

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение
Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ НАГРЕВА ДВУХБАРАБАННЫХ КОТЛОВ

УДК 621.184.27/28.06

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ5А	Скирневская Александра Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПГС и ПГУ	Тайлашева Татьяна Сергеевна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Бородин Юрий Викторович	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–2017 г.

Планируемые результаты обучения по ООП
13.04.03 Энергетическое машиностроение

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P4	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3; ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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



Институт: Энергетический
Направление подготовки: 13.04.03 Энергетическое машиностроение
Кафедра: Парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ПГС и ПГУ

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Скирневская Александра Владимировна

Тема работы:

Оценка условий образования внутритрубных отложений в экранных поверхностях нагрева двухбарабанных котлов

Утверждена приказом директора (дата, номер) №592/с от 07.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы: 01.06.2017 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 исследования—паровой котел ДКВР-20; паропроизводительность—20 т/ч; непрерывный режим работы; используемое топливо—природный газ и мазут; предмет исследования—процессы накипеобразования и коррозии на внутренних поверхностях нагрева

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Введение 2. Современные методы оценки процессов накипеобразования и коррозии внутренних поверхностей нагрева 3. Анализ существующих методов предотвращения процессов накипеобразования и коррозии внутренних поверхностей нагрева барабанных водогрейных котлов 4. Особенности конструкции и эксплуатации двухбарабанных котлов промышленно-отопительных котельных 5. Описание объекта исследования. Теоретическая и практическая значимость поставленной проблемы. Обоснование выбора объекта исследования 6. Численное моделирование топочных процессов двухбарабанных котлов 7. Расчетное исследование физико-химических процессов в пароводяном тракте 8. Анализ влияния эксплуатационных факторов на работоспособность испарительных элементов 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 10. Социальная ответственность 11. Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Эскиз объекта исследования (формат А3)–1 лист; Результаты исследования (формат А3)–2-3 листа
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Грахова Елена Александровна
«Социальная ответственность»	Бородин Юрий Викторович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2017 г.
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тайлашева Т.С.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Скирневская А.В.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 86 с., 21 рис., 15 табл., 37 источников, 3 прил.

Ключевые слова: двухбарабанный котел, накипеобразование, коррозия, тепловой поток, скорость.

Объектом исследования является двухбарабанный котел ДКВР-20 производства Бийского котельного завода (БикЗ) для работы на природном газе и мазуте, установленный на предприятии ЗАО «Сибкабель» г. Томска.

Цель работы–анализ влияния различных факторов на работу экранных поверхностей нагрева; построение номограмм для оценки условий работы экранных поверхностей нагрева.

В процессе исследования проводились: моделирование топочных процессов в котле ДКВР-20; анализ влияния различных факторов на работу экранных поверхностей нагрева; расчет оптимального значения непрерывной продувки.

В результате исследования были построены номограммы для оценки условий работы экранных поверхностей нагрева.

Область применения: данное исследование может применяться на объектах малой энергетики для обеспечения более надежной работы котельных агрегатов данного типа.

Экономическая эффективность/значимость работы: данное исследование позволит снизить перерасход топлива для получения воды и пара требуемых параметров и затраты металла, необходимого для ремонта экранных поверхностей нагрева.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- 1 ПБ10-574-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов».
- 2 РД 34.37.522-88 Методические указания по коррекционной обработке питательной и котловой воды барабанных котлов давлением 3,9-13,8 Мпа.
- 3 СО 34.37.306-2001 (РД 153-34.1-37.306-2001) Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций. Определение количества и химического состава отложений.
- 4 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
- 5 ГОСТ 12.2.023–78 Система стандартов безопасности труда. Техника пожарная. Требования безопасности.
- 6 ГОСТ Р ИСО 26000 «Руководство по социальной ответственности».
- 7 ГОСТ 12.0.002-80 Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
- 8 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 9 СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).
- 10 СанПиН 2971-84 «Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты».
- 11 СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
- 12 СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

В данной работе применены следующие обозначения с соответствующими определениями:

БиКЗ–Бийский котельный завод;

КПД–коэффициент полезного действия;

ПР–произведение растворимости;

ВХР–водно-химический режим;

ЦКТИ–Центрального котлотурбинного института им. И.И. Ползунова;

ДКВР–двухбарабанный котел водотрубный реконструированный.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1 Современные методы оценки процессов накипеобразования и коррозии внутренних поверхностей нагрева	15
2 Анализ существующих методов предотвращения процессов накипеобразования и коррозии внутренних поверхностей нагрева барабанных водогрейных котлов	22
3 Особенности конструкции и эксплуатации двухбарабанных котлов промышленно-отопительных котельных	28
4 Описание объекта исследования	32
5 Численное моделирование топочных процессов двухбарабанных котлов	36
6 Расчетное моделирование физико-химических процессов в пароводяном тракте	43
7 Анализ влияния эксплуатационных факторов на работоспособность испарительных элементов	50
8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
9 Социальная ответственность	67
Заключение	81
Список публикаций студента	82
Список используемых источников	83
Приложение А assessment of conditions of formation of intra pipe deposits in screen heating surfaces of two-drum coppers	87
Приложение Б Скорость образования отложений A_n (мг/см ² ·ч) на огневой стороне труб борového экрана	106
Приложение В Скорость образования отложений A_n (мг/см ² ·ч) на огневой стороне группы труб №2 борového экрана при различных концентрациях примесей	108

Графические материалы:

ФЮРА.311233.002 Эскиз котла ДКВР-20	110
ФЮРА.311233.003 Зависимость факторов эксплуатации испарительных экранов топочной камеры по содержанию в воде продуктов коррозии	111
ФЮРА.311233.004 Зависимость факторов эксплуатации испарительных экранов топочной камеры по содержанию в воде ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}	112

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем промышленной энергетики является невысокая надежность и неэффективность промышленных котлов. В свою очередь их неэффективность и аварийность во многих случаях обусловлены образованием отложений солей жесткости и продуктов коррозии на теплообменных поверхностях котлов. Накипеобразование и коррозия ведут к тепловой и гидравлической разбалансированности, повышению аварийности и малому ресурсу работы. Обладая низкой теплопроводностью, слой накипи резко ухудшает передачу тепла в паровых и водогрейных котлах, вызывая перерасход топлива, снижение коэффициента полезного действия (КПД) в целом; снижение качества теплоснабжения и технологических процессов. Вследствие слоя накипи при толщине в 0,2 мм температура стенок котла может сильно отличаться от температуры котловой воды и в современных котлах достигать 700 °С, что ведет к аварийному разрыву экранных труб, что также отрицательно отражается на энергоэффективности используемых ресурсов [1].

Таким образом, процессы накипеобразования и коррозия внутренних поверхностей нагрева требуют особого внимания в качестве предмета изучения [2]. Отложения солей жесткости и оксидов железа являются главными накипеобразователями.

В качестве объекта исследования выбран двухбарабанный котел типа ДКВР-20, работающий на жидком и газообразном топливе. Один из таких котлов установлен в котельной на предприятии ЗАО «Сибкабель» г. Томска.

Вопросами эксплуатации промышленных котлов и накипеобразования в их экранных поверхностях нагрева занимались Ахмедов Д.Б., Калинин Д.С., Ветров Н.В., Калинин В.Я. [3], Каменецкий Б.Я. [4], Акопянц Б.Е. [5, 6, 7], Шапров М.Ф. [8], Манькина Н.Н. [9], Петрова Т.И., Кашинский В.И., Семенов В.Н., Макрушин В.В., Верховский А.Е., Николаев П.А. [10], Попов В.В., Лебедев В.М., Заворин А.С., Тайлашева Т.С. [11, 12, 13, 14] и др.

После анализа публикаций по теме было выявлено, что аварии на котлах типа ДКВР происходят по различным причинам, но наиболее часто наблюдается разрушение боковых экранных поверхностей нагрева, которые включены в солевой отсек. К факторам, влияющим на подобные разрушения, относят солесодержание питательной и котловой воды, плотность теплового потока в пристеночной области, величина постоянной продувки.

Актуальность проблемы можно обосновать несколькими причинами:

- обеспечение безопасности эксплуатации повсеместно используемых парогенераторов;
- продление срока обслуживания парогенераторов между запланированными ремонтами;
- повышение эффективности эксплуатации парогенераторов.

Практическая значимость заключается в том, что:

- полученные результаты показывают наиболее опасные участки контура циркуляции, где накипеобразование происходит с большей скоростью, из чего следует, что они более подвержены разрушениям из-за образования отложений;
- полученные результаты возможно применять при разработке мероприятий по предупреждению и предотвращению аварий, связанных с разрушением экранных поверхностей нагрева.

Из вышеизложенного следует, что данное исследование является актуальным, так как направлено на обеспечение надежной работы повсеместно распространенных котельных агрегатов, которые, в том числе, обеспечивают теплом население, что обуславливает его социальную актуальность.

Исходя из вышеуказанного, цель данного исследования можно сформулировать следующим образом—исследование физико-химических процессов в пароводяном тракте двухбарабанного котла ДКВР-20 и определение оптимальной величины продувки для более надежной его эксплуатации.

Основными задачами исследования являются:

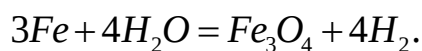
- определение факторов, влияющих на работу экранных поверхностей нагрева и их разрушение;
- проведение вычислительных экспериментов для анализа влияния этих факторов на работу испарительных элементов;
- построение номограмм для оценки условий работы экранных поверхностей нагрева.

1 **Современные методы оценки процессов накипеобразования и коррозии внутренних поверхностей нагрева**

Многочисленный опыт эксплуатации котлов показывает, что большинство аварий и неполадок, которые происходят на котельном оборудовании из-за недостатков водоподготовки и водно-химического режима (ВХР), вызваны накипеобразованием и коррозией.

При взаимодействии поверхностей нагрева с рабочим телом имеет место процесс коррозии, в результате чего происходит разрушение металла. Коррозия может иметь химическую или электрохимическую природу происхождения.

Химической коррозией называется процесс воздействия металла поверхности с коррозионно-активной средой, при котором происходит окисление металла и восстановление окислительного компонента. Ей подвержены трубы, которые поступают на изготовление поверхностей нагрева и различных трубопроводов, на воздухе при изготовлении и хранении. Образуется слой оксидов железа, который, в свою очередь, является неустойчивым, так как имеет переменную толщину и плотность. Этот слой удаляется химической промывкой перед пуском котла, а также создается новый устойчивый слой оксидов железа при температуре 500–570 °С. Данный процесс описывается реакцией Шодрона:



Электрохимической коррозией называется коррозия, при которой между металлом и средой появляется электрический ток, и на границе металл–теплоноситель появляются коррозионные элементы. Это возможно в том случае, если теплоноситель является электролитом. Ей подвергаются все участки поверхностей нагрева, которые омываются водой или пароводяной смесью. Во многих случаях электрохимическая и химическая коррозии протекают одновременно и влияют друг на друга.

Накипеобразование представляет собой совокупность физико-химических процессов, из которых основным принято считать процесс кристаллизации, то есть выделение твердой фазы из раствора. Как известно, пересыщение раствора примесями является основным условием начала процесса кристаллизации. Наиболее интенсивно процесс кристаллизации протекает в пристеночной области, что обусловлено большей концентрацией солей из-за более интенсивного парообразования. Центрами кристаллизации могут служить шероховатости на внутренней поверхности труб или взвешенные и коллоидные частицы, которые находятся в воде котла.

Задачу предотвращения образования накипей и отложений необходимо решать комплексно путем разработки направленных на это мероприятий, включающих в себя: подготовку питательной воды, обработку котловой воды и поддержание ВХР, подбор коррозионностойких металлов и защитных покрытий.

Все отложения при взаимодействии металла с водой можно разделить на три основные группы: щелочноземельные, железистоокисные, медные.

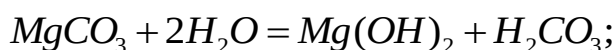
К первой группе относятся соли жесткости. Основными составляющими отложений являются карбонат кальция (CaCO_3), фосфат кальция $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$, сульфат кальция (CaSO_4), силикат кальция (CaSiO_3), гидроксид магния $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$.

Соли жесткости могут выделяться в твердую фазу при значительном увеличении их концентрации в воде, превышающей их произведение растворимости. Они могут образовываться и химическим путем, например:

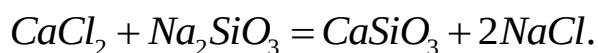
- нагрев бикарбоната кальция и магния:



- гидролиз карбоната магния:



- реакции взаимного обмена:



Ко второй группе отложений относятся соединения железа, такие как оксиды железа (Fe_2O_3 , Fe_3O_4), продукты коррозии металлов, фосфаты ($Fe_3(PO_4)_2$, $NaFePO_4$) и силикаты ($Na_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot SiO_2$).

В зонах наибольших температур факела, характеризующихся высокими местными тепловыми нагрузками, откладываются железоокисные накипи главным образом в форме магнетита Fe_3O_4 . В железоокисных накипях нередко присутствует равномерно распределенная в толще слоя отложений металлическая медь [15].

В третью группу входят отложения меди и окислы меди CuO , Cu_2O .

Образование отложений, состоящих из продуктов коррозии меди, наблюдается в котлах при различных параметрах. Интенсивность образования отложений меди возрастает с повышением тепловой нагрузки. Отложения, образовавшиеся при тепловых нагрузках более 200 кВт/м^2 , представляют собой плотный слой и состоят в основном из соединений меди, а при тепловых нагрузках менее 200 кВт/м^2 , практически не содержат медь.

Накипи в большинстве случаев имеют смешанный характер, иногда со значительным преобладанием окислов железа, меди, фосфатов кальция, железо- и алюмосиликатов и других компонентов [15].

1.1 Условия образования щелочноземельных отложений

Щелочноземельные отложения состоят в основном из соединений кальция и магния. Для их образования необходимо наличие в воде катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и различных анионов. При их взаимодействии образуются труднорастворимые соединения $CaCO_3$, $CaSO_4$, $CaSiO_3$, $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg(OH)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$.

Условием образования щелочноземельных отложений является превышение произведения концентраций ионов в растворе над произведением

растворимости (ПР) соответствующего соединения при определенной температуре, т.е. [16]:

$$C_K \cdot C_A > PP_{KA},$$

где C_K и C_A —концентрации катиона и аниона соответственно, г-ион/дм³;

PP_{KA} —ПР соединения, которое состоит из катионов C_K и анионов C_A .

Для определения допустимых содержаний кальция и магния в питательной и котловой водах, необходимо иметь данные о растворимости при высоких температурах (рисунок 1.1) [16].

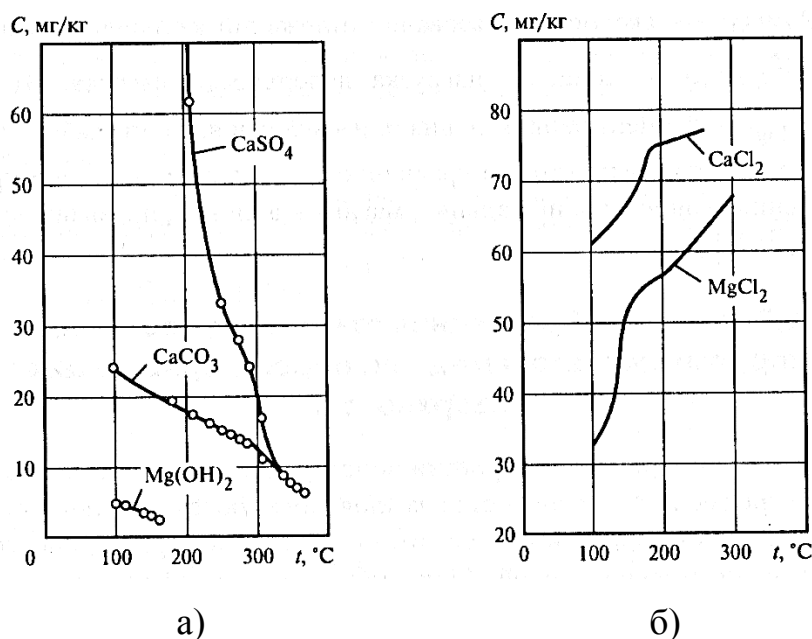


Рисунок 1.1—Зависимости растворимостей солей кальция и магния от температуры воды: а) с отрицательным температурным коэффициентом; б) с положительным температурным коэффициентом [16]

Из рисунка 1.1 видно, что при повышении температуры воды ПР соединений $Mg(OH)_2$, $CaCO_3$ и $CaSO_4$ снижается, а для соединений $CaCl_2$ и $MgCl_2$ повышается. Для магния основным накипеобразователем является гидроксид, в то время как гидроксид кальция имеет значительно большую растворимость. По-разному ведут себя и силикаты кальция и магния. Первый отлагается на поверхности нагрева, а второй образует неприкипающий шлак. Т. о. способность к образованию отложений определяется анионной составляющей.

На основании экспериментальных данных, которые подтверждены опытом эксплуатации энергетического оборудования, была выведена эмпирическая зависимость для расчета скорости образования отложений, которые состоят из соединений магния и кальция, в интервале рН=7-11 [16]:

$$A_{Ca,Mg} = 1,3 \cdot 10^{-13} \cdot C_{в(Ca,Mg)} \cdot q^2, \quad (1.1)$$

где $A_{Ca,Mg}$ – скорость образования отложений кальция и магния на поверхностях нагрева, мг/(см²·ч);

$C_{в(Ca,Mg)}$ – концентрация кальция и магния в котловой воде, мг/дм³;

q – тепловая нагрузка поверхности нагрева, Вт/м².

Следует отметить, что это уравнение справедливо лишь при произведениях концентраций кальция, магния и анионов, превышающих ПР.

1.2 Условия образования железистых отложений

Основными факторами, которые влияют на образование отложений продуктов коррозии железа, являются концентрация, тепловая нагрузка, тип ВХР, рН, наличие магнитного поля, заряды оксидов и поверхности металла.

Экспериментально доказано, что железистые отложения образуются при любых тепловых нагрузках, но скорость данного процесса сильно возрастает с ростом температур.

Для расчета скорости образования железистых отложений также была предложена эмпирическая зависимость [16]:

$$A_{Fe} = 5,7 \cdot 10^{-14} \cdot C_{в(Fe)} \cdot q^2, \quad (1.2)$$

где A_{Fe} – скорость образования железистых отложений, мг/(см²·ч);

$C_{в(Fe)}$ – концентрация железа в воде, мг/дм³;

q – тепловая нагрузка, Вт/м².

Оксиды железа, которые поступают с питательной водой в котел, превращаются в магнетит Fe_3O_4 , который, в свою очередь, является основой железоокисных отложений. Другие формы оксидов железа (Fe_2O_3) образуют шламовые осадки.

1.3 Условия образования медных отложений

Образование отложений, состоящих из продуктов коррозии меди, наблюдается в котлах при различных параметрах. Интенсивность образования отложений меди возрастает с повышением тепловой нагрузки.

Присутствие в водных растворах соединений меди обуславливается коррозионными разрушениями латунных и медных элементов. По сравнению с продуктами коррозии сталей, продукты коррозии меди встречаются значительно реже. Одним из отличительных признаков отложений продуктов коррозии меди является неоднородность их содержания в слое: верхняя часть состоит на 65–85 % из меди, а средняя часть на 15–20 % [16].

Для расчета скорости образования медьсодержащих отложений может быть использована следующая эмпирическая зависимость [16]:

$$A_{\text{Cu}} = k \cdot S_{\text{B}(\text{Cu})}^{1/n} \cdot q \cdot (q - q_0),$$

где A_{Cu} – скорость образования отложений меди, мг/(см²·ч);

$S_{\text{B}(\text{Cu})}$ – общая концентрация меди в воде, мг/кг;

k – коэффициент пропорциональности;

q – тепловая нагрузка поверхности нагрева, Вт/м²;

q_0 – тепловая нагрузка, ниже которой не наблюдаются отложения меди, Вт/м²;

n – соотношение концентраций ионов меди и общей концентрации меди в воде.

1.4 Образование отложений легкорастворимых соединений на поверхностях нагрева

К числу растворимых соединений условно относятся хлориды, сульфаты, фосфаты, силикаты и гидрооксиды калия и натрия. В пароводяных трактах ТЭС и АЭС в основном содержатся соединения натрия, которые поступают в конденсат и добавочную воду.

Растворимость в воде представленных соединений на порядок выше, чем концентрация их в питательной воде и котловой водах, и даже при упаривании воды в барабанных котлах их концентрация в котловой воде значительно ниже растворимости, поэтому соединения натрия практически не обнаруживаются на теплопередающих поверхностях барабанных котлов. Исключение могут составлять только переходные зоны прямоточных котлов, где происходит упаривание всей влаги.

2 Анализ существующих методов предотвращения процессов накипеобразования и коррозии внутренних поверхностей нагрева барабанных водогрейных котлов

Основными методами замедления и предотвращения процессов накипеобразования и коррозии являются подготовка питательной воды и организация ВХР в котле. Данные мероприятия имеют большое значение как для работы котла, так и энергопредприятия в целом.

От качества питательной воды и применяемых средств коррекционной обработки в значительной мере зависит химический состав котловой воды, который наряду с температурой воды определяет состав, физические свойства и структуру отложений в котлах.

Для достаточной обработки воды требуется применение большого числа технологических операций, технология которых и последовательность зависят от множества факторов: от качества исходной воды и требований к качеству обработанной воды, от наличия и доступности оборудования, необходимого для тех или иных операций, реагентов и другие факторы.

2.1 Требования, предъявляемые к воде

К питательной воде котлов с естественной циркуляцией при давлении до 4 МПа и подпиточной воде, согласно [17], предъявляются требования. В таблице 2.1 указаны нормы качества добавочной воды в случае докотловой обработки согласно ГОСТ 20995-75.

При этом для парогенераторов с давлением до 4 МПа (40 кгс/см²), при наличии заклепочных соединений, относительная щелочность воды в котле не должна превышать 20%. Для котлов, где имеются сварные барабаны и вальцовочное крепление труб, относительная щелочность воды в котле должна быть не более 50%. Относительная щелочность воды в котлах со сварными барабанами и трубами не нормируется.

Таблица 2.1–Нормы качества добавочной воды для парогенераторов с давлением пара до 4,0 МПа [17]

Показатель	Норма для парогенераторов, работающих при давлении, МПа		
	До 1,4	До 2,4	До 4,0
1	2	3	4
Общая жесткость, в мкг-экв/кг	20/15	15/10	10/5
Содержание:			
взвешенных веществ, мг/кг	5	5	0
соединений железа, мкг/кг	– / 300	200/100	100/50
соединений меди, мкг/кг	0		0 / 10
растворенного кислорода, мкг/кг	50 / 30	50 / 20	30 / 20
свободной углекислоты, мкг/кг	Не допускается		
СО ₂ , мкг/кг	–		20
масел, мкг/кг	3	3	0,5
Значение pH при $t = 20^{\circ}\text{C}$	8,5–9,5		

Примечание. В числителе приведены значения для котлов, работающих с локальными нагрузками поверхностей нагрева до 300 кВт/м², а в знаменателе–для котлов, работающих с локальными нагрузками более 300 кВт/м²

2.2 Продувка котла

Данный метод зависит от количества и качества добавочной и котловой воды, типа котла, параметров пара, норм содержания примесей. Таким образом для паровых котлов данный метод имеет более существенное значение, нежели для водогрейных, где в системе циркулирует одна и та же вода, которая только нагревается. В паровых же котлах необходимо постоянное восполнение воды, которая подвергается испарению. Так как соли не уносятся с паром, а остаются в котловой воде, ее состав постепенно ухудшается. Для поддержания допустимых концентраций примесей в воде котла, ее постоянно или периодически обновляют. Данный способ называется непрерывной и периодической продувкой.

Непрерывная продувка производится из тех участков котла, на которых предполагается максимальная концентрация примесей, а периодическую—из мест, где скапливается шлам. Допустимая продувка может быть не более 10% от номинальной производительности и не более 25% расхода питательной воды.

Так как с продувкой из котла отбирается и тепло, для снижения тепловых потерь устанавливают сепараторы и теплообменники непрерывной продувки. При расходе продувочной воды до 1000 кг/ч устанавливают только сепараторы и используют теплоту отсепарированного пара, а при расходе более 1000 кг/ч устанавливают и теплообменники для использования тепла продувочной воды.

2.3 Способы снижения жесткости

Самым распространенным является метод ионного обмена. Он основан на свойстве химических соединений менять ионы различных элементов, которые не оставляют накипь на теплообменных поверхностях, на ионы, вызывающие накипь.

Наиболее простой метод—натрий-катионирование. Его применяют в случаях, когда требуемая жесткость составляет не менее 0,1–0,2 мг-экв/кг. При

необходимом более глубоком умягчении используют двухступенчатое натрий-катионирование с последовательным расположением фильтров. Во время донного процесса происходит замена ионов кальция и магния, которые содержатся в воде, на ионы натрия, находящиеся в катионите.

В настоящее время самым распространенным катионитом является КУ-2-8.

При натрий-катионировании достигается глубокое умягчение обрабатываемой воды, но это вызывает повышение агрессивных свойств воды по отношению к металлу, что усиливает коррозию питательного тракта, а при некачественной деаэрации также всего остального оборудования.

Если совместно с умягчением воды требуется снизить щелочность котловой воды и содержание углекислоты в паре, применяют метод натрий-аммоний-катионирования, но при этом в паре допущено присутствие небольшого количества аммиака. Это возможно при отсутствии в оборудовании элементов из латуни и медных сплавов.

При использовании данного метода часть КУ-2-8 в фильтрах обогащена раствором поваренной соли (NaCl), а часть – раствором сульфата аммония $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$. Расход реагентов определяется пропорционально количеству воды, которая подвергается умягчению. Восстановление обменной способности фильтров производится общим раствором 5–10 % раствора хлористого натрия, который растворяют в растворе сульфата аммония при концентрации не более 2–3 %.

Водород-натрий-катионирование используется в том случае, когда вырабатываемом паре не должен присутствовать аммиак. В данном случае применяется последовательная установка натрий-катионитовых и водород-катионитовых фильтров. В результате водород-натрий-катионирования происходит умягчение воды, которая в конце обработки имеет небольшую щелочность и повышенное содержание углекислоты. При необходимости в еще большем снижении жесткости воды ее доумягчают в дополнительных натрий-катионитовых фильтрах. [18]

2.4 Деаэрация

Важной частью комплексной обработки воды является деаэрация, т. е. удаление растворенных в ней коррозионно-активных газов. Сущность данного технологического метода заключается в том, чтобы снизить содержание растворенных агрессивных газов в воде–кислорода и уголекислоты–до допустимых пределов, что может быть достигнуто двумя путями–термическим и химическим. Наиболее распространен термический способ удаления газов.

Термический, или десорбционный, метод удаления агрессивных газов осуществляется в термических деаэраторах (атмосферных или вакуумных), где происходит равномерное разбрызгивание воды и удаление растворенных газов при ее нагревании паром до температуры кипения.

Химический способ заключается в использовании специальных реагентов для протекания окислительно-восстановительных реакций со связыванием кислорода. Такими реагентами, на данный момент, являются сульфит натрия (Na_2SO_3) и гидразин-гидрат ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). [18]

Также для удаления уголекислоты применяют декарбонизаторы–цилиндрическая емкость, заполненная кольцами Рашига, Палля, Лесснига либо седлами Инталокс и Берля

2.5 Методы коррекционной обработки воды.

Задачей ВХР для котлов низкого давления является создание определенных условий, когда труднорастворимые отложения не образуются и выводятся из контура вместе с продувочной водой в виде неприкипающего шлама или растворимых соединений.

Одним из таких способов является фосфатирование. Заключается в введении в барабан котла фосфатов, при ступенчатом испарении фосфаты обычно вводятся в чистый отсек. Фосфатирование является эффективным

средством предупреждения образования только кальциевых отложений [19], позволяет переводить кальциевые соединения в шламовую форму.

Также может использоваться комплексонный ВХР. В питательной воде обеспечивается истинно-растворенное состояние комплексонов. Они образуются путем связывания катионов питательной воды—кальция, магния, железа, цинка, меди и др. При данном водном режиме и достаточно невысоких температурах в котловой воде не образуется кальциевый и железистый шлак. При оптимальном значении pH данный режим имеет много преимуществ перед фосфатированием: малый унос примесей с паром, эффективность вывода примесей с продувкой и отсутствие шлама.

В роли комплексона часто применяют двухзамещенную нариевую соль ЭДТА-трилон Б. Так как комплексон вводится в питательную воду, то обеспечивается полное его перемешивание со всем количеством воды.

Водоподготовка и поддержание ВХР играют важную роль в предотвращении процессов накипеобразования, за счет значительного снижения концентраций накипеобразующих примесей в питательной и котловой воде.

3 Особенности конструкции и эксплуатации двухбарабанных котлов промышленно-отопительных котельных

Массовое производство котлов малой мощности началось в середине прошлого века.

Одним из первых конструкторских решений были двухбарабанные котлы водотрубные реконструированные (ДКВР), было освоено серийное производство типоряда данных котлов с паропроизводительностью 2,5, 4, 6,5, 10, 20 т/ч при давлениях 1,3 и 2,3 МПа.

Всего существуют две конструкции котлов ДКВР—с длинным и укороченным верхним барабаном (рисунок 3.1).

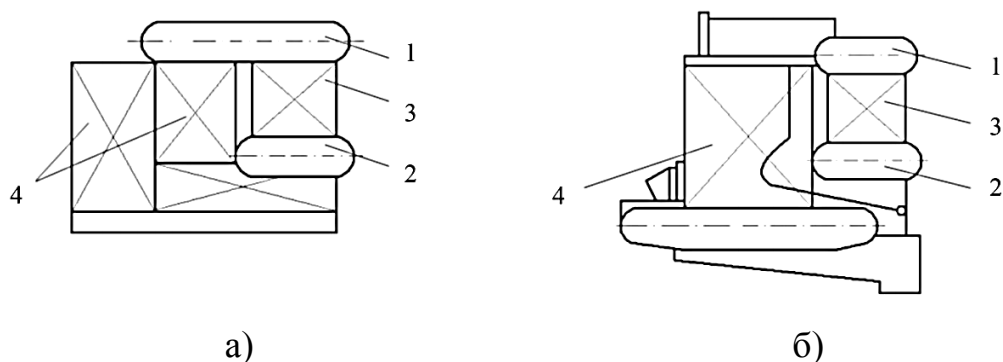


Рисунок 3.1.—Компоновка поверхностей нагрева котлов типа ДКВР:
а—с длинным верхним барабаном; б—с коротким верхним барабаном;
1, 2—барабаны верхний и нижний соответственно; 3—котельный пучок;
4—экранные поверхности топочной камеры

Котлы ДКВР имеют два барабана—верхний и нижний, которые расположены вдоль оси котла. Верхний барабан определяет габарит котла и предназначен для сепарации пара и подачи в котел питательной воды. Нижний—короткий, предназначен для запитки контуров с выносными циклонами, отстаивания шлама и организации постоянной продувки [2].

Основными поверхностями нагрева в котлах ДКВР являются экранированная топочная камера и кипяtilьный пучок, состоящий из гнутых труб, развальцованных в верхнем и нижнем барабанах. Топочная камера и

котельный пучок разделены шамотной перегородкой на собственно топку и камеру догорания для предотвращения затягивания пламени факела в пучок, что позволило снизить потери с уносом и химическим недожогом. В котлах мощностью 10 т/ч топка и камера догорания разделяются трубами заднего экрана. Камера отделяется от котельного пучка шамотной перегородкой, которая устанавливается между первым и вторым рядами труб пучка. Горизонтальный поворот газов внутри котельного пучка обеспечивается путем установки чугунной перегородки, которая делит его на первый и второй газоходы. При наличии перегрева пара часть труб котельного пучка не устанавливается, пароперегреватели размещают в первом газоходе пучка после второго или третьего ряда труб. Пароперегреватели унифицированы для котлов ДКВР, отличаются только числом параллельно установленных змеевиков для котлов разной паропроизводительности. Одноходовые по пару перегреватели обеспечивают получение перегретого пара без пароохладителей.

Барабаны имеют внутренний диаметр 1000 мм и толщину стенки 13 мм и изготавливаются из стали марок 09Г2С или 16ГС. Трубы пучков и экранов выполняются бесшовными внешним диаметром 51 мм с шагом между трубами 80 мм. Барабаны снабжены паросепарационными устройствами для получения качественного пара. В котлах ДКВР-10 и ДКВР-20 используется двухступенчатая схема испарения с выносными циклонами. Гибы труб поверхностей нагрева выполнены радиусом 400 мм. Это допускает выполнение механической очистки труб от накипей с помощью шарошек. Для изготовления труб экранных поверхностей нагрева и котельного пучка используют стали марок 10 и 20, для пароперегревателя – сталь 10.

Котлы ДКВР могут работать на пониженных давлениях (до 0,7 МПа) по сравнению с номинальным без снижения КПД котельных агрегатов, что подтверждено многочисленными испытаниями и длительным опытом эксплуатации.

Конструктивно котлы типа КЕ, имеющие паропроизводительность 2,5, 4, 6,5 и 10 т/ч, схожи с котлами ДКВР. Основным отличием являются плотные

боковые экраны, которые ограждают стены конвективного пучка и выполнены из труб диаметром 51 мм с шагом между трубами 58 мм, объединенных общим нижним коллектором по длине котла. Данное конструктивное решение позволило снизить вес котла путем применения более легкой натрубной изоляции, толщина которой 125 мм. При применении пароперегревателя его устанавливают за первыми пятью рядами котельного пучка вместо испарительных труб.

Котлы типа ДЕ имеют заметную конструктивную особенность—топочный объем размещен сбоку от котельного пучка, который образуется гнутыми трубами, развальцованными в верхнем и нижнем барабанах (рисунок 3.2). В остальном же котлы ДЕ схожи с котлами ДКВР и КЕ.

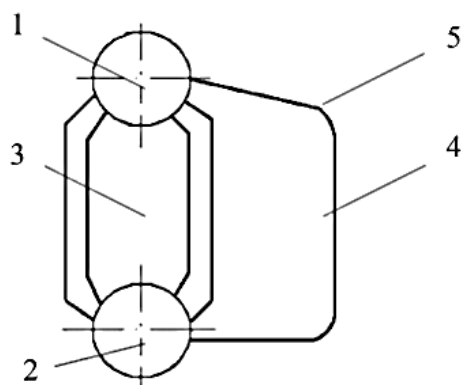


Рисунок 3.2—Принципиальная компоновка котлов ДЕ: 1, 2—верхний и нижний барабаны соответственно; 3—котельный пучок; 4—топочная камера; 5 —экраны топочной камеры

Также в отдельную ветвь двухбарабанных котлов можно выделить такие котельные агрегаты как Е-1,0-0,9 Р (антрацит АС и АМ), Е-1,0-0,9 М (мазут 100) и Е-1,0-0,9 Г (природный газ), которые объединены схожей конструктивной схемой. Предназначены по большей части для покрытия потребностей предприятий в насыщенном паре (рисунок 3.3).

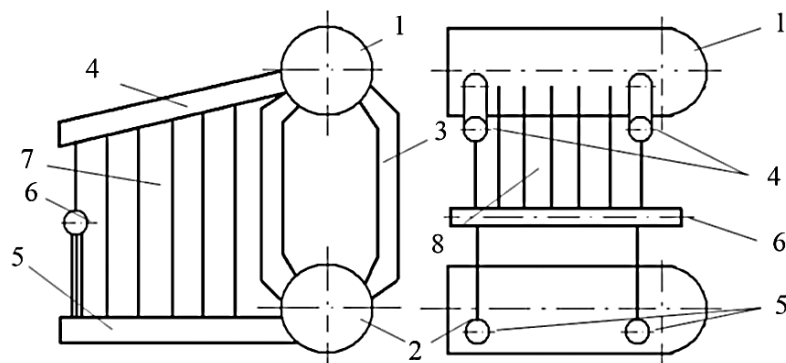


Рис. 3.3—Схема котлов типа Е-1/9: 1, 2—верхний и нижний барабаны соответственно; 3—конвективный пучок; 4, 5, 6—верхние, нижние и фронтальные коллекторы соответственно; 7—боковой экран; 8—потолочный и фронтальный экран

Данные котлы состоят из двух барабанов—верхнего и нижнего, которые расположены друг над другом и соединены между собой конвективным пучком. Топочная камера образуется двумя боковыми и потолочным экранами. Потолочный экран частично заходит и на фронт котла. В котлах отсутствуют необогреваемые питательные и отводящие трубы экранов. Ввод воды осуществляется в верхний барабан. Периодическая продувка предусматривается в трех местах—два нижних коллектора и нижний барабан.

Таким образом такое разнообразие двухбарабанных котлов позволяет решать множество теплотехнических задач, таких как получение горячей воды, насыщенного и перегретого пара. Далее вода или пар используются для различных целей—теплотехнические нужды в паре промышленных предприятий, горячее водоснабжение, отопление, вентиляция. При этом наиболее универсальными являются котлы ДКВР-20 и ДЕ-25 с учетом их располагаемой паро- и теплопроизводительности.

Подводя итог вышеизложенного, следует отметить, что котел типа ДКВР-20 является более предпочтительным объектом исследования, направленного на повышение эксплуатационной надежности.

4 Описание объекта исследования

Основным критерием для выбора объекта исследования является его использование в настоящее время для апробирования результатов исследования при реальной эксплуатации котельного агрегата. Важным показателем является возможность работать при переменных нагрузках для оценки влияния топочных процессов на скорость накипеобразования. Также важным фактором служит наличие соленых отсеков в зоне высоких тепловых нагрузок, для получения результатов в более широком диапазоне.

В соответствии с перечисленными выше требованиями натурным объектом для исследования выбран паровой котел ДКВР-20 производства БИКЗ. Один из таких котлов установлен в котельной на предприятии АО «Сибкабель» г. Томска (рисунок 4.1). Он предназначен для выработки пара для покрытия нужд в паре на основном производстве предприятия.

Данный котел имеет следующие особенности конструкции:

- верхний и нижний барабаны расположены в одной вертикальной плоскости вдоль оси котла;
- развитый котельный пучок соединяет два барабана между собой, трубы внутри барабанов развальцованы;
- топочная камера целиком экранирована для большего тепловосприятия;
- экранные трубы обоими концами приварены к верхнему и нижнему коллекторам для возможности транспортировки тремя блоками;
- фронтальный экран имеет трубы рециркуляции.

Габариты топочной камеры: ширина–2730 мм; высота–5500 мм; глубина–4190 мм. Диаметр экранных труб–51 мм. Под не экранирован, закрыт огнеупорной массой. Боковые стены составляют по две экранных панели.

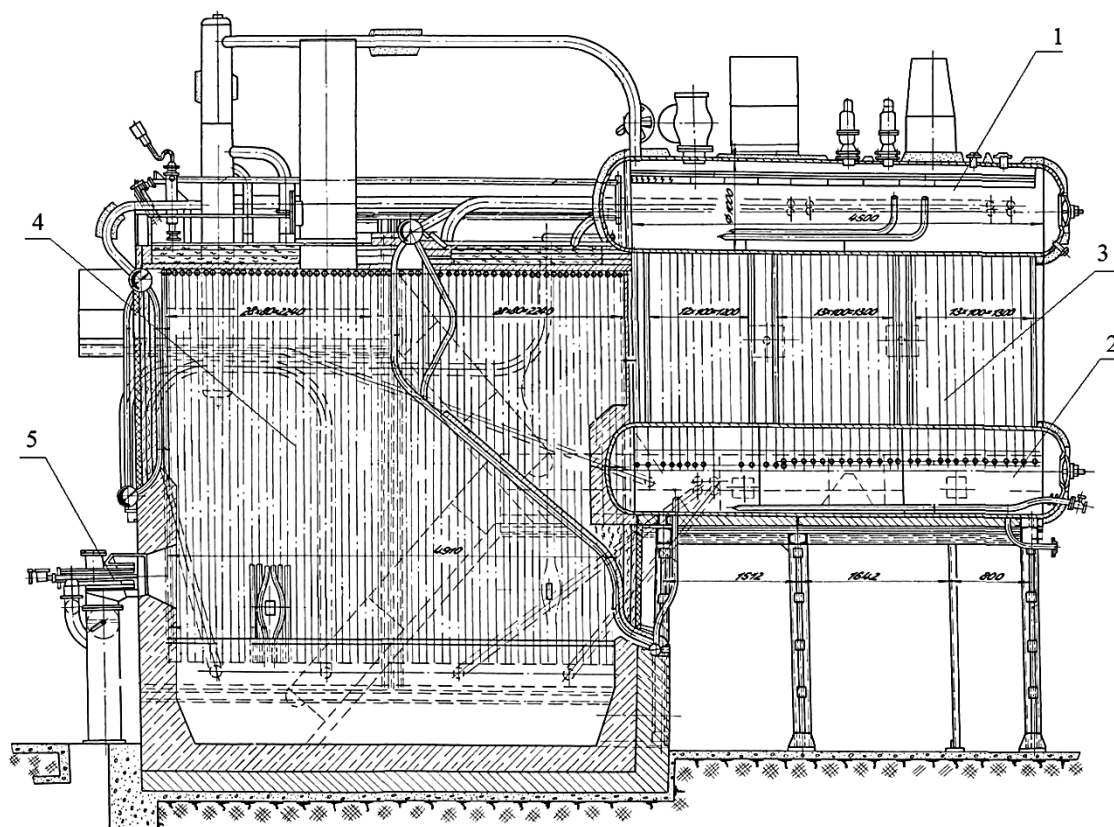


Рисунок 4.1–Котел ДВКР-20 ГМ: 1 и 2–верхний и нижний барабаны соответственно; 3–котельный пучок; 4–экранные поверхности топочной камеры; 5–горелка газомазутная.

Котел, выбранный в качестве натурального объекта исследования, за время эксплуатации реконструировался, а именно, слоевое сжигание каменного угля было заменено на факельное сжигание газа и мазута. Также были изменены параметры получаемого пара, рабочее давление с 2,3 снизили до 1,6 МПа.

Потребность предприятия в паре в силу технологических условий работы не постоянна, что приводит к работе котла в форсированном режиме с понижением нагрузок до 15 %.

В настоящее время под горизонтальный неэкранированный, выполнен из кирпичей и покрыт огнеупорной массой, что позволило сохранить объем топочной камеры. На фронтальной стене в два яруса установлены две газомазутные горелки типа ГМГ-7,0 на высоте 1,3 и 2,33 м от уровня пола. Диаметр амбразуры данных горелок–500 мм, а канала для прохода газозвушной смеси–434 мм. В остальном котел остался без изменений.

При численном моделировании и выполнении исследования использовались основные технические характеристики уже реконструированного котельного агрегата ДКВР-20 (таблица 4.1).

Таблица 4.1–Технические характеристики исследуемого котла

Характеристика	Значение
Паропроизводительность номинальная, т/ч (кг/с)	20 (5,56)
Давление, МПа	1,57
Температура насыщенного пара, °С	201,4
Поверхность нагрева котла, м ² :	
радиационная	51,3
конвективная	357,4
общая	408,7
Объем котла, м ³ :	
паровой	1,84
водяной	10,5
Расход топлива, м ³ / с	0,425
Коэффициент полезного действия, %	90,4
Коэффициент избытка воздуха в топке	1,08...1,15

Последние несколько лет котел ДКВР-20 работает на природном газе, до этого осуществлялось сжигание мазута. За время эксплуатации выявилась основная проблема при работе данного котельного агрегата–систематически разрушаются трубы во второй ступени испарения (солевой отсек) боковых экранов. После ремонта экранов до следующего разрушения труб котел находится в эксплуатации не более восемнадцати месяцев.

В настоящее время в котле сжигается природный газ, характеристики и состав которого представлен в таблице 4.2. Моделирование и все исследования проводились при использовании данного топлива.

Таблица 4.2–Характеристики сжигаемого топлива

Характеристика	Значение
Низшая теплота сгорания сухого газа, кДж/м ³	34900
Плотность газа при 0°С и 760 мм.рт.ст., кг/м ³	0,74
Состав газа по объему, %:	
CH ₄	92,68
C ₂ H ₆	5,04
C ₃ H ₈	0,45
N ₂	1,85

На котельной осуществляется классическая схема водоподготовки, за качеством воды и условиями работы ВПУ на разных стадиях наблюдает высококвалифицированный персонал.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Скирневской Александре Владимировне

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	– примерный бюджет исследования–100 т. руб.; – в реализации проекта задействованы 2 человека: руководитель темы, инженер; – необходимо одно рабочее место специалиста с мощной компьютерной техникой и доступом к сети интернет.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	– ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; – ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»; – ГОСТ Р 52104-2003 «Ресурсосбережение».
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды–27,1 %; оплата труда руководителя–110 руб/ч; оплата труда студента–30 руб./ч.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	– потенциальные потребители результатов НИ; – анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. <i>Планирование работ НТИ</i>	– организационная структура исследования; – планирование работ по исследованию.
3. <i>Бюджет, риски и организация закупок</i>	– расчет материальных затрат на исследование; – расчет заработной платы исполнителей; – расчет суммарного бюджета исследования.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	– сравнительная оценка эффективности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.04.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмента	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Скирневская Александра Владимировна		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой дипломного исследования является «Оценка условий образования внутритрубных отложений в экранных поверхностях нагрева двухбарабанных котлов».

Целью экономической части данного исследования является расчёт экономической эффективности исследования. Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач:

- провести анализ конкурентных технических решений;
- провести планирование выполнения НИИ;
- рассчитать бюджет НИИ;
- определить ресурсосберегающую, коммерческую и экономическую эффективность НИИ.

5.1 Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование

Оценка условий образования внутритрубных отложений в экранных поверхностях нагрева двухбарабанных котлов позволяет: прогнозировать аварии, связанные с выходом из строя и разрушением труб экранных поверхностей нагрева; повысить надежность циркуляционного контура котлов; обеспечить оптимальную величину постоянной продувки, обеспечивающей наиболее длительную работу экранных поверхностей нагрева; снизить затраты топлива; снизить перерасход металла на ремонт.

В связи с быстрым развитием техники и ростом цен оптимизация различных процессов играет важную роль в любом производстве, в том числе и процессы парообразования в котельных агрегатах.

Сегментировать рынок услуг по разработке и внедрению в производстве данного исследования можно по следующим критериям: стадия внедрения, количество котельных агрегатов (рисунок 8.1).

		Стадия внедрения		
		Внедрение в существующие проекты котлов	Использование на стадии проектирования	Внедрение на стадии эксплуатации
<i>Количество котельных агрегатов, шт</i>	1-5			
	5-10			
	Более 10			

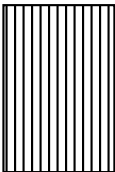
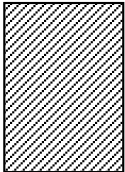
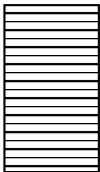
	Фирма-производитель котлов		Промышленные предприятия, использующие двубарабанные котлы		Проектировочная фирма
--	----------------------------	--	--	--	-----------------------

Рисунок 8.1. Карта сегментирования рынка услуг

Потенциальными потребителями результатов НТИ могут являться:

- проектировочные фирмы, специализирующиеся на котлах и котельном оборудовании;
- фирмы-производители котельного оборудования;
- промышленные предприятия, использующие двубарабанные котлы;
- другие виды фирм и производств, связанных с использованием двубарабанных котлов.

5.1.1 Определение конкурентоспособности исследования

Для данного исследования анализ конкурентоспособности целесообразно проводить при помощи оценочной карты, которая приведена в таблице 8.1. Для сравнения был выбран котел ДКВр-20 при использовании данного исследования (Б_ф) и без его использования (Б_к).

Таблица 8.1–Оценочная карта для определения конкурентоспособности исследования

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
Технические критерии					
1. Повышение производительности труда	0,04	4	4	0,16	0,16
2. Удобство в эксплуатации	0,07	4	3	0,28	0,21
3. Помехоустойчивость	0,04	3	3	0,12	0,12
4. Энергоэкономичность	0,08	3	3	0,24	0,24
5. Надежность	0,2	5	4	1,0	0,8
6. Уровень шума	0,03	3	3	0,09	0,09
7. Безопасность	0,2	4	4	0,8	0,8
8. Предоставляемые возможности	0,1	4	2	0,4	0,2
9. Функциональная мощность	0,05	5	5	0,25	0,25
Экономические критерии					
1. Конкурентоспособность продукта	0,02	3	3	0,06	0,06
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	2	2	0,04	0,04
3. Цена	0,05	2	2	0,1	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	2	2	0,2	0,2
Итого	1,0	44	40	3,74	3,27

Исходя из оценочной карты следует вывод, что данное исследование конкурентоспособно, так как технически и экономически эффективно, по сравнению с котлом ДКВР-20 без применения результатов данного исследования. Котел Б_к уступает котлу Б_ф по таким показателям, как: удобство в эксплуатации, надежность и предоставляемые возможности.

Данные исследования могут широко использоваться среди проектировочных фирм, занимающихся производством котлов и котельного оборудования, а также среди монтажных фирм и самих потребителей, что определяет его коммерческий потенциал.

Данное исследование имеет и инновационную сторону, которая заключается в прогнозировании аварий котлов теоретическим путем максимально эффективно, что позволит избежать серьезных аварий.

5.2 Планирование работ НТИ

Порядок планирования работ будет осуществляться в соответствии со следующими этапами: поэтапное определение задач в рамках НТИ (таблица 8.2); определение необходимого числа участников; определение объема работ, выполняемых каждым участником; расчет планируемых затрат временных ресурсов на выполнение каждого этапа; построение диаграммы Ганта по НТИ.

Таблица 8.2–Перечень этапов и необходимое число исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Исполнители
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	РТ
Выбор направления исследования	2	Календарное планирование работ по исследованию процессов накипеобразования	РТ, И
	3	Изучение теоретического материала, статей по вопросу образования отложений на внутренней стороне поверхностей нагрева, систематизация необходимой информации, выбор объекта исследования	И
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Моделирование топочных процессов, проведение теоретических расчетов скоростей накипеобразования различных примесей и их обоснование	И
Обобщение и оценка результатов	5	Оценка эффективности проведенного исследования	РТ, И
Оформление отчета по НТИ	6	Оформление результатов НТИ для представления потребителям	И
Представление результатов	7	Оценка результатов работ и их представление потребителям	РТ, И

РТ–руководитель темы; И–инженер

5.2.1 Разработка графика работ НТИ

Диаграмма Ганта–столбчатый график, на котором этапы работы представляют собой отрезки, которые характеризуются датой начала и датой окончания выполнения какой-либо работы. Данные для диаграммы представлены в таблице 8.3, а диаграмма–в таблице 8.4.

Таблица 8.3–Временные ресурсы, требующиеся для выполнения этапов исследования

№ раб.	Трудоемкость работ			Исполнители	Количество рабочих дней T_{pi}	Количество календарных дней, T_{ki}
	t_{mini} , чел-дни	t_{maxi} , чел-дни	$t_{ожи}$, чел-дни			
1	2	3	3	1	3	5
2	2	4	3	2	1,5	3
3	14	18	16	2	9	12
4	14	19	16	1	16	24
5	4	6	5	2	2,5	4
6	15	18	17	1	17	25
7	8	10	9	2	4,5	7
Итого:	59	79	69		52,5	80

Таблица 8.4–Диаграмма Ганта НТИ

№ п/п.	Исполнители	T_{ki} , дн	Продолжительность выполнения работ								
			март		апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	
1	РТ	5	■								
2	РТ, И	3		■							
3	И	12		■	■						
4	И	24			■	■	■				
5	РТ, И	4						■			
6	И	25						■	■	■	
7	РТ, И	7									■

■–руководитель темы; ■–инженер.

Ознакомление с источниками информации по теме исследования—один из важнейших этапов, так как именно на нем строится база для всей дальнейшей работы. Также он включает в себя выбор оптимального объекта исследования, на чем и строятся весь дальнейший анализ и расчеты.

Таким образом, на выполнение всех работ по исследованию процессов накипеобразования и коррозии и подведение итогов планируется затратить 52,5 рабочих и 80 календарных дней. При условии, что исполнителями будут руководитель темы и инженер.

5.3 Бюджет научно-технического исследования

Планирование бюджета НТИ должно быть достоверным для более точного определения экономической эффективности принятых решений. Для этого требуется предоставить полную смету.

5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для определения затрат на НИР необходимо составить смету, которая представлена в таблице 8.5.

Таблица 8.5—Смета затрат НТИ

Наименование	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты, руб.	
	И1	И2	И1	И2	И1	И2
Бумага	300	300	0,7	0,7	210	210
ПК	1	1	25000	25000	25000	25000
Принтер	1	1	3000	3000	3000	3000
Интернет	3	3	302	302	906	906
Ручка	2	2	30	30	60	60
Тетрадь	1	1	35	35	35	35
Электроэнергия	62,7	62,7	2,93	2,93	552	552
Программный продукт	1	1	0	1247600	0	1247600
Итого:					29763	1277363

В данном случае, при исполнении №1 (И1) используется программный продукт–FIRE 3D, созданный на базе Томского Политехнического университета, а при исполнении №2 (И2)–ANSYS Fluent.

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

При проведении данного исследования специального оборудования не требуется, поэтому затраты на него отсутствуют.

5.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей

Расчет заработной платы проведен с учетом, что за час работы руководитель получает 110 рублей, а инженер–30 рублей (рабочий день 8 часов). Расчет сводится в таблице 8.6.

Таблица 8.6–Расчет основной заработной платы исполнителей НТИ

№ п/п работ	Трудоемкость, чел.-дн.		Всего заработная плата, руб.
	Инженер	Руководитель темы	
1	2	3	4
1	0	5	4400
2	3	3	3360
3	12	0	2880
4	24	0	5760
5	4	4	4480
6	25	0	6000
7	7	7	7840
Итого:	77	19	34720

Дополнительная заработная плата составляет 12-20 % от основной. Т. о. она составит 5208 руб.

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов, составляющий 30% от заработной платы. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году была введена пониженная ставка—27,1%.

Таким образом отчисления составят 10820,5 руб.

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы планируются в размере 45 % от заработной платы. Таким образом, накладные расходы составят:

$$Z_{\text{накл}} = 39928 \cdot 0,45 = 17967,6 \text{ руб.}$$

5.3.6 Формирование бюджета затрат НТИ

В таблице 8.7 приведена смета на 2 варианта проведения исследования: 1—при использовании программного продукта FIRE 3D; 2—ANSYS Fluent.

Таблица 8.7—Бюджет НТИ

Наименование статьи	Сумма затрат, руб.	
	FIRE 3D	ANSYS
Материальные затраты	29763	1277363
Затраты по основной заработной плате	34720	34720
Затраты по дополнительной заработной плате	5208	5208
Отчисления во внебюджетные фонды	10820,5	10820,5
Накладные расходы	17967,6	17967,6

Бюджет затрат на НТИ	98479,1	1346079,1
----------------------	---------	-----------

Низкая стоимость исполнения при использовании программного продукта FIRE 3D обеспечивается за счет более доступного программного продукта, созданного на базе НИ ТПУ.

5.4 Определение ресурсосберегающей, финансовой, социальной и экономической эффективности исследования

Определим ресурсосбережение исследования на основе интегрального показателя эффективности НИР. Для этого сравним 2 варианта, которые заключаются в использовании различных программ для моделирования топочных процессов–FIRE 3D и ANSYS.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т. ч. аналоги).

Исполнение 1 (FIRE 3D):

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{98479,1}{1346079,1} = 0,073.$$

Исполнение 2 (ANSYS):

$$I_{финр}^{исп.2} = \frac{1346079,1}{1346079,1} = 1.$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 8.8).

Таблица 8.8–Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	FIRE 3D	ANSYS
1	2	3	4
Ввод исходных данных	0,2	4	5
Визуализация исходных данных	0,1	4	5
Время моделирования	0,2	5	4
Визуализация результатов	0,2	5	5
Удобство эксплуатации	0,3	4	3
Итого	1	4,4	4,2

Определение интегрального показателя эффективности производится на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя.

Исполнение 1 (FIRE 3D):

$$I_{исп1} = \frac{4,4}{0,073} = 60,27.$$

Исполнение 2 (ANSYS):

$$I_{исп2} = \frac{4,2}{1} = 4,2.$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{60,27}{4,2} = 14,35.$$

Сравнивая значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация способа моделирования в FIRE 3D, который используется при исследовании, является наиболее эффективным решением поставленных в данной работе задач с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Отсюда следует, что само исследование является целесообразным и ресурсоэффективным.

Список публикаций студента

1. Скирневская А. В. Исследование физико-химических процессов в пароводяном тракте двухбарабанных котлов // Молодая мысль–развитию энергетики: материалы I(XVI) Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов, Братск, 19-22 Апреля 2016. - Братск: БрГУ, 2016 - С. 220-223
2. Evaluation of scale formation in waterwall heated surfaces [Electronic resource] / T. S. Taylasheva [et al.] // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 92 : Thermophysical Basis of Energy Technologies (TBET-2016). — [01029, 4 p.]. — Title screen. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20179201029>
<http://earchive.tpu.ru/handle/11683/36686>