

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

---

Институт Электронного обучения  
 Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника  
 Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Модернизация системы подготовки воды для повышения долговечности котла КВГМ-100 ООО «Томскнефтехим» г. Томск</b>

УДК 621.182.12-048.35:697.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>3-5Б2Б1</b>	<b>Бицукова Светлана Сергеевна</b>		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Голдаев С.В.	д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преп.	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гусельников М.Э.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д.ф.-м.н., профессор		

Планируемые результаты обучения по ООП 13.03.01

«Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i><b>Универсальные компетенции</b></i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в общества в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе и междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач.
Р3	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.

	<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>
P7	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности в широком (в том числе междисциплинарном) контексте в комплексной инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Результаты решения задач комплексного инженерного анализа с использованием базовых и специальных знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять комплексные инженерные проекты с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить комплексные научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением базовых и специальных знаний и современных методов.
P11	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии; использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности.

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

Институт Электронного обучения  
 Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника  
 Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ТПТ  
 \_\_\_\_\_ Кузнецов Г.В.  
 (Подпись)    (Дата)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
<b>3-5Б2Б1</b>	<b>Бицукова Светлана Сергеевна</b>

Тема работы:

<b>Модернизация системы подготовки воды для повышения долговечности котла КВГМ-100 ООО «Томскнефтехим» г. Томск</b>
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3565/с от 22.05.2017 г.
---	---------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2017 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.).*

Объектом исследования является система подготовки воды котла КВГМ-100 (котёл водогрейный газомазутный мощностью 100 Гкал/ч) на предприятии ООО «Томскнефтехим» в городе Томске. Котел должен обеспечивать непрерывную подачу горячего водоснабжения, используемую в целях промышленного, бытового и технологического назначения.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• изучить основные нормативные требования к эксплуатации водогрейных котлов и теплохимические условия их работы;</li> <li>• провести анализ условий формирования отложений на поверхности нагрева водогрейных котлов типа КВГМ-100.</li> <li>• изучить влияние физико-химических свойств отложений на эффективность и долговечность водогрейных котлов.</li> <li>• провести обзор методов и путей качественной подготовки воды на основе российских и зарубежных источников;</li> <li>• представить рекомендации по выбору способа модернизации системы водоподготовки котла типа КВГМ-100 для повышения эффективности и долговечности.</li> </ul>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Количество слайдов</p>
--	---------------------------

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>
---

Раздел	Консультант
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Кузьмина Н.Г., ст. преп. каф. менеджмента
<b>Социальная ответственность</b>	Гусельников М.Э., доцент каф. ЭБЖ

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>14.02.2017 г.</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Голдаев С.В.	к.ф.м.н.		14.02.2017 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б2Б1	Бицукова Светлана Сергеевна		14.02.2017 г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Б2Б1	Бицуковой Светлане Сергеевне

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТПТ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление</b>	теплоэнергетика и теплотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Для расчёта заработной платы принять среднемесячный оклад для руководителя (Профессор) и инженера в размере 30000 и 17000 руб. соответственно</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизации основных фондов: 20% Районный коэффициент 30%</i>
3. <i>Отчисления, использование системы налогообложения</i>	<i>Социальные отчисления 30% от ФОТ</i>

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Планирование работ и оценка времени выполнения</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Смета затрат на проект Смета затрат на оборудование</i>
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Сравнительный анализ выбора фильтра</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б2Б1	Бицукова Светлана Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Б2Б1	Бицукова Светлана Сергеевна

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТПТ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Модернизация системы подготовки воды для повышения долговечности котла КВГМ-100 ООО «Томскнефтехим» г. Томск</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Производственная безопасность</i>	<i>Анализ источников опасностей и вредностей -Рабочая зона помещения котельной -Технологическое оборудование -Технологический процесс</i>
<i>2. Экологическая безопасность:</i>	<i>Оценка ОиВПФ и средства защиты от них</i>
<i>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</i>	<i>Защита работающего персонала от шума и вибрации Защита работающего персонала от вредных выбросов Защита от поражения электрическим током</i>
<i>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i>	<i>ТК РФ, N 197 гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим кодексом. Опасные и вредные условия труда устанавливаются коллективным договором.</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>05.12.16</b>
---	-----------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Василевский М.В	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Б2Б1	Бицукова С.С.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 116 страниц, 22 источников, 13 рисунков, 25 таблиц, 25 формул.

Ключевые слова: водогрейный котел, долговечность, конвективная поверхность нагрева, водоподготовка, фильтры, отложения, накипь, теплоноситель.

Объектом исследования в рамках данной ВКР является система водоподготовки ВК газомазутного котла КВ-ГМ-100-150 на предприятии ООО «Томскнефтехим», требующая модернизации из-за отрицательных факторов, влияющих поверхность нагрева.

Цель работы – модернизация существующей системы водоподготовки котла для уменьшения отрицательного влияния образуемых на поверхности нагрева отложений и увеличения долговечности конструкции в целом.

В данной работе были рассмотрены физико-химические процессы на поверхностях нагрева водогрейных, их влияние на надежность работы и ресурс котельных агрегатов.

В процессе исследования проводился анализ влияния отложений на работу оборудования котельных и выявление причин их формирования.

В результате исследования было выявлено влияние отложений и коррозии поверхностей нагрева водогрейных котлов и найдены способы их максимального снижения их влияния.

