч.
- Параметры пара: $P_{п.п.} = 13,8$ МПа; $t_{п.п.} = 560$ °С.
- Температура питательной воды – $t_{п.в.} = 230$ °С.
- Давление в барабане – $P_{б.} = 15,5$ МПа.
- Величина непрерывной продувки – $p = 2,5$ %.

Рабочим топливом является каменный уголь марки 1СС Кузнецкого бассейна. Рабочая влажность топлива составляет $W^r = 10,3$ % ; рабочая зольность $A^r = 18,2$ % ; низшая теплота сгорания составляет $Q_i^r = 23,40$ МДж/кг.

2.1 Выбор температуры на выходе из топки

Для того чтобы котёл работал максимально эффективно, нужно грамотно подходить к вопросу выбора температуры на выходе из топки. Самым важным критерием при выборе температуры являются плавкостные характеристики золы, а именно температура начала деформации t_a . Для данного топлива эта характеристика равна 1250 °С. Если температура на выходе из топки будет больше, или хотя бы равна температуре начала деформации, то частицы золы будут налипать на конвективные поверхности нагрева, тем самым ухудшая теплообмен и увеличивая аэродинамические сопротивления [4].

Руководствуясь данными критериями, температура на выходе из топки принимается равной 1100 °С.

2.2 Выбор температуры уходящих газов

Потеря тепла с уходящими газами является самой энергоёмкой и напрямую зависит от температуры уходящих газов. Чем она больше, тем ниже КПД котельной установки. Соответственно, понижение температуры уходящих газов является целесообразной задачей. Однако чрезмерное охлаждение газов ведёт за собой некоторые конструктивные изменения в котле, а именно увеличение конвективных поверхностей нагрева, что не всегда является экономически выгодным шагом. Кроме того, при конденсации водяных паров в дымовых газах происходит смешение оксидов серы с водой, что приводит к интенсивной коррозии низкотемпературных поверхностей нагрева. Поэтому температура на выходе из котла должна быть выше точки росы дымовых газов и такой, чтобы потеря тепла с уходящими газами была в пределах от двух до семи процентов [4].

Руководствуясь данными критериями, температура на выходе из котла принимается 145 °С.

2.3 Выбор способа шлакоудаления

В топочной камере при факельном сжигании твёрдого топлива можно организовать удаление шлака твёрдым (ТШУ) или жидким (ЖШУ) способом. При твёрдом шлакоудалении 95 % всей золы уносится с продуктами сгорания через газоходы котла наружу, и лишь пять процентов – через под топочной камеры с температурой шлака около 600 °С. При жидком шлакоудалении 80 – 85 % золы уносится дымовыми газами и, соответственно, 15 – 20 % удаляется через под топочной камеры в жидкоплавком состоянии [4]. Конструктивно, нижняя часть топочной камеры при разных способах шлакоудаления имеет различия. Для ТШУ в нижней части топки экраны выполняют под углом в 50° к горизонту, а для ЖШУ –

8 – 20°, также при ЖШУ внутреннюю часть топки ошиповывают в районе предтопка и наносят футеровочные материалы[4].

На выбор способа шлакоудаления влияют характеристики топлива [3], такие как температура жидкоплавкого состояния (для ТШУ должна быть более 1350 °С) и выход летучих (для ТШУ – $V^{daf} > 18 \%$). Руководствуясь данными критериями, для сжигания проектного топлива выбирается твёрдое шлакоудаление (ТШУ).

2.4 Выбор типа углеразмольных мельниц и системы пылеприготовления

Непосредственно 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) $k_{до} = 1,5$ больше 1, а выход летучих V^{daf} равен 31 %. В соответствии с рекомендациями выберем среднеходные мельницы (СМ).

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 принципе всегда следует отдавать предпочтение системам с прямым вдуванием если системы с промбункером не вызывают очевидной необходимости

2.5 Выбор типа горелочных устройств

Правильный выбор типа горелочных устройств и их компоновка определяют эффективную работу всего котельного агрегата, что проявляется в эффективном смешении топлива и вторичного воздуха, а также в обеспечении устойчивого воспламенения.

