

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
Проект топочной камеры и численное исследование топочных процессов в котле с циркулирующим кипящим слоем

УДК 621.18.016:662.94/95.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Батурин Дмитрий Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПГС и ПГУ	Гиль Андрей Владимирович	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов 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		

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	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3;ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	международных 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	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	(или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	(п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с 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	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	
P10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	Требования ФГОС ВО (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: 130303 «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

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4А	Батурин Дмитрий Андреевич

Тема работы:

Проект топочной камеры и численное исследование топочных процессов в котле с циркулирующим кипящим слоем

Утверждена приказом директора (номер, дата) 716/с от 03.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы: 1 июня 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Паропроизводительность $D = 230$ т/ч; Давление перегретого пара $R_{пп} = 16,5$ МПа; Температура перегретого пара $t_{пп} = 565$ °С; Температура питательной воды $t_{пв} = 215$ °С; Сжигаемое топливо <u>Донецкий бассейн (№14)</u> ; Рабочая влажность $W_r' = 8,5$ %; Рабочая зольность $A_r = 34,8$ %;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Введение (с обоснованием актуальности темы и цели работы) 2 Тенденции развития котельных агрегатов с ЦКС 3 Расчет и проектирование топочной камеры котельного агрегата с ЦКС 4 Численные исследования топочных процессов 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность 7 Заключение, в т.ч. на иностранном языке.

Перечень графического материала	<p>Общий вид топочной камеры (чертеж общего вида; формат А1) – 1 лист;</p> <p>Результаты численного моделирования (формат А1) – 1 лист.</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова С.Н.
Социальная ответственность	Романцов И.И.

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

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гиль А.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Батурин Д.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4А	Батурин Дмитрий Андреевич

Институт	ЭНИН	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 проекта
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Проведена оценка рентабельности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
2. Сводная таблица капитальных вложений в сооружение парового котла
3. Штатное расписание котельного цеха
4. Эксплуатационные расходы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Батурин Д.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4А	Батурин Дмитрий Андреевич

Институт	ЭНИН	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	<i>Котельная установка с топкой циркулирующего кипящего слоя для сжигания твердого топлива</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p>1. Превышение предельно допустимых концентраций вредных газов и веществ содержащихся в них.</p> <p>2. Повышенный уровень шума на рабочем месте.</p> <p>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.</p> <p>4. Микроклимат.</p> <p>1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.</p> <p>2. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов.</p> <p>3. Повышенный уровень статического электричества.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – 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. 	<ul style="list-style-type: none"> – действие персонала ТЭС при ЧС (пожар).
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Организация рабочего места машиниста котельной.</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Батурин Д.А.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа имеет 106 страницы, 21 рисунок, восемь таблиц, 26 источников, три приложения.

Ключевые слова: циркулирующий кипящий слой, численное моделирование, топочная камера, теплообменник, зола, топочные процессы.

Объектами исследования являются: топочная камера с циркулирующим кипящим слоем; пакет прикладных программ для численного моделирования топочных процессов.

Цель работы – отработка методики аналитического и численного расчета топочной камеры котельного агрегата с циркулирующим кипящим слоем.

В процессе исследования проводились: конструкторский расчет топочной камеры и численное исследование топочных процессов в топке котла с циркулирующим кипящим слоем.

В результате определены геометрические параметры и тепловосприятие топочной камеры, построена математическая модель и проведен анализ полученных результатов.

Основные конструктивные, технические и технико-эксплуатационные характеристики: КПД котлоагрегата составляет 86,98 %, высота топочной камеры 28 м, применены два сепаратора на выходе из топки для очистки дымовых газов и возврата несгоревших частиц в топочный объем.

Степень внедрения: аналитическое проектное исследование для изучения топочных процессов котлов с ЦКС.

Область применения: возможность эксплуатации на крупных ТЭС и проектно-конструкторских отделах.

Экономическая эффективность/значимость работы определяется возможностью сжигания не дорогих высокозольных твердых топлив, при минимальных вредных выбросах.

В будущем планируется масштабное внедрение технологии с циркулирующим кипящим слоем в отечественную энергетику.

Оглавление

	С.
Введение	14
1 Литературный обзор	17
1.1 Краткая историческая справка	18
1.2 Принцип работы котлов с ЦКС	19
1.3 Последние достижения	20
1.4 Преимущества и недостатки технологии ЦКС	24
1.5 Выдающиеся ученые в направлении ЦКС	25
2 Расчет и проектирование топочной камеры	26
2.1 Исходные данные	26
2.2 Описание прототипа	27
2.3 Расчет топочной камеры с ЦКС	27
2.4 Анализ расчетных данных	46
3 Численное исследование топочных процессов в ЦКС	47
3.1 Исследуемая модель	47
3.2 Результаты исследования	49
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение	56
5 Социальная ответственность	69
Заключение	84
Список публикаций	86
Список используемых источников	87
Приложение А The draft of the combustion chamber and circulating ben boiler furnace processes numerical study	90
Приложение Б Общий вид топочной камеры	105
Приложение В Результаты численного моделирования	106

Введение

В мире неизбежен закат нефтяной эпохи. На фоне падения нефтяного бизнеса резко возрастет потребление природного газа и твердого топлива, запасы которых тоже ограничены. Поэтому создание инновационной энергетики будет определять будущее экономики [1].

Проблемы Российской энергетики можно охарактеризовать четырьмя пунктами [2]:

1. Значительная доля оборудования ТЭС отработала свой ресурс. Без работ по восстановлению, и продлению срока службы оборудования нельзя обеспечить его бесперебойную работу.