Экономическая эффективность работы: данная работа имеет важное значение, так как в целом направлена на решение актуальной задачи – обеспечение надежности и долговечности котельного оборудования.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	11
1 СХЕМЫ И ТЕПЛО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВГМ-100- 150 .....	15
1.1 Назначение и конструктивные особенности водогрейного котла .....	15
1.2 Особенности физико-химических условий эксплуатации водогрейных котлов типа КВГМ -100.....	18
1.3 Образование отложений накипи в ВК .....	24
1.4 Способы повышения эффективности и долговечности ВК.....	29
1.4.1 Конвективная поверхность теплообмена.....	30
2 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ НАГРЕВА ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ .....	44
2.1 Обзор эксплуатационных данных по интенсивной коррозии и формированию отложений в поверхностях нагрева водогрейных котлов КВГМ -100 .....	44
2.2 Защита от коррозии и отложений внутренних поверхностей оборудования котельных. ....	47
3 ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТЛОЖЕНИЙ И ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ВК .....	52
3.1 Влияние качества воды на работу котла.....	52
3.2 Нормы качества питательной, сетевой, подпиточной котловой воды. ....	53
3.3 Методы и схемы водоподготовки для ВК КВГМ – 100.....	55
4 МОДЕРНИЗАЦИЯ ВК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ .....	73
4.1 Анализ исходной воды .....	73
4.2 Основные решения по технологии очистки и подготовки воды.....	76
4.3 Электротехнические решения и автоматизация. ....	82
4.4 Технологические трубопроводы. ....	83
4.5. Требования к помещению для установки оборудования и инженерному обеспечению.....	83
4.6 Основные требования для реализации проекта. ....	84
4.7 Эксплуатация ВПУ. Мероприятия по охране труда и технике безопасности. ....	86
4.8 Ремонт оборудования. ....	88
4.9 Технико-экономические показатели.....	94
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ .....	96

5.1 Планирование работ и их временная оценка .....	96
5.2 Смета затрат на проектирование .....	97
5.2.1 Материальные затраты .....	97
5.2.2 Амортизация компьютерной техники .....	98
5.2.3 Общая заработная плата .....	98
5.2.4 Затраты на социальные отчисления .....	99
5.2.5 Прочие затраты (амортизация компьютерной техники, затраты на заработную плату, затраты на социальные отчисления и материальные затраты) .....	100
5.2.6 Накладные расходы.....	100
5.3 Смета затрат на реализацию проекта.....	101
5.4 Расчет ежегодных эксплуатационных издержек на содержание системы водоподготовки .....	102
5.4.1 Годовые амортизационные отчисления .....	102
5.4.2 Годовые затраты на заработную плату .....	102
5.4.3 На отчисления единого социального налога (ЕСН) .....	103
5.4.4 Годовые затраты на текущий ремонт .....	103
5.4.5 Накладные расходы.....	103
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	105
6.1 Безопасность производственной деятельности .....	105
6.2 Оценка ОиВПФ и средства защиты от них .....	107
6.3 Мероприятия по защите от вредных и опасных факторов .....	110
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	112
Заключение.....	114
Список литературы.....	115

## **ВВЕДЕНИЕ**

В энергетике понятие модернизации относится к оборудованию, находящемуся в эксплуатации и требующему по разным причинам изменения первоначальных конструктивных решений. Модернизация предусматривает изменение схемы или узлов действующего оборудования в соответствии с новыми требованиями, обеспечивающими улучшение показателей работы, повышение надежности, снижение энергетических и материальных затрат и трудовых ресурсов при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. Модернизацию проводят также при моральном износе, или переводе ТЭС на другие (недефицитные) виды топлива, сырья и материалов [1].

За последний период с 1995-2015 гг., на страницах академических журналов и периодической печати появилось ряд статей, посвященных модернизации теплоэнергетического оборудования. Это связано с тем, что на настоящий момент изменились требования, предъявляемые к котельным агрегатам (КА), появились новые конструктивные решения, внедряя которые можно значительно улучшить технические характеристики, повысить коэффициент полезного действия, и тем самым получить экономический эффект. А строительство новых КА повлечет за собой значительные капиталовложения, которыми не каждый собственник и обладает.

В настоящей дипломной работе рассматривается вопрос модернизации системы водоподготовки водогрейного котла (ВК) ст. №7 тип КВ–ГМ–100–150, установленного на промышленной площадке ООО «Томскнефтехим». В настоящий момент КА выведен из эксплуатации, ввиду того, что нуждается в капитальном ремонте. Причина выхода из строя – повреждение конвективной поверхности нагрева состоящей из труб малого диаметра (Тр. 28×3 мм) с тесным шахматным расположением в пучке. Трубы такой поверхности нагрева особенно подвержены процессам накопления внутренних отложений и внутренней коррозии, которые только усиливаются в результате неполной дренируемости при сливе воды.

Источниками водоснабжения для питания котлов являются пруды, реки, озера, так же используются грунтовые и артезианские воды, в нашем случае главным источником в качестве исходной или сырой воды является вода из реки Томь. В составе природных вод имеются механические примеси минерального или органического происхождения, поэтому без предварительной очистки и подготовки природные воды не пригодны для питания котлов. Важную роль в борьбе с образованием отложений и коррозии металла труб играет система подготовки питательной и подпиточной воды, спроектированная в зависимости от характеристик качества воды в источнике водоснабжения. Система водоподготовки котла КВ–ГМ–100–150, установленного на площадке ООО «Томскнефтехим» не справляется со своей задачей, поэтому требуется поиск новых путей и методов в комплексе, для решения вопроса очистки воды и максимальной защиты конвективной поверхности нагрева от влияния накипи и отложений.