В зависимости от способа подачи вторичного воздуха и топливовоздушной смеси в топку, горелочные устройства разделяются на вихревые и прямоточные. Прямоточные горелки подходят для сжигания каменных и бурых углей с высоким выходом летучих $V^{daf} \geq 35 \%$ [4]. При сжигании низкорекреационных углей целесообразнее применять вихревые горелки.

Для проектного топлива были выбраны вихревые лопаточно-лопаточные горелочные устройства, где пылевоздушная смесь и вторичный воздух закручиваются лопаточными завихрителями.

К преимуществам вихревых горелок можно отнести универсальность использования топлива, обеспечение устойчивого воспламенения и хорошее последующее перемешивание вторичного воздуха и угольной пыли. К недостаткам можно отнести высокие аэродинамические сопротивления и сложность конструкции [4].

Для поддержания устойчивого воспламенения топливовоздушной смеси и целесообразного использования горелок было принята встречная компоновка условно на тыльной и фронтальной стенах в один ярус.

3 Тепловой расчёт и конструирование поверхностей нагрева парового котла

В зависимости от поставленных задач при проектировании, тепловой расчёт может быть конструкторским или поверочным. При расчёте поверхностей нагрева конструкторским методом, исходными данными при решении являются их тепловосприятia, а искомыми – геометрические характеристики. При расчёте поверочным методом, определяются тепловосприятia поверхностей нагрева при заданных геометрических параметрах.

Конвективный пароперегреватель, водяные экономайзеры и воздухоподогреватели в данной работе рассчитаны конструкторским методом; ширмы и пароотводящие трубы тыльного экрана – поверочным.

По результатам конструкторского теплового расчёта спроектирована топочная камера котла (приложение А), таблица энтальпий продуктов сгорания представлена в приложении Б, тепловой расчёт поверхностей нагрева котла представлен в приложении В.

В результате расчёта определены все геометрические характеристики топочной камеры и поверхностей нагрева котла, а также тепловосприятia каждой поверхности нагрева. КПД котельной установки равен 92,12 %, а расход топлива составляет 6,85 кг/с.

Каждая из ступеней пароперегревателя является двухзаходной. Потолочный пароперегреватель является радиационной поверхностью нагрева, ширмовый – полурadiационной, а конвективный пароперегреватель первой и второй ступени – конвективными.

В конвективной шахте расположены по две ступени воздухоподогревателя и экономайзера, каждая из которых выполнена в рассечку. Первая ступень воздухоподогревателя имеет три хода воздуха, вторая – два.

В условиях рыночной экономики устойчивое развитие предприятия может быть обеспечено только при поддержании его финансовой системы на соответствующем уровне. Заметно возрастает значение технико-экономического обоснования инженерных решений. Такое обоснование позволяет находить оптимальные решения при проектировании котельного агрегата и его элементов, предотвращать излишние затраты, повышать надежность конструкции.

Целью данного раздела является оценка конкурентоспособности разработки, а так же 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.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5.1. Для сравнения выбраны проектируемый котел Е–210–13,8–560 и котел на ОАО «Кузнецкая ТЭЦ».

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений выделена в таблицу 5.1

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{кл}	К _ф	К _{кл}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда пользователя	0,07	3	2	0,21	0,14
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,13	4	3	0,52	0,39
Помехоустойчивость	0,03	4	4	0,12	0,12
Энергоэкономичность	0,10	3	3	0,30	0,30
Надежность	0,20	4	3	0,80	0,60
Уровень шума	0,04	2	1	0,08	0,04
Безопасность	0,20	4	3	0,80	0,60
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	0,12	0,09

Продолжение таблицы 5.1

Уровень проникновения на рынок	0,04	1	1	0,04	0,04
Цена	0,06	2	2	0,12	0,12
Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	5	4	0,50	0,40
Итого	1	36	29	3,61	2,84

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5.1 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.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

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.