2. Большинство отечественных станций проектировалось в прошлом веке и привязывалось к определенной марке топлива. Часто в качестве основного топлива используются каменный и бурый уголь. Качество поставляемого угля не всегда соответствует проектным требованиям, что приводит к ухудшению экологических показателей, снижению КПД станции и ее надежности.

3. Не редкость, когда на станциях меняется топливная база. Сжигание неперспективных топлив приводит к масштабным реконструкциям.

4. Имеется мировая тенденция к снижению вредных выбросов в атмосферу, в связи с чем стоит задача строительства экологически чистых ТЭС.

Анализируя вышеперечисленные тенденции в развитии ТЭС, особую актуальность приобретают оптимальные решения по паровым котлам с применением новых технологий. К таким технологиям относятся котлы с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС).

На сегодняшний день, технология ЦКС вышла на непрерывно возрастающую роль в производстве электроэнергии. Эта технология является очень привлекательной, так как может применяться в использовании низкого качества углей. Из-за относительно низкой температуры горения (примерно 800 и 950 °С), уровень NO₂ в котлах с ЦКС значительно ниже по сравнению с более

часто используемыми пылеугольными котлами. Работа котла осуществляется без использования сложных горелок или дополнительных средств очистки дымовых газов. Удаление SO_2 также является важным аспектом контроля над выбросами в котлах с кипящим слоем [3].

Технология сжигания в циркулирующем кипящем слое принята после модернизации сжигания топлива в псевдоожиженном (кипящем) слое. В процессе эксплуатации выяснилось, что сжигать низкорекреационное топливо в кипящем слое проблематично. Возникали проблемы с высоким недожогом, также плохо регулировались температура и выбросы. Для решения данных проблем было предложено увеличить скорость сжижения, увеличить циркуляцию и перемешивание частиц для лучшего выжигания углерода и связывания оксидов серы. Но рост скорости приводит к выбросу большого количества частиц из топочной камеры. Для возврата несгоревших частиц и поддержания процесса сжижения на выходе из топки устанавливались циклоны. Все эти нововведения и стали основой технологии ЦКС для сжигания топлива [4].

К основным достоинствам топок ЦКС относятся [5]:

- низкая температура горения, позволяющая связать оксиды серы известняком, а также резко уменьшить образования оксидов азота;
- возможность сжигания различных марок топлива;
- длительное пребывание частиц в топке позволяет сжигать марки углей с высокой зольностью.

Однако технология ЦКС имеет и ряд недостатков:

- за счет высоконапорных вентиляторов увеличиваются расходы на собственные нужды;
- происходит усложнение конструкции, связанные с системой возврата зольных частиц;
- большое наличие футерованных элементов.

Несмотря на успешный опыт эксплуатации котлов с ЦКС в мировой энергетике, в России до сих пор нет действующих котлов, работающих по данной технологии. Также отсутствие нормативного метода расчета и малоизученности газодинамических процессов в топочных камерах с ЦКС, говорят об актуальности данного исследования.

Целью данного исследования являются отработка методики аналитического и численного расчета топочной камеры котельного агрегата с ЦКС, который позволит использовать полученные данные в конструкторских и эксплуатационных работах и исследованиях.

Задачи:

- конструкторский расчет топочной камеры;
- анализ численных подходов моделирования;
- проведение математического моделирования ЦКС;
- анализ полученных данных в ходе исследования.

1 Литературный обзор

В обзоре представлено: история развития котлов с ЦКС и их модернизация; подробно изложены преимущества и недостатки данной технологии; принцип работы котлов с ЦКС; известные ученые занимающиеся проблемами ЦКС в мире.

1.1 Краткая историческая справка

В основе технологии котлов с ЦКС лежит создание кипящего (псевдоожигенного) слоя (КС). Данная технология пришла в энергетику из химической промышленности примерно в 1970-е годы, где применялась для обжига сульфата и прокаливания известняка [5]. Впервые использовалась в малой энергетике для сжигания отходов. Слой формируется в нижней части топочной камеры. Частицы твердого топлива размером от 3 до 15 мм находятся во взвешенном состоянии. Через распределительную решетку, на которую поступает дробленое топливо, подается воздух под напором. При этом частицы топлива начинают хаотичное движение внутри слоя. Сам слой начинает приобретать псевдоожигенное состояние т.е. иметь строго горизонтальную, свободную поверхность и может переливаться, как жидкость.

Котлы с псевдоожигенным слоем нашли свое применение при сжигании отходов углеобогащения (с повышенной зольностью), а также сильнозольных и высокосернистых бурых углей на котлах производительностью от 10 до 25 т/ч и выше [6].

Принципиальное отличие котлов с ЦКС от КС является увеличение скорости подачи первичного воздуха и уменьшение размера частиц топлива. Скорость снизу увеличивается с 1,5 до 4 м/с, а средний размер фракций с 15 до 2 мм. При этом плотный слой еще больше разрыхляется, а частицы золы и топлива размером менее 6 мм уносятся в верхнюю часть топки.

По скорости подачи первичного воздуха (снизу) в котлах с ЦКС нет единого мнения. Различные отечественные и зарубежные источники устанавливают свою величину, рациональную для их прототипа. Скорость может меняться от 1,5 до 5,5 м/с [7, 8, 9].