Цель выпускной квалификационной работы (ВКР) – модернизация существующей системы водоподготовки котла для уменьшения отрицательного влияния образуемых на поверхности нагрева отложений и увеличения долговечности конструкции в целом.

Объектом исследования в рамках данной ВКР является система водоподготовки ВК газомазутного котла КВ-ГМ-100-150 на предприятии ООО «Томскнефтехим», требующая модернизации из-за отрицательных факторов, влияющих на поверхность нагрева.

Методы исследования

- Поиск, сбор и анализ информации по выбранной теме;
- Изучение и рассмотрение опыта по эксплуатации и методов борьбы с отрицательными факторами работы котлов, описанных в статьях академических журналов и периодической печати, посвященных модернизации теплоэнергетического оборудования;
- По результатам проведенного анализа, выбор ключевых мероприятий и применение их в отношении объекта исследования;

- Проведение расчетов основных технических параметров системы водоподготовки питательной и сетевой воды и выбор подходящего оборудования;

- Разработка требований по производственной, экологической безопасности эксплуатации объекта исследования и безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций на основе нормативно-технической документации;

Материалы данной ВКР представлены впервые.

При написании данной ВКР были использованы нормативно-технические документы, научная и учебно-методическая литература.

Основными источниками информации являлся: ряд статей, посвященных модернизации теплоэнергетического оборудования, опубликованных до 2016 года; Рихтер Л. А. и др. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов; Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике; Чебанов С.Н. Водоподготовка и водный режим электрических станций; Ларин Б.М., Бушуев Е.Н. Основы математического моделирования химико-технологических процессов обработки теплоносителя на ТЭС и АЭС.

#### **Определения, обозначения, сокращения:**

В данной ВКР применены следующие термины с соответствующими определениями:

*Модернизация* – обновление объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества.

*Водоподготовка* – обработка воды, поступающей из природного водоисточника, для приведения её качества в соответствие с требованиями технологических потребителей. Водоподготовка заключается в освобождении воды от грубодисперсных и коллоидных примесей и содержащихся в ней солей, тем самым предотвращая отложение накипи, унос

солей паром, коррозии металлов, а также загрязнение обрабатываемых материалов при использовании воды в технологических процессах.

АЭС – атомная электрическая станция;

ВК – водогрейный котел;

ВП – водоподготовка;

ДГ – дымовые газы;

КА – котельный агрегат;

КВГМ – котел водогрейный газо-мазутный;

КВР – кислородно-водный режим;

КПН – конвективная поверхность нагрева;

КУ – котельная установка;

КШ – конвективная шахта;

ОК – отопительный котел;

ТН – теплоноситель;

ТС – тепловая сеть;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ТЭС – тепловая электрическая станция;

ПТЭ – правила технической эксплуатации;

РД – руководящий документ;

РГМГ – ротационная газомазутная горелка;

КПН – конвективная поверхность нагрева;

ПС – продукты сгорания;

ПТВМ – пиковый теплофикационный водогрейный на мазуте;

ТК – топочная камера.

# 1 СХЕМЫ И ТЕПЛО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВГМ-100- 150

## 1.1 Назначение и конструктивные особенности водогрейного котла

Газомазутный котел теплопроизводительностью 100 Гкал/ч выполнен по П-образной сомкнутой компоновке газоходов и применяется для подогрева сетевой воды как в отопительном режиме (70÷150)°С, так и в пиковом (100÷150)°С. Котлы данной серии могут быть использованы для подогрева воды до 200°С. Топочная камера (ТК) с восходящим потоком продуктов сгорания (ПС) выполнена призматической формы с размерами 5696×6208 мм (ширина и глубина топки по осям экранных труб). Стенки котла и задняя стена конвективной шахты (КШ) закрыты экранами из труб диаметром 60×3 мм с шагом 64 мм. Конвективная поверхность нагрева (КПН) котла состоит из трех пакетов. Каждый пакет набирается из U-образных ширм, выполненных из труб диаметром 28×3 мм. Ширмы в пакетах расположены параллельно фронту котла и расставлены таким образом, что их трубы образуют шахматный пучок с шагом  $S_1=64$  мм и  $S_2=40$  мм. Боковые стены КШ закрыты трубами диаметром 83×3,5 мм с шагом 128 мм, служащими одновременно стояками ширм. Стояки сдвинуты друг относительно друга на 64 мм, что обеспечивает возможность размещения ширм в плане шахты в виде гребенок с указанными выше шагами шахматного конвективного пучка. Все трубы, образующие экранные поверхности котла, вварены непосредственно в коллекторы диаметром 273×11 мм.

Для удаления воздуха из трубной системы при заполнении котла водой на верхних коллекторах установлены воздушники. Взрывные предохранительные клапаны размещены на потолке ТК. Для удаления наружных отложений с труб КПН котел оборудуется дробеочистительной установкой.

Котел выполняется в бескаркасном варианте. Нижние коллекторы фронтального, промежуточного и заднего экранов, а также боковых стен КШ

опираются на портал. Опора, расположенная в середине нижнего коллектора промежуточного экрана, является неподвижной. Нагрузка от боковых экранов ТК передается через переднюю и заднюю стенки котла и частично через специальную ферму, установленную на портале. Технические параметры котла приводятся в таблице 1.1

Таблица 1.1 - Технические параметры котла КВГМ–100.