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

5.2 Характеристика проектируемого котельного агрегата

Паровой котел с естественной циркуляцией, П-образной компоновки, однокорпусный. Проектным топливом является уголь Кузнецкого бассейна 1СС.

Номинальные значения основных параметров выделены в таблице 5.2
Таблица 5.2 – Номинальные значения основных параметров котельного агрегата Е-210-13,8-560

Название	Обозначение	Единица измерения	Значение
Паропроизводительность	D	т/ч	210
Давление перегретого пара	P _{пп}	МПа	13,8
Температура перегретого пара	t _{пп}	°С	560
Температура питательной воды	t _{пв}	°С	230
Температура уходящих газов	θ _{ух}	°С	145
КПД котла(брутто)	η _{ка}	%	92,12
Расчетный расход топлива	B _p	кг/с	6,85

5.3 Расчет капитальных вложений в проектируемый паровой котел

На стадии предварительных экономических расчетов капитальные вложения можно определять по формуле (разработка ЦКТИ им. Ползунова):

$$\begin{aligned}
 K &= C_{\text{пол}} + C_{\text{пол}} \cdot P_{\text{н}} / 100 + K_{\text{тр}} + K_{\text{пот}} + K_{\text{стр}} = \\
 &= 24135471,4 + 24135471,4 \cdot 20 / 100 + 482709,428 + 4344384,85 + 15402510 = \\
 &49192170 \text{ руб.} \text{ (5.3.1)}
 \end{aligned}$$

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

P_n – средняя рентабельность по парогенераторостроению – 20 %);

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

$K_{\text{пот}}$ – сопутствующие затраты у потребителя;

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

Суть данной разработки заключается в том, что себестоимость изготовления ПГ ставится в зависимость от его параметров, которые в качестве коэффициентов вводятся в данную формулу:

$$\begin{aligned} C_{\text{пол}} &= D \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot 2000 \cdot K_{\text{пер}} = \\ &= 210 \cdot 0,78 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,12 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2000 \cdot 55 = 24135471,4 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (5.3.2)$$

где D – часовая паропроизводительность проектируемого ПГ;

K_1 – паропроизводительность проектируемого ПГ (при паропроизводительности в 210 т/ч принимается равным 0,78);

K_2 – параметры пара (при перегреве пара до 560 °С и давлении до 13,8 МПа принимается равным 1);

K_3 – перегрев пара (при отсутствии промперегрева принимается $K_3=1$);

K_4 – способ поставки (при поставке блоками принимается равным 1,15);

K_5 – вид топлива (при сжигании каменных углей принимается равным 1,12);

K_6 – компоновка ПГ (при П-образной компоновке принимается $K_6=1,04$);

K_7 – число корпусов (по числу корпусов принимается равным 1);

K_8 – тип ПГ (для барабанных котлов принимается равным 1),

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент пересчета на современные цены (принимается $K_{\text{пер}}=55$).

Удельная себестоимость ПГ выбранного за основу расчета:

$$K_{\text{пот}} = K_{\text{м}} + K_{\text{обм}} = 1930837,71 + 2413547,14 = 4344384,85 \text{ руб.} \quad (5.3.3)$$

где $K_{\text{м}}$ – затраты на монтаж, 8% от цены котла,

$K_{\text{обм}}$ – затраты обмуровку, 10% от цены котла (определяются косвенно).

Стоимость строительства:

$$K_{\text{стр}} = K_{\text{зд}} + K_{\text{ф}}. (5.3.4)$$

$K_{\text{зд}}$ – стоимость здания, приходящаяся на ПГ;

$K_{\text{ф}}$ – стоимость фундамента.

В свою очередь:

$$K_{\text{зд}} = S_{\text{м}} \cdot k_{\text{дп}} \cdot \Pi_{\text{зд}} \cdot h_{\text{кот}} = 165 \cdot 2 \cdot 1200 \cdot 34 = 13464000 \text{ руб.}, (5.3.5)$$

$$K_{\text{ф}} = D \cdot k_{\text{ф}} = 210 \cdot 9231 = 1938510 \text{ руб.}; (5.3.6)$$

где $S_{\text{м}}$ - площадь парогенератора, м^2 ;

$k_{\text{дп}}$ – коэффициент дополнительной площади, принимается $k_{\text{дп}} = 2$;

$\Pi_{\text{зд}}$ = стоимость квадратного метра фундамента, руб. за кв. метр;

$h_{\text{кот}}$ – высота котельного цеха (верхняя отметка ПГ+3–4м);

$k_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий влияние производительности котла на стоимость фундамента, $k_{\text{ф}} = \text{КПД} \cdot 10^4$.

С учетом (5.3.5) и (5.3.6) стоимость строительства:

$$K_{\text{стр}} = 13464000 + 1938510 = 15402510 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов представлены в таблице 5.3.1.

Таблица 5.3.1 – Сводная таблица капитальных вложений (инвестиций)

№ п/п	Состав капитальных вложений	Величина	
		Тыс.руб	%
1	Себестоимость парогенератора	24135	57,01
2	Затраты на монтаж	1930	4,56
3	Затраты на обмуровку	2413	6,60
4	Стоимость строительства	15402	17,60
5	Транспортно-заготовительные расходы	482	1,03
6	Наценка на ПГ	4344	13,20
7	Общие капитальные вложения	48706	100

5.4 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Расходы, составляющие себестоимость продукции ПГ (пар, тепло) состоят из следующих статей затрат:

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

$I_{\text{а}}$ – амортизационные расходы;

$I_{\text{т.р.}}$ – затраты на текущий ремонт;

$I_{\text{в}}$ – затраты на воду;

$I_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию (на собственные нужды);

$I_{\text{зп}}$ – заработная плата обслуживающего ПГ персонала;

$I_{\text{пр}}$ – прочие расходы.

Тогда годовые эксплуатационные расходы на производство пара (тепла) будут иметь вид:

$$I_{\text{год}} = I_{\text{топ}} + I_{\text{а}} + I_{\text{т.р.}} + I_{\text{в}} + I_{\text{э}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{пр.}} \quad (5.4.1)$$

5.4.1 Расчет затрат на топливо

$$\begin{aligned} I_{\text{топ}} &= B_p \cdot h_{\text{год}} (1 + B_{\text{пот}}/100) C_{\text{т.н.т.}} = \\ &= 22,53 \cdot 6500 (1 + 6/100) 2000 = 310463 \text{ тыс.руб.}, \end{aligned} \quad (5.4.1.1)$$

где B_p – часовой расход натурального топлива, т/час;

$$B_p = 6,85 \text{ м}^3/\text{с} = 22,53 \text{ т/ч};$$

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

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

$C_{\text{т.н.т.}}$ – цена натурального топлива, с учетом доставки 1300 руб/т.

5.4.2 Расчет амортизационных отчислений

$$I_{\text{а}} = p_n \cdot K = 0,033 \cdot 48706 = 1607,3 \text{ тыс.руб.}, \quad (5.4.2.1)$$

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

K – капитальные вложения.

5.4.3 Расчет затрат на текущий ремонт

$$I_{\text{тр}} = 0,2 \cdot I_{\text{а}} = 0,2 \cdot 1607,3 = 321,46 \text{ тыс.руб.}, \quad (5.4.3.1)$$

5.4.4 Расчет затрат на воду

Определяются затраты на воду, которая потребляется для добавки в цикл с целью компенсации потери ее из цикла и для хозяйственных нужд.

Поэтому на стадии предварительных расчетов (данный случай) проще рассчитать затраты, исходя из пароводяного баланса котельного цеха, чем по производительности фильтров:

$$И_в = D_в \cdot h_{год} \cdot Ц_в = 21 \cdot 6500 \cdot 73 = 9964,5 \text{ тыс.руб.}, (5.4.4.1)$$

где $D_в$ – часовой расход воды, т/час;

$Ц_в$ – стоимость воды с учетом химводоочистки.

5.4.5 Расчет затрат на электроэнергию

Расходы на электроэнергию (на собственные нужды) определяются по двуставочному тарифу:

$$\begin{aligned} И_э &= N_{уст} \cdot h_{год} \cdot k_в \cdot k_п \cdot Ц_э + N_{уст} \cdot Ц_{кв} = \\ &= 70 \cdot 6500 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,62 + 70 \cdot 230 = 613,151 \text{ тыс.руб.}, (5.4.5.1) \end{aligned}$$

где $N_{уст}$ – установочная мощность токоприемников ПГ, кВт;

$K_в, K_п$ – коэффициенты времени и потерь эл. энергии;

$Ц_э$ – тариф на потребленную эл. энергию;

$Ц_{кв}$ – стоимость кВт на заявленную мощность.

5.4.6 Расчет заработной платы 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 5.4.6.1.

Таблица 5.4.6.1 – Штатное расписание котельного цеха

№ п/п	Наименование должностей	Норма обслуживания в смену	Месячный оклад руб./чел.	Месячный оклад руб/ПГ
1	Старший машинист	3	17000	17000
2	Машинист котлов 4 разряда	2	16300	16300
3	Машинист котлов 3 разряда	1	16000	16000

Продолжение таблицы 5.4.6.1

4	Машинист багерной насосной	6	15800	15800
5	Машинист насосных	3	15700	15700
6	Машинист обходчик по оборудованию	3	15500	15500
7	Котлочист	3	14500	4833,33
8	Зольщик	3	14100	4700
9	Слесарь по ремонту	2	14200	7100
10	Дежурный слесарь	6	13800	2300
11	Дежурный электрик	6	13800	2300
12	Электросварщик	6	14000	2333,33
13	Газосварщик	6	14100	2350
14	Газорезчик	6	14100	2350
15	Печник	3	14500	4833,33
16	Крановщик	6	13500	2250
17	Токарь	6	13800	2300
18	Кладовщик	3	12500	4166,67
19	Уборщица	3	5000	1666,67
	Итого	34	268200	469600
20	Нач. цеха	1	19000	3166,67
21	Зам. нач. цеха	1	18200	3030,33
22	Нач. смены	3	17800	17800

Продолжение таблицы 5.4.6.1

23	Ст. мастер	1	16000	2666,67
24	Мастер	3	12000	2000
	Итого	9	83000	28663,67
	Всего по котельному цеху	43	351200	168447

Основная заработная плата обслуживающего персонала:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{осн}}^{\text{оп}} &= 3\Pi^{\text{оп}} + 3\Pi^{\text{оп}}(k_{\text{доп}} + k_{\text{прем}} + k_{\text{рк}}) = \\ &= 139783,33 + 139783,33(0,2 + 0,43 + 0,3) = 269,78 \text{ тыс. руб.}, (5.4.6.1) \end{aligned}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент, учитывающий доплаты до часового фонда времени;

$k_{\text{прем}}$ – коэффициент, учитывающий премии;

$k_{\text{рк}}$ – районный коэффициент.

Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала :

$$\Pi_{\text{доп}}^{\text{оп}} = 0,8 \cdot 3\Pi^{\text{оп}} = 0,8 \cdot 139783,33 = 11,18 \text{ тыс. руб.} (5.4.6.2)$$

Общая заработная плата обслуживающего персонала:

$$\Pi_{\text{общ}}^{\text{оп}} = \Pi_{\text{осн}}^{\text{оп}} + \Pi_{\text{доп}}^{\text{оп}} = 269,78 + 11,18 = 280,97 \text{ тыс. руб.} (5.4.6.3)$$

Основная заработная плата руководящего персонала:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{осн}}^{\text{рук}} &= 3\Pi^{\text{рук}} + 3\Pi^{\text{рук}}(k_{\text{прем}} + k_{\text{рк}}) = \\ &= 28663,67 + 28663,67(0,43 + 0,3) = 49,59 \text{ тыс. руб.} (5.4.6.4) \end{aligned}$$

где $k_{\text{прем}}$ – коэффициент учитывающий премии;

$k_{\text{рк}}$ – районный коэффициент.