В 1976 году возникла технология с циркулирующим кипящим слоем, а первые установки тепловой мощностью 0,2 и 1,5 МВт пущены в 1978 году [6]. С тех пор, технология ЦКС начала активно применяться в теплоэнергетике прежде всего, для обеспечения требуемых экологических показателей ТЭС. Экологические показатели увеличиваются за счет низкой температуры в топочной камере и добавления известняка для связи с оксидами серы. Последние 20 лет ведется активное изучение и модернизация котлов с ЦКС. Изначально считалось, что данные котлы могут быть пригодны лишь для энергетических установок средней и малой мощности. Однако в конце 90-х годов положение резко изменилось благодаря активным работам компании «Фостер-Уиллер». К 2000 году единичная тепловая мощность котлов ЦКС этой компании возросла почти на 45 % (с 300 до 700 МВт). С этого времени многие крупные страны начали активно использовать данную технологию [6]. В их числе фирмы «Ahlstrom» – Финляндия; «Pyroflow» – Швеция; «Ahlstrom Pyropower» – США.

На данный момент Китай является одним из крупнейших рынков с ЦКС. Число работающих там котлов достигает трех тысяч, и столько же находятся в стадии строительства. В Европе только Польша произвела наибольший прогресс по внедрению котлов с ЦКС – около двадцати котлов. В России ни на одной ТЭС не используется технология ЦКС [7, 8]. Однако на Новочеркасской ГРЭС закончилось строительство блока с ЦКС, запуск которого планируется в ближайший год.

1.2 Принцип работы котлов с ЦКС

На рис. 1 показана технологическая схема котельной установки с котлом ЦКС.

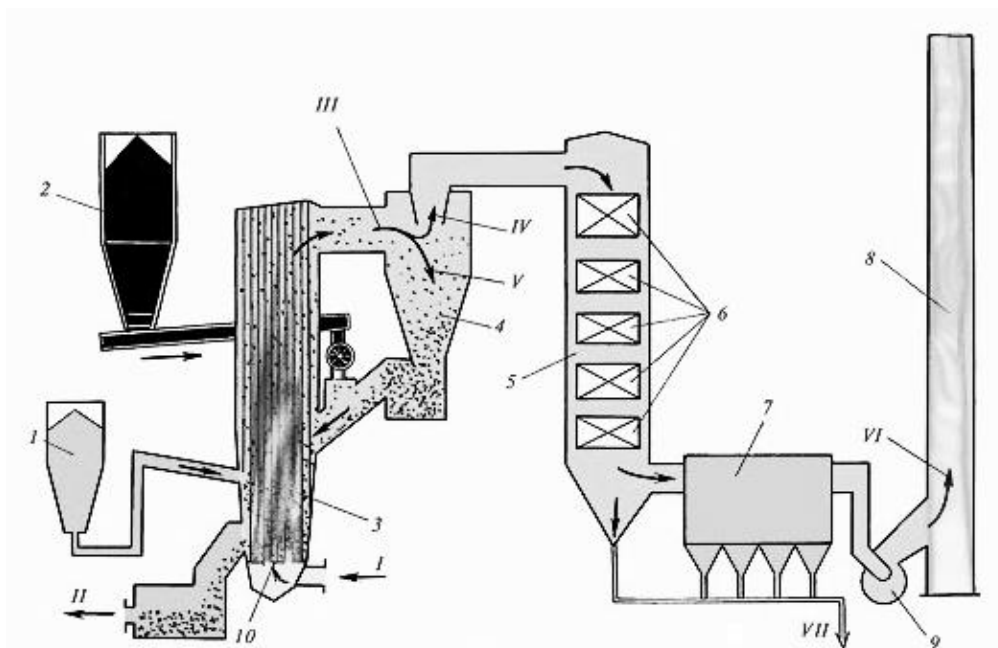


Рисунок 1 – Принципиальная схема котельной установки с котлом ЦКС
I – воздух; II – отвод донной золы слоя; III – пылегазовый поток; IV – газы; V – несгоревшие частицы топлива и зола; VI – очищенные уходящие газы; VII – летучая зола; 1 – бункер известняка; 2 – бункер угля; 3 – топка; 4 – циклонный сепаратор; 5 – конвективная шахта; 6 – конвективные поверхности нагрева; 7 – электрофильтр; 8 – дымовая труба; 9 – дымосос; 10 – воздухораспределительная решетка

Из бункеров 1, 2 в топку 3 котла подается дробленый уголь и известняк для связи с образовавшейся в процессе горения серой. В нижнюю часть топки, под слой топлива, известняка и инертного материала подается первичный воздух I при помощи высоконапорного дутьевого вентилятора через воздухораспределительную решетку 10. При этом плотный слой взрыхляется и более мелкие частицы топлива уносятся в верхнюю часть топки. Скорость первичного воздуха обычно составляет не более 2 м/с, а скорость воздуха в топке не более 6 м/с. В верхней части топки значительная концентрация

твердых частиц III составляет около 20 кг/м^3 . Поэтому далее, на выходе из топки установлен циклонный сепаратор 4, для улавливания унесенных частиц. Циклон имеет высокий КПД улавливания порядка 99 %, и далее очищенные газы поступают в конвективную шахту 5, аналогичную традиционным пылеугольным котлам. Под циклоном устанавливается специальная камера (пневмозатвор), для скапливания отсепарированного материала V. Пневмозатвор устанавливается для предотвращения попадания газов в топку через линию возврата. После конвективной шахты, в которой установлены экономайзер и пароперегреватель 6, дымовые газы поступают в электрофильтр 7, где происходит очистка газового потока от летучей золы VIII. Далее зола поступает на золоотвал, а очищенные дымовые газы VI при помощи дымососа 9 в дымовую трубу 8 для рассеивания в атмосфере.

Топочная камера разделена на футерованную нижнюю и верхнюю части, выполненную из мембранных испарительных экранов (последние годы вся топка выполняется из мембранных экранов с их футеровкой в нижней части). Нижняя часть топки котла имеет огнеупорную обмуровку. Запатентованная фирмой «Фостер-Уиллер» сбрасывающая конструкция используется для устранения эрозии экранных труб над верхней кромкой огнеупорной футеровки.