Наименование параметра	Величина
1. Теплопроизводительность, МВт (Гкал/ч)	116,3 МВт
2. Рабочее давление	0,98÷2,45 МПа
3. Расход топлива: газ	12520 м <sup>3</sup> /ч
Мазут	11500 кг/ч
4. Объем топочной камеры	388 м <sup>3</sup>
5. Лучевоспринимающая поверхность	325 м <sup>2</sup>
6. Теплонапряжение топочного объема, Ккал/(м <sup>3</sup> ·ч)	280×10 <sup>3</sup>
7. Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности: газ,	135 МВт/м <sup>2</sup>
Мазут	159 МВт/м <sup>2</sup>
8. Поверхность нагрева конвективных пучков	2385 м <sup>2</sup>
9. Температура уходящих газов: газ	160 °С
Мазут	180°С
10. КПД котла: газ,	92,5 %
Мазут	91,3 %
11. Расход воды через котел: основной режим	1235 т/ч
пиковый режим	2460 т/ч
12. Гидравлическое сопротивление: основной режим	0,165 МПа
пиковый режим	0,079 ММПа <sup>2</sup>
13. Сопротивление газового тракта котла	120 мм. вод. ст.
14. Сопротивление воздушного короба с горелками.	310 мм. вод. ст
15. Глубина топки	6240 мм
16. Глубина конвективной шахты	3168 мм
17. Длина котла $L_3$	9558 мм
18. Длина котла (включая площадки)	14160 мм
19. Температура воды на входе в котел	70÷110 °С
20. Температура воды на выходе из котла	150 °С
21. Давление перед горелкой: газа, кПа	40
мазута, кПа	200
22. Число горелок	3 шт
23. Масса в объеме поставки	127 000 кг

На рисунке 1.1 изображен ВК серии КВГМ-100–150.

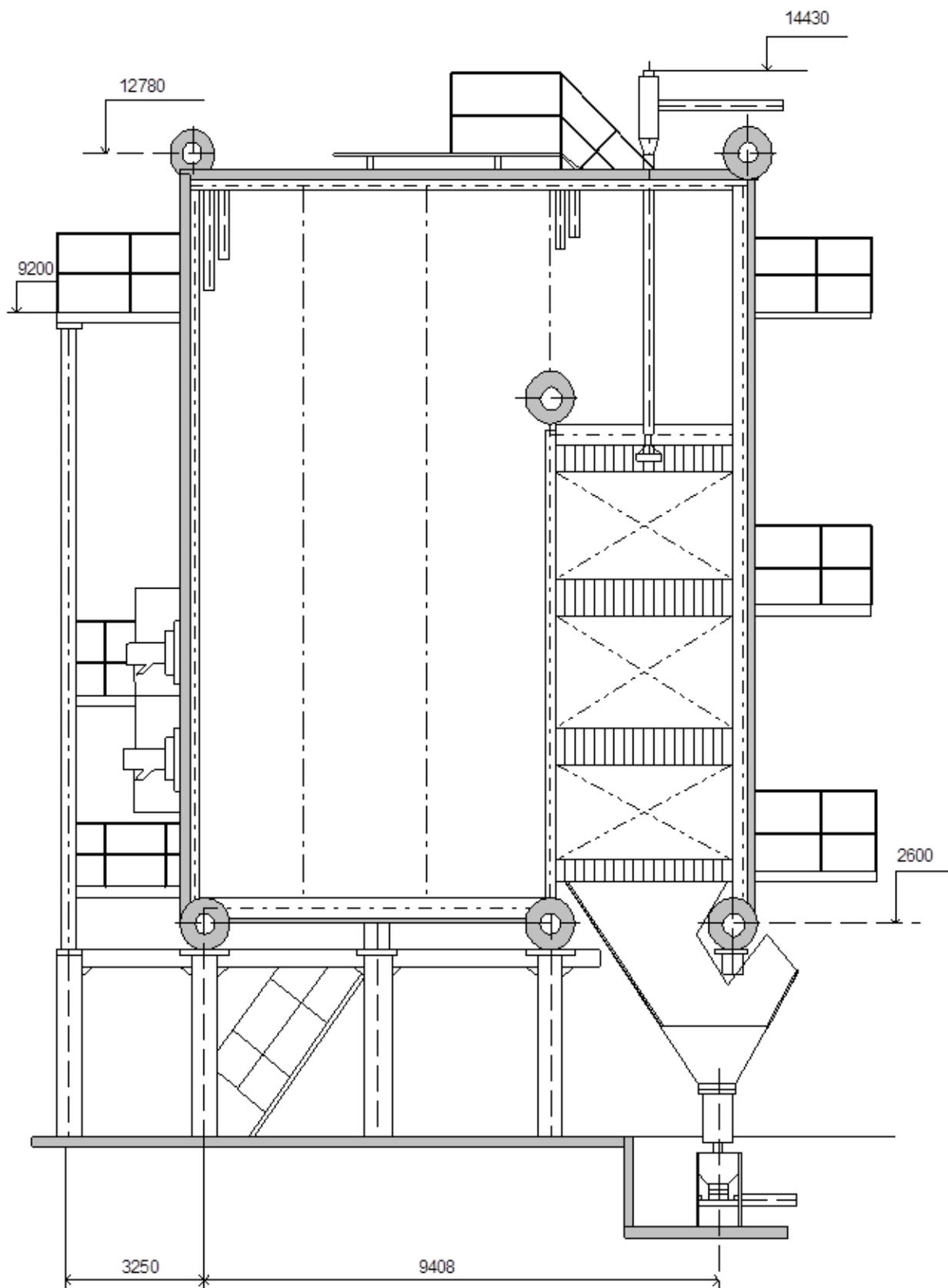


Рисунок – 1.1 Водогрейный котел КВГМ-100-150

Обмуровка котла облегченная (надтрубная, толщина около 110 мм), состоит из трех слоев: шамотобетон, совелитовых плит и минераловатных матрасов и магнезиальной обмазки. Котел рассчитан на работу с уравновешенной тягой, поэтому он оборудован дутьевым вентилятором и дымососом. Из-за некоторых недостатков в конструкции мощность ВК ограничена, в связи с чем, имеется запас по производительности тягодутьевых механизмов.