Дополнительная заработная плата руководящего персонала:

$$P_{\text{доп}}^{\text{рук}} = 0,08 \cdot 3P^{\text{рук}} = 0,08 \cdot 28663,67 = 2,29 \text{ тыс. руб. (5.4.6.5)}$$

Общая заработная плата руководящего персонала:

$$P_{\text{общ}}^{\text{рук}} = P_{\text{осн}}^{\text{рук}} + P_{\text{доп}}^{\text{рук}} = 49,59 + 2,29 = 51,88 \text{ тыс. руб. (5.4.6.6)}$$

Затраты на заработную плату:

$$\begin{aligned} I_{\text{зп}} &= 12(P_{\text{общ}}^{\text{оп}} + P_{\text{общ}}^{\text{рук}}) = 12(280,97 + 51,88) = \\ &= 3994,2 \text{ тыс. руб. (5.4.6.7)} \end{aligned}$$

5.4.7 Расчет отчислений на социальные цели

Расчет производится по формуле:

$$\text{ОСЦ} = 0,3 \cdot 3P_{\text{общ}} = 0,3 \cdot 3994,2 = 1198,26 \text{ тыс. руб. (5.4.7.1)}$$

5.4.8. Расчет прочих расходов

Прочие расходы принимаются как 12 % от ранее найденных годовых эксплуатационных расходов.

Таким образом, можно рассчитать эксплуатационные расходы. Данные расчетов представлены в таблице 5.4.8.

Таблица 5.4.8. – Эксплуатационные расходы

№ п/п	Наименование затрат	Обозначение	Величина, тыс. руб	Уд. Вес %
1	Затраты на топливо	$I_{\text{топ}}$	310463	85,70
2	Амортизационные отчисления	$I_{\text{а}}$	1607,300	0,70
3	Затраты на текущий ремонт	$I_{\text{тр}}$	321,460	0,14
4	Затраты на воду	$I_{\text{в}}$	9964,500	1,57
5	Затраты на электроэнергию	$I_{\text{э}}$	613,151	0,32
6	Заработная плата	$I_{\text{зп}}$	3994,200	2,36
7	Отчисления на соц. цели	$I_{\text{соц}}$	1198,260	0,71
8	Прочие расходы	$I_{\text{пр}}$	39,319	8,45
	Итого	$I_{\text{год}}$	328201,25	100,00

Анализ данных эксплуатационных расходов показывает, что наибольшими затратами являются затраты на топливо (85,7 % от общих затрат). Следующими по значимости являются амортизационные отчисления и прочие расходы. Таким образом, определяющим фактором в величине эксплуатационных расходов является сжигаемое топливо, а именно: его стоимость, качество, транспортный тариф, дальность расположения от станции и сложности в транспортировке и хранении.

5.5 Себестоимость выработанной тонны пара:

$$C_{\text{выр}} = I_{\text{год}} / D_{\text{год}} = 328201 / 1365000 = 240 \text{ руб./т, (5.4.8)}$$

где $D_{\text{год}}$ – тонн пара произведенных за год, $D_{\text{год}} = h_{\text{год}} \cdot D = 6500 \cdot 210 = 1365000$ т.

Себестоимость отпущенной тонны пара:

$$C_{\text{отп}} = I_{\text{год}} / D_{\text{отп}} = 328201 / 1296750 = 253 \text{ руб./т, (5.4.8.1)}$$

где $D_{\text{отп}}$ – отпущенный пар, $D_{\text{отп}} = D_{\text{год}} - D_{\text{с.н}} = 1365000 - 68250 = 1296750$ т,

$D_{\text{с.н}}$ – годовой расход пара на собственные нужды (5 % от $D_{\text{год}}$).

Расчет капитальных инвестиций и годовых эксплуатационных расходов, а так же анализ конкурентных технических решений позволили доказать и обосновать технико-экономическую целесообразность эксплуатации спроектированной установки. Благодаря этому можно избежать излишних затрат, а так же повысить конкурентоспособность и надежность котлоагрегата.