1.3 Последние достижения котлов с ЦКС

Благодаря ряду технических решений удалось повысить параметры пара котлов с ЦКС. Одним из таких решений стала установка зольных теплообменников «Intrex». При таком решении пылегазовый поток после сепараторов охлаждается в теплообменнике и возвращается в нижнюю часть слоя. Это расширяет регулировочные возможности котлоагрегатов и увеличивает их мощность [9].

Теплообменник «Intrex» состоит из водоохлаждаемого кожуха, объединенного с пароводяной системой топки, и возвратного канала. Трубные

пучки пароперегревателя погружены в материал кипящего слоя. Они охлаждают твердые частицы, уловленные сепаратором, до возвращения в топку. Отверстия в задней стенке топки помимо охлаждения твердых частиц обеспечивают доступ дополнительных частиц для внутренней циркуляции через трубные пучки теплообменника, в результате чего достаточное количество горячих частиц поступает в теплообменник «Intrex» при изменении нагрузки (рисунок 2). Избыток частиц возвращается обратно в топку через отверстия в задней стенке топки [10].

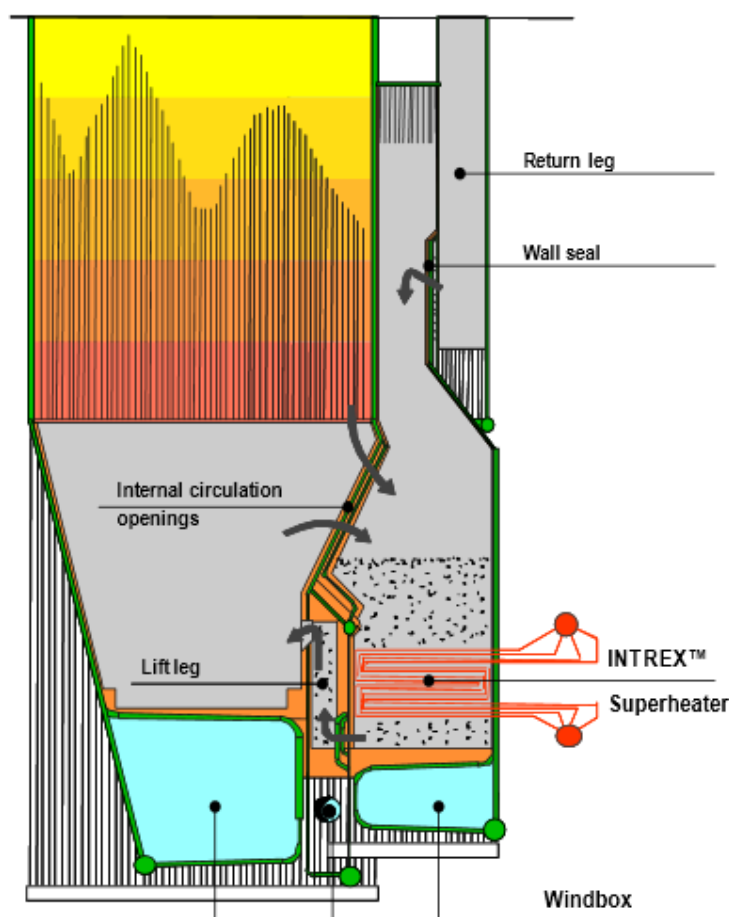


Рисунок 2 – Расположение теплообменника INTREX™ в котле на станции в Лагиже, Польша

Еще одним решением для повышения параметров пара было изменение конструкции сепараторов из цилиндрической формы в прямоугольную (сепараторы «Сотракт»). Данная конструкция позволяет без особых проблем

экранировать сепаратор, что позволило увеличить температуру перегретого пара (рисунок 3).

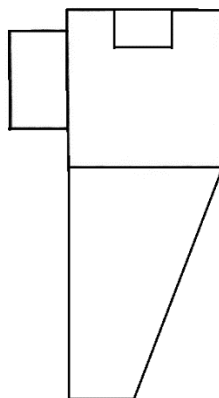


Рисунок 3 – Сепаратор «Compact» прямоугольного типа

Несмотря на прямоугольную форму, принцип работы сепаратора типа «Compact» состоит в центробежной сепарации частиц посредством вихревого потока газа. Отделенные частицы стекают вниз по стенкам и собираются напротив выходного отверстия топки и в углах сепаратора [11].

Сепараторы имеют пароохлаждаемую конструкцию. Стенки сепараторов включены в паровой тракт и образуют первую ступень пароперегрева, что исключает необходимость в тяжелых огнеупорах, используемых в неохлаждаемых сепараторах. В конструкции «Compact» толщина стойкого к износу огнеупора составляет всего 50 мм. Это сводит к минимуму необходимость в техобслуживании и позволяет сократить время пуска установки. Основная часть огнеупора может быть отлита в заводских контролируемых условиях, что обеспечивает более высокое качество и, как следствие, большой срок его эксплуатации. Конструкция «Compact» сокращает общую площадь котельной установки за счет компактности, поскольку сепаратор встроен в котел [12, 13].

Средняя температура газа и горячих твердых частиц внутри сепаратора составляет примерно 870 °С, а средняя температура потока в экранных трубах – 370 °С. Сепаратор «Compact» охлаждает смесь газа и твердых частиц, в следствии этого температура газов на выходе из сепаратора ниже чем на

выходе из топки: примерно 845 °С вместо 870 °С. Поскольку как топка, так и сепаратор подвешены на опорной раме и являются охлаждаемыми конструкциями, тепловые деформации сводятся к минимуму и поэтому необходимы более простые компенсаторы теплового расширения. Это одна из наиболее важных характеристик конструкции «Compact», так как компенсаторные стыки в котлах с ЦКС обычно их наиболее слабое место [14].

Не менее важным устройством в топочных камерах ЦКС является газораспределительная решетка, которая представляет с собой плиту с установленными на ней колпачками I (рисунок 4). Они устанавливаются на плите с определенным шагом. В верхней части колпачка выполнено утолщение стенки 2. В колпачках имеются отверстия 3 для установки перегородки 4, образуя ряды каналов 5 и 6. Воздух поступает через каналы, попадая в топочный объем. За счет утолщения стенки длина каналов становится больше их ширины, что предотвращает провал материала слоя. При увеличении ширины каналов происходит диффузорный эффект, вследствие чего уменьшается сопротивление решетки. Величина данного эффекта зависит от соотношения ширина-длина каналов. Распределительная решетка располагается в нижней части топочной камеры (рисунок 5).

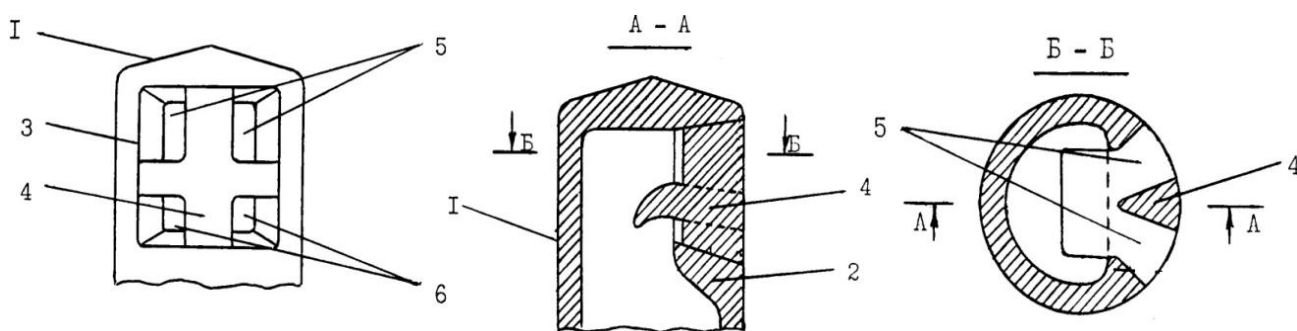


Рисунок 4 – Колпачок распределительной решетки

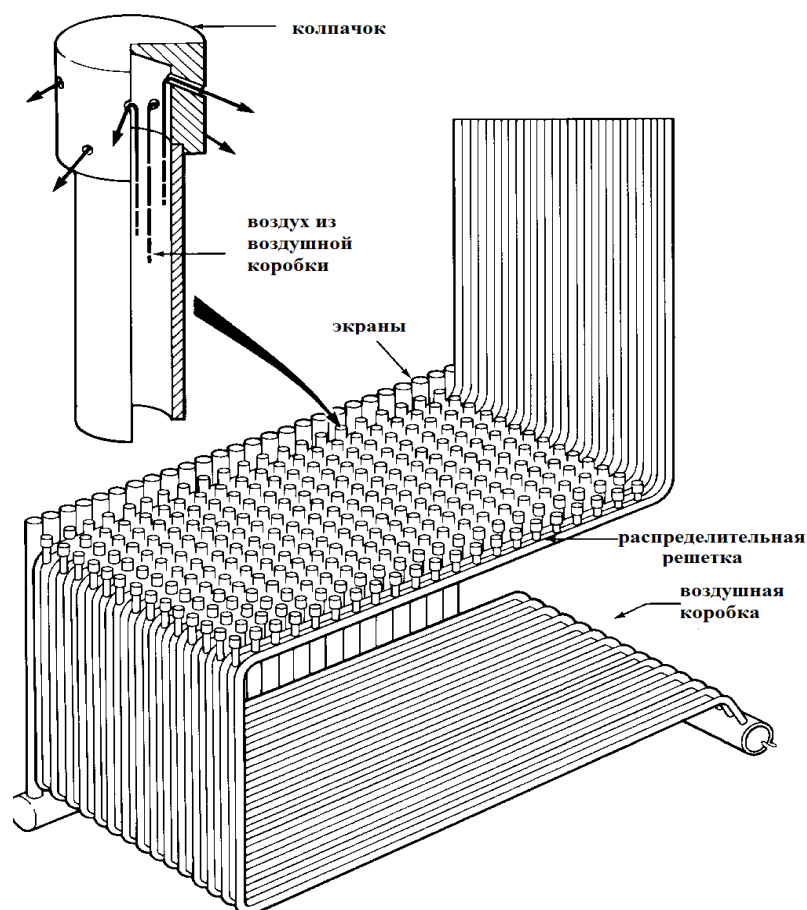


Рисунок 5 – Распределительная решетка с колпачками

1.4 Преимущества и недостатки технологии ЦКС

По сравнению с факельным сжиганием данная технология имеет ряд преимуществ [15, 16]:

- размер частиц топлива может достигать 25 мм, обычно от 6 до 8 мм;
- эффективное сжигание совместных различных топлив, а также непроектных, низкорекреационных и топлив с повышенной зольностью благодаря низкой температуре в топке;
- пониженная температура в топке снижает выход оксидов азота NO_x (менее 250 мг/нм^3) без специальных мер по азотоочистке;
- добавление известняка позволяет эффективно связать оксиды серы за счет оптимальных условий протекания процесса (температура в топке около $900 \text{ }^\circ\text{C}$);

- отказ от установок серо-и-азотоочистки;
- хорошие маневренные характеристики;
- наличие зольных теплообменников позволяет эффективно регулировать температуру перегретого пара.

К основным недостаткам данной технологии относится:

- использование высоконапорного дутьевого вентилятора для ожижения слоя;
- воздухораспределительная решетка и экраны топочной камеры работают в условиях сильной запыленности, что приводит к повышенной эрозии поверхностей;
- длительный пуск из холодного состояния (повышенный расход топлива при запуске);
- усложненная конструкция топки и вспомогательных систем – линия возврата, дренаж слоя, известняковое хозяйство;
- непригодная зола для дальнейшей переработки в полезный продукт.

1.5 Выдающиеся ученые в направлении ЦКС

Одними из основных ученых занимающиеся вопросами использования ЦКС в России является Айнштейн В.Г, Баскаков А.П. и Рябов Г.А.. Профессора Айнштейн В.Г. и Баскаков А.П. уделяли большое внимания конструкции и тепло- и массообмену котлов с ЦКС («Процессы тепло- и массопереноса в кипящем слое»). Рябов Г.А. делал акцент в своих статьях на историю развития и перспективы котлов с ЦКС в мировой энергетике («Современное состояние и развитие технологии циркулирующего кипящего слоя в энергетике и ее применение для снижения выбросов парниковых газов»).

Из иностранных ученых стоит отметить: Z. Luoand, S. Li – уделяли внимание математическому моделированию технологии ЦКС; T. Yong, W. Nowak – изучали вопросы модернизации ЦКС и их применение.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела

Новизна научного исследования определяется большей частью коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, а также модернизация устаревшего оборудования и внедрение новых более эффективных установок.

При решении задач по достижению цели была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

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 (наличие макета, прототипа и т.п.);

– 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.

Спроектированный мною котел с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) имеет паропроизводительность $D=230$ т/ч, давление и температура перегретого пара составляет 16,5 МПа и 565 °С. Данная технология сжигания получила широкое применение за рубежом при сжигании низкокачественных углей. Наша страна занимает лидирующие позиции по запасу угля в мире, поэтому приоритетной задачей считается внедрять данные технологии в нашу страну.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 3. Для сравнения были выбраны проектированный мной котел с ЦКС и котел БКЗ 500, установленный на ТЭЦ ЗСМК, город Новокузнецк, работающий на традиционном факельном сжигании.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
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	0,1	3	3	0,3	0,3
Надежность	0,2	4	3	0,8	0,6
Уровень шума	0,04	2	1	0,08	0,04
Безопасность	0,2	4	3	0,8	0,6
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	0,12	0,09
Уровень проникновения на рынок	0,04	1	1	0,04	0,04
Цена	0,06	2	2	0,12	0,12
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	36	29	3,61	2,84

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 3, 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:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основное преимущество спроектированного мной котла является его новизна по сравнению с котлом БКЗ 210, установленный на ТЭЦ ЗСМК, который был пущен в работу 1963 году, и неоднократно находился в ремонте. Спроектированный мной котел имеет модернизированную топочную камеру с применением технологии ЦКС. Данная технология позволяет эффективно сжигать твердое топливо низкого качества, которое было бы не целесообразно сжигать в топках с факельным сжиганием.

Также общая стоимость моей котельной установки невысока. Этому удалось добиться максимальной компактностью котла, что свидетельствует минимальным затратам на металл и другие материалы.

Расчет капитальных вложений

3.1 Себестоимость парового котла

$$\begin{aligned} C_{\text{пол}} &= D \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot 2000 \cdot K_{\text{пер}} = \\ &= 230 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2000 \cdot 70 = 33593616 \text{ руб,} \end{aligned}$$

где D – часовая паропроизводительность проектируемого котла;

$K_1 - K_8$ – коэффициенты учитывающие:

$K_1 = 0,8$ – паропроизводительность проектируемого котла;

$K_2 = 1,2$ – параметры пара;

$K_3 = 1$ – перегрев пара;

$K_4 = 1,15$ – способ поставки;

$K_5 = 1$ – вид топлива;

$K_6 = 1,08$ – компоновка котла;

$K_7 = 1$ – число корпусов;

$K_8 = 1$ – тип котла;

$K_{пер} = 70$ – коэффициент пересчета на современные цены.

3.2 Транспортно–заготовительные расходы

$$K_{тр} = 0,02 \cdot C_{пол} = 0,02 \cdot 33593616 = 671872,32 \text{ руб.}$$

3.3 Сопутствующие затраты у потребителя

$$K_{пот} = K_m + K_{об} = 2687489,28 + 3359361,6 = 6046850,88 \text{ руб.}$$

3.3.1 Капитальные вложения

$$\begin{aligned} K &= C_{пол} + C_{пол} \cdot P_n / 100 + K_{тр} + K_{пот} + K_{стр} = \\ &= 33593616 + 33593616 \cdot 20 / 100 + 671872,32 + 6046850,88 + 15946940 = \\ &= 59618970,8 \text{ руб.} \end{aligned}$$

3.4 Затраты на строительство у потребителя

3.4.1 Стоимость здания, приходящаяся на ПГ

$$K_{зд} = S_m \cdot k_{дп} \cdot C_{зд} \cdot h_{кот} = 149 \cdot 2 \cdot 1200 \cdot 39 = 13946400 \text{ руб.},$$

где $S_m = 149 \text{ м}^2$ – площадь парового котла;

$k_{дп} = 2$ – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь;

$C_{зд} = 1200 \text{ руб/м}^2$ – стоимость 1 м^2 ;

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

3.4.2 Стоимость фундамента

$$K_{ф} = D \cdot k_{ф} = 230 \cdot 8698 = 2000540 \text{ руб.}$$

3.4.3 Суммарные затраты на строительство

$$K_{\text{смп}} = K_{\text{зд}} + K_{\text{ф}} = 13946400 + 2000540 = 15946940 \text{ руб.}$$

Сводные значения капитальных вложений в сооружение котла представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сводная таблица капитальных вложений в сооружение котла

Состав капитальных вложений	Величина	
	Тыс.руб	%
Себестоимость парогенератора	33593,616	56,34
Затраты на монтаж	2687,48928	3,01
Затраты на обмуровку	3359,3616	4,13
Стоимость строительства	15946,94	24,14
Транспорты – расходы	671,87232	1,12
Наценка на ПГ	6718,7232	11,26
Общие капитальные вложения	59618,9708	100

4.1 Годовые затраты на топливо

$$I_{\text{топ}} = B_p \cdot h_{\text{год}} \cdot (1 + B_{\text{пот}}/100) \times \Pi_{\text{т.н.т}} = 35,064 \cdot 6500 \cdot (1 + 5/100) \times 2000 = 478623600 \text{ руб} = 478623,6 \text{ тыс.руб}$$

где $B_p = 35,064$ т/ч – часовой расход натурального топлива, т/час;

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

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

$\Pi_{\text{т.н.т}} = 2000$ руб/т – цена антрацита (по данным ООО «ТК Север»).

4.2 Амортизационные отчисления

$$I_a = p_n / K = 3,7/100 \cdot 59618,9708 = 2205,901 \text{ тыс.руб}$$

где $p_n = 3,7$ % – норма амортизационных отчислений на капитальный

ремонт и на реновацию для котельной установки;

K – капитальные вложения.

4.3 Затраты на текущий ремонт

$$I_{mp} = 0,2 \cdot I_a = 0,2 \cdot 2205,901 = 441,18 \text{ тыс.руб}$$

4.4 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.

$$I_{\text{в}} = D_{\text{в}} \cdot h_{\text{зод}} \cdot \text{Ц}_{\text{в}} = 19 \cdot 6500 \cdot 69 = 8521,5 \text{ тыс. руб},$$

где $D_{\text{в}} = 19$ – часовой расход воды на продувку, т/час;

$\text{Ц}_{\text{в}} = 69 \text{ руб/м}^3$ – стоимость воды с учетом химводоочистки.

4.5 Затраты на электроэнергию

Затраты на собственные нужды определяются по двухставочному тарифу

$$I_{\text{э}} = N_{\text{уст}} \cdot h_{\text{зод}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{н}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}} + N_{\text{уст}} \cdot \text{Ц}_{\text{кв}} = 80 \cdot 6500 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,62 + 80 \cdot 230 = \\ = 682344 + 18400 = 700744 \text{ руб} = 700,744 \text{ тыс. руб},$$

где $N_{\text{уст}} = 80 \text{ кВт}$ – установочная мощность токоприемников котла;

$k_{\text{в}} = k_{\text{н}} = 0,9$ – коэффициенты времени и потерь электрической энергии;

$\text{Ц}_{\text{э}} = 1,62 \text{ руб/кВт}$ – тариф на потребленную электрическую энергию;

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

4.6 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 5.

Таблица 5 – Штатное расписание котельного цеха

Наименование должностей	Обслуживание в смену	Месячный оклад	Месячный оклад на 1 парогенератор
	ПГ/чел.	руб./мес.	руб.
1	2	3	4
Старший машинист	3	17000	17000
Машинист котлов разряда	2	16300	24450
Машинист котлов разряда	1	16000	48000
Машинист багерной	6	15800	7900
Машинист насосных установок	3	15700	15700
Машинист обходчик по котельному оборудованию	3	15500	15500
Котлочист	3	14500	4833
Зольщик	3	14100	4700
Слесарь по ремонту котельного оборудования	2	14200	7100
Дежурный слесарь	6	13800	2300
Дежурный электрик	6	13800	2300
Электросварщик	6	14000	2333
Газоэлектросварщик	6	14100	2350
Газорезчик	6	14100	2350
Печник	3	14500	4833
Крановщик	6	13500	2250
Токарь	6	13800	2300
Кладовщик	3	12500	4167

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
Уборщица	3	5000	1667
Итого на 1 парогенератор		$ЗП^{ОП}$	172033
Нач. цеха	1	19000	19000
Зам. нач. цеха	1	18200	18200
Нач. смены	3	17800	5933
Ст. мастер	1	16000	16000
Мастер	3	12000	4000
Итого на 1 парогенератор		$ЗП^{Рук}$	63133
Всего по котельному цеху			235166

4.6.1 Основная заработная плата обслуживающего персонала

$$\begin{aligned}
 П_{осн}^{ОП} &= (ЗП^{ОП} + ЗП^{ОП} \cdot (k_{дон} + k_{прем} + k_{рк})) \cdot 12 = \\
 &= (172033 + 172033 \cdot (0,2 + 0,43 + 0,3)) \cdot 12 = 3984,2842 \text{ тыс.руб}
 \end{aligned}$$

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

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

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

4.6.2 Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала

$$П_{дон}^{ОП} = 0,08 \cdot ЗП^{ОП} \cdot 12 = 0,08 \cdot 172033 \cdot 12 = 165,12 \text{ тыс. руб.}$$

4.6.3 Общая заработная плата обслуживающего персонала

$$П_{общ}^{ОП} = П_{осн}^{ОП} + П_{дон}^{ОП} = 3984,2842 + 165,12 = 4149,0469 \text{ тыс. руб.}$$

4.6.4 Основная заработная плата руководящего персонала

$$\begin{aligned}
 П_{осн}^{Рук} &= (ЗП^{Рук} + ЗП^{Рук} \cdot (k_{прем} + k_{рк})) \cdot 12 = 63133 + 63133 \cdot (0,43 + 0,3) = \\
 &= 1310,64 \text{ тыс. руб.}
 \end{aligned}$$

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

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

4.6.5 Дополнительная заработная плата руководящего персонала

$$П_{доп}^{Рук} = 0,08 \cdot 3П^{Рук} \cdot 12 = 0,08 \cdot 63133 \cdot 12 = 65,65 \text{ тыс. руб.}$$

4.6.6 Общая заработная плата руководящего персонала

$$П_{общ}^{Рук} = П_{осн}^{Рук} + П_{доп}^{Рук} = 1310,64 + 65,65 = 1376,29 \text{ тыс. руб.}$$

4.6.7 Затраты на заработную плату

$$И_{зн} = П_{общ}^{ОП} + П_{общ}^{Рук} = 4149,0469 + 1376,29 = 5525,33 \text{ тыс. руб.}$$

4.7 Отчисления на социальные цели

$$И_{соц} = 0,3 \cdot И_{зн} = 0,3 \cdot 5525,33 = 1657,599 \text{ тыс. руб.}$$

4.8 Прочие расходы

$$\begin{aligned} И_{пр} &= 0,12 \cdot (И_{зн} + И_{соц} + И_{э} + И_{е} + И_{тр} + И_{а} + И_{мон}) = \\ &= 0,12 \cdot (5525,33 + 1657,599 + 700,744 + 8521,5 + 441,18 + 2205,901 + \\ &+ 478623,6) = 59721,176 \text{ тыс.руб} \end{aligned}$$

Показатели по эксплуатационным расходам представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Эксплуатационные расходы

Наименование затрат	Обозначение	Величина, тыс. руб.	Уд. Вес %
Затраты на топливо	$И_{топ}$	478623,6	85,86
Амортизационные отчисления	$И_{а}$	2205,901	0,39
Затраты на текущий ремонт	$И_{тр}$	441,18	0,07
Затраты на воду	$И_{в}$	8521,5	1,53
Затраты на электроэнергию	$И_{э}$	700,744	0,13
Заработная плата	$И_{зн}$	5525,33	1
Отчисления на соц. цели	$И_{соц}$	1657,599	0,30
Прочие расходы	$И_{пр}$	59721,176	10,72
Итого	$И_{год}$	557397,03	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.

4.9 Себестоимость выработанной тонны пара

$$C_{\text{выр}} = I_{\text{год}} / D_{\text{год}} = 557397,03 / 1495000 = 372,84 \text{ руб/т}$$

где $D_{\text{год}} = h_{\text{год}} \cdot D = 6500 \cdot 230 = 1495000 \text{ т/год}$.

4.10 Себестоимость отпущенной тонны пара

$$C_{\text{отп}} = I_{\text{год}} / D_{\text{отп}} = 557397,03 / 1420250 = 392,46 \text{ руб/т}$$

где $D_{\text{отп}} = D_{\text{год}} - D_{\text{сн}} = 1495000 - 74750 = 1420250 \text{ т/год}$ – годовой расход отпущенного пара;

$D_{\text{сн}} = 0,05 \cdot D_{\text{год}} = 0,05 \cdot 1495000 = 74750 \text{ т/год}$ – годовой расход пара на собственные нужды.

Марки топлива для котлов с ЦКС содержат высокие содержания влаги и серы, следовательно, цена за 1 тонну такого топлива существенно ниже и равна 372,84 руб/т, чем средний показатель по Томской области около 640 руб/т.

Окупаемость

Общие затраты на строительство и эксплуатации в течение года

$$C_{\text{общ}} = I_{\text{год}} + K = 557397,03 + 59618,9708 = 617016 \text{ тыс.руб}$$

В среднем семья из трех человек тратит на электроэнергию 150 кВт/мес. При установке данного котла в городе Новокузнецк, где тарифные платы за электроэнергию составляют 2,93 руб/кВт*ч и при населении 183128 семей (из трех человек), получаем:

Затраты одной семьи в год на электроэнергию:

$$C_{год} = 2,93 \cdot 150 \cdot 12 = 5274 \text{ руб/год.}$$

Затраты в г.Новокузнецк на электроэнергию за год:

$$C_{гор} = C_{год} \cdot 183128 = 965817,072 \text{ тыс.руб/год}$$

Окупаемость одного котла с ЦКС в г. Новокузнецк:

$$P = C_{общ} / C_{гор} = 617016 / 965817,072 = 0,638 = 232,87 \text{ дня.}$$

Т.к котлы устанавливаются в основном блоком, то полная окупаемость блочной установки произойдет через один год и 100 дней.

Заключение

В результате проведенных расчетов выяснилась стоимость выработанного тонны пара 372,84 руб/т, также выяснились затраты на эксплуатацию котла. Наибольшие расходы приходятся на обеспечение поставок топлива 85,86 % от всех расходов. Это объясняется тем, что котел требует непрерывного снабжения топливом.

Также выяснилась полная окупаемость блочной установки, которая составляет один год и сто дней с учетом текущих тарифных планов.

Список публикаций

1 Baturin D. A. Numerical Simulation of Physical and Chemical Processes in Fluidized Bed / D. A. Baturin, A. V. Gil // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 93: Modern Technique and Technologies, pp. 12 – 16.

2 Baturin D.A. The Study of Gas-Dynamic Processes in the Current Boiler Fluidized Bed / D. A. Baturin, A. V. Gil // MATEC Web of Conferences. – Les Ulis: 2015. – Vol. 23: Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment, pp. 4 – 9.