## **1.2 Особенности физико-химических условий эксплуатации водогрейных котлов типа КВГМ -100**

При изучении опыта эксплуатации ВК был выявлен ряд присущих им конструктивных недостатков и нарушений режима эксплуатации, что особенно заметно при использовании мазута в качестве основного топлива. Важное значение при совершенствовании конструкций и разработке способов повышения надежности оборудования имеют данные о структуре и составе внутренних отложений, позволяющие получить информацию об особенностях теплехимических условий их эксплуатации.

Для понимания были рассмотрены результаты физико-химического анализа внутритрубных поверхностей нагрева котла КВГМ – 100 Самарской ГРЭС [3]. Котел работал на газе в основном режиме в течение 29000 часов при температурном графике 90/120<sup>0</sup>С и давлении 1,35/1,05 МПа, в результате чего обеспечивался существенный запас до температуры кипения при данном давлении.

На рисунках 1.2 и 1.3 показаны схемы движения с указанием скоростей перемещения воды в котле в основном и пиковом режимах работы. Обозначения составных элементов следующие: 1 – фронтальной экран; 2 – боковые экраны; 3 – промежуточный экран; 4 – конвективная часть и боковые экраны; 5 – задний экран конвективной шахты; 6 – коллектор дренажа;  стрелками указаны направления движения воды,  – верхние коллектора,  – нижние коллектора.

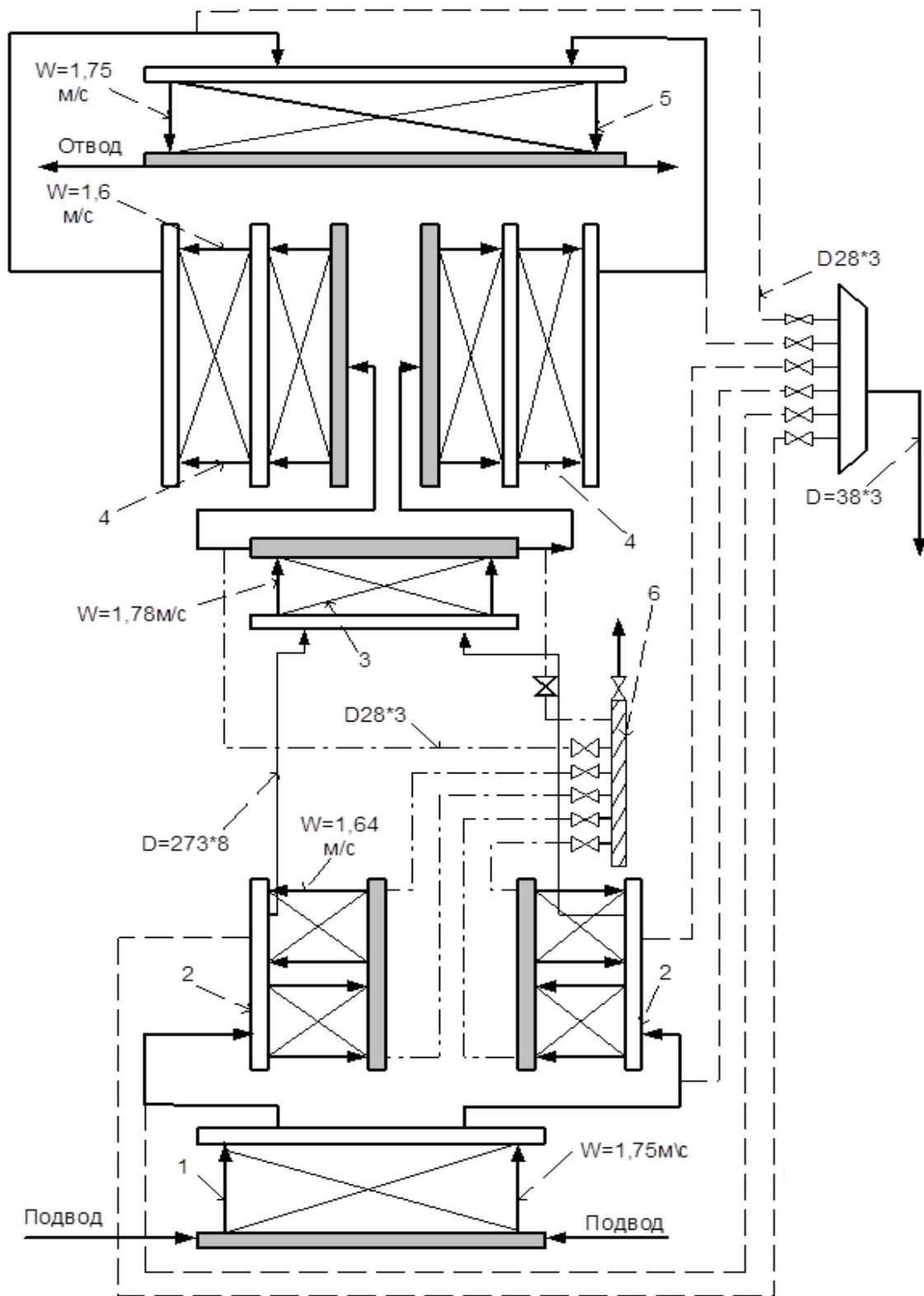


Рисунок 1.2 – Схема движения воды в котле КВГМ-100-150. Основной режим.

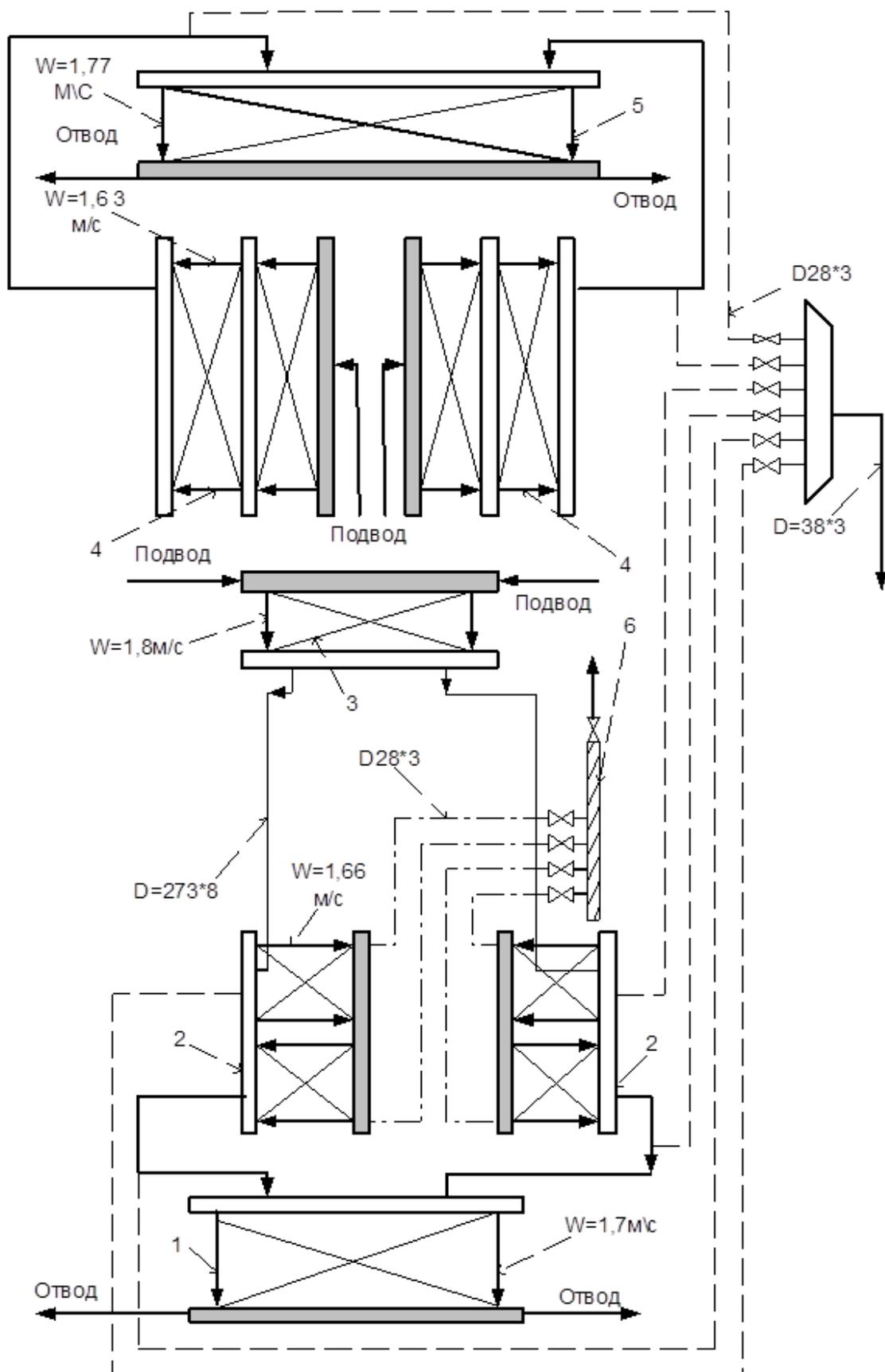


Рисунок 1.3 – Схема движения воды в котле КВГМ-100-150. Пиковый режим.

Сравнение расчетного значения карбонатного индекса для нагреваемой воды с нормативными показателями показало, что безотказная работа котла возможна примерно до 140<sup>0</sup>С. Однако в конце компании гидравлическое сопротивление водяного тракта увеличилось до 0,36 МПа. При этом были отмечены отдельные повреждения труб конвективной части.

Оценка удельной загрязненности вырезанных образцов труб показала, что количество отложений от правого до левого бокового экрана увеличилось с 994 до 2692 г/м<sup>2</sup>. В конвективной части максимальные отложения наблюдались на правой стороне нижнего пакета (1692 г/м<sup>2</sup>) и секции №18 верхнего пакета (2606 г/м<sup>2</sup>). Внутренняя поверхность металла в экранных трубах после удаления отложений была покрыта язвинами глубиной до 1,5 мм, в конвективных пакетах – до 0,5 мм. По данным оперативного контроля, содержание кислорода в нагреваемой воде составляло 170-300 мкг/л, а продуктов коррозии – 0,32-0,4 мг/л, что превышало нормативные показатели [2].

Данные химического анализа отложений из поврежденной трубы верхнего конвективного пакета (таблица.1.2) свидетельствовали о том, что основными их компонентами являются соединения кальция и магния.

Таблица 1.2. Химический состав отложений (верхний пакет)[2]

Удельная загрязненность, г/м <sup>2</sup>	Оксидный состав, % по массе					
	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
2606	13,8	24,1	8,2	12,9	10,0	4,2
Потери при прокаливании	Вероятные формы соединений, % по массе					
	CaSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Серпентин	Mg(OH) <sub>2</sub>	MgCO <sub>3</sub> 2H <sub>2</sub> O	NaCl
27	13,9	14,4	29,7	5,1	23,7	4,0

Пересчет оксидного состава на характерные для ВК типы соединений показал, что на данном участке трубы основное количество магния может быть связано в форме серпентина и барингтонита  $MgCO_2 \cdot 2H_2O$ , кальция – в виде сульфата и карбоната. Отмечено также присутствие заметного количества натрия, видимо, в форме  $NaCl$ , что может свидетельствовать о высокой степени концентрирования и кристаллизации хорошо растворимых соединений на данном участке, например, в результате пристенного кипения [2].

Для получения информации о структуре отложений был проведен комплексный физико-химический анализ внутренних отложений из трубы верхнего конвективного пакета [2].

Конструктивные недостатки котлов и не строгое соблюдение норм ПТЭ создают благоприятные условия для возникновения поверхностного кипения на отдельных участках и способствуют накоплению солей и продуктов коррозии на участках температурной разверки, особенно в зонах с повышенной тепловой нагрузкой. Обычно оксиды железа присутствуют в воде при низкой температуре в форме гематита  $Fe_2O_3$ , но при повышенных тепловых нагрузках возможны возникновение микропары и образование магнетита  $Fe_3O_4$ .

Результаты расчетов показали, что тепловая нагрузка на входе газов в горячий конвективный пакет может достигать  $0,17-0,21 \text{ кВт/м}^2$ , а температура внутренней поверхности –  $186^\circ\text{C}$  [2]. С учетом разверок температура в отдельных трубах может на  $20^\circ\text{C}$  и более превышать среднюю, т.е. даже в чистых (без отложений) трубах возможно поверхностное кипение. В реальных условиях внутренняя поверхность труб покрыта отложениями. Теплопроводность железистоокисных отложений может колебаться в зависимости от условий однозначности в пределах  $1-35 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . При оценке теплопроводности собственно «скелета» магнетитовых отложений в  $5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  даже относительно небольшая толщина слоя ( $\delta = 0,5 \text{ мм}$ ) способна обусловить наличие поверхностного кипения в ряде труб выходного конвективного пакета. В режиме поверхностного кипения в слое отложений

происходит резкое ухудшение условий теплообмена, сопровождающееся местным концентрированием агрессивных примесей и увеличением скорости коррозии. В зависимости от конкретных теплехимических условий может преобладать либо тепловой, либо химический механизм повреждения трубы, но чаще всего они взаимно дополняют один другого.

В реальных условиях внутренняя поверхность труб изначально покрыта слоем железоксидных отложений, образовавшихся в результате стояночной коррозии. В процессе эксплуатации котла происходит увеличение толщины слоя из-за поступающих с теплоносителем продуктов коррозии и местной коррозии.

Увеличение толщины слоя, снижение пористости и размеров паровых и жидкостных каналов способствуют при данных теплогидравлических условиях концентрированию примесей на границе раздела металл – отложения. Высокие концентрации агрессивных примесей стимулируют местную коррозию и развитие повреждений. Поступающие продукты коррозии и кристаллизующиеся из теплоносителя (ТН) соли приводят к уменьшению проходных сечений каналов, их закупорке и, в конечном счете, к уплотнению слоя. Последующие слои отличаются меньшей плотностью и большим количеством солевых компонентов. Одновременно происходит повышение термического сопротивления слоя, особенно резко проявляющееся при парообразовании и заполнении пор паровой фазой. При этом возрастает температура стенки и намечается тенденция к увеличению деформации стенки и последующему разрушению трубы, как правило, на ослабленных участках [2].

Основной причиной повреждаемости труб ВК являются теплогидродинамические разверки, обусловленные, с одной стороны, конструктивными особенностями котла и работой горелочных устройств, а с другой – значительными отложениями на внутренних поверхностях труб, что в свою очередь вызвано неудовлетворительной промывкой последних и

стояночной коррозией. Поэтому даже улучшение качества ТН путем глубокого умягчения не способно привести к повышению долговечности работы теплообменных поверхностей, так как этому мешает процесс концентрирования отложений в пористой структуре.

Вывод: для повышения долговечной работы теплообменных поверхностей ВК необходима разработка конструкций, обеспечивающих полное отсутствие или минимальные теплогидродинамические разверки, а также соответствующих горелочных устройств и т.д. В процессе эксплуатации оборудования целесообразно осуществлять мероприятия по снижению стояночной коррозии, его качественные промывки, особенно перед началом эксплуатации, контроль качества ТН. Одним из альтернативных решений может быть двухконтурная схема подогрева сетевой воды в промежуточном теплообменнике.

### **1.3 Образование отложений накипи в ВК**

Основной причиной частых разрушений котельных секций, вызывающих аварийный выход котлов, являются отложения (накипеобразование) солей жесткости на внутренней поверхности секций, приводящие к значительному повышению температур радиационной поверхности и термических напряжений до предельных величин. Для выработки практических путей снижения накипеобразования были проведены исследования в стендовых и промышленных условиях [3]. Было установлено, что образование твердой фазы на поверхности теплообмена является результатом кристаллизация из раствора при достижении пересыщения его в пристенном слое, т.е. при  $C > Pt_{ст}$ , где  $C$  – концентрация раствора в потоке,  $Pt_{ст}$  – растворимость при температуре стенки  $t_{ст}$ . В обогреваемых каналах это условие достигается для растворов, растворимость которых снижается с ростом температуры. Выражение для удельного потока вещества, направленного к стенке  $j$ , кг/ (м<sup>2</sup>), имеет вид:

$$J = A \cdot (C - Pt_{ст}) - j_{сн}, \quad (1.1)$$

где  $A$  – коэффициент, характеризующий интенсивность массообмена в канале,  $\text{кг}/(\text{м}^2)$ ;  $C - Pt_{\text{ст}}$  – концентрационный напор;  $j_{\text{сн}}$  – поток сноса вещества, отложившегося на поверхности,  $\text{кг}/(\text{м}^2)$ , определяется гидродинамическим воздействием потока и адгезией слоев накипи.

Зависимость интенсивности процесса от условий теплообмена следует из того, что  $Pt_{\text{ст}}$  – зависит от  $t_{\text{ст}}^{\text{вн}}$ , которая определяется теплообменом ( $q$ ,  $\alpha$ ,  $t_{\text{в}}$ ). Трудность расчета и прогнозирования процесса связана с тем, что величина характеристики процесса  $A$ , определяемая гидродинамикой в секции, зависит от многих условий (геометрии и размеров канала, скорости потока, положения канала в поле сил тяжести). Котловые воды и воды тепловых сетей (ТС) представляют собой многокомпонентные растворы, содержащие множество солей, что вносит определенные особенности.



Рисунок 1.4 – Разрыв труб конвективного пучка в результате образования большого количества отложений

Для разработки метода прогнозирования накипеобразования и путей борьбы с ним проведены измерения накипи в вышедших из строя чугунных секциях отопительных ВК [3]. Измерения дали возможность оценить значения температуры стенки и термических напряжений в секциях перед их разрушением при осаждении накипи. Секции вышли из строя из-за образования трещин на радиационной (топочной) поверхности. Котел ГАЗ – 900 работал с полной нагрузкой до разрушения более месяца ( $\tau = 800$  ч), жесткость подпиточной воды из артезианской скважины составляла 12 мг-экв/л. Котел «Факел» работал 8 месяцев, из них с полной нагрузкой 2 месяца ( $\tau = 1450$  ч), жесткость воды составляла 6,3 мг-экв/л. Основным компонентом накипи является  $\text{CaCO}_3$ , плотность слоя накипи составляет  $\rho_{\text{нр}} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности накипи  $\lambda_{\text{н}} = 1,4$  Вт/(м).

Для нахождения зависимости (1.1) в этих условиях определялся температурный режим поверхности секций. Исходные значения «чистой» внутренней поверхности или  $t$  на поверхности раздела накипь поток воды рассчитывались из условий теплообмена:

$$t_{\text{ст}}^{\text{BH}} = t_{\text{в}} + q/\alpha, \quad (1.2)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура потока воды;  $q$ ,  $\alpha$  – локальные значения плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи от стенки к воде.

Повышение  $q$  в углах сечения и в области ребер вызвано концентрацией тепловых потоков (высота ребер 12 мм, основание их 10 мм, толщина стенки секций 8-10 мм). Принято, по данным теплотехнических испытаний и теплового расчета, что для котла ГАЗ – 900  $q_0 = 83$  кВт/м<sup>2</sup> (для котла «Факел»  $q_0 = 66$  кВт/м<sup>2</sup>, топочная поверхность которого меньше); плотность тепловых потоков на конвективной поверхности составляет 16-20 кВт/м<sup>2</sup>;  $t_{\text{в}} = 60^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha = 2,5$  кВт/ (м<sup>2</sup>); расчетная скорость воды  $w = 0,03$  м/с. Рассчитанные значения  $t_{\text{ст}}$  для чистых поверхностей сопоставлялись с данными, полученными при испытаниях ВК при температуре воды 70...97<sup>0</sup>С.

Из результатов следует соответствие между исходной температурой и толщиной слоя накипи. Расчетная температура наружной поверхности секции с накипью для котла ГАЗ – 900 достигает  $600^{\circ}\text{C}$  и более [3].

Значения концентрационных напоров С-Р рассчитывалось по  $\text{CaCO}_3$ . Исходя из того, что на тыльной необогреваемой стороне секций отложений нет, принималось по кривой растворимости  $\text{CaCO}_3$   $C = 75$  мг/кг (для котла «Факел» 65 мг/кг). Результаты сопоставления интенсивности накипеобразования, в частности результирующих удельных потоков вещества на стенку  $j - j_{\text{сн}}$ , определенных по опытным данным, и соответствующих значений концентрационного напора из которого следует, что данные по обоим котлам удовлетворяют общую зависимость [3]. По этим данным,  $A = 1200$  кг/(м<sup>2</sup>) (0,33 кг/м<sup>2</sup>). Для  $\text{CaCO}_3$ , имеющего значительную величину адгезии, снос отложений можно не учитывать.

Полученные экспериментальные данные позволили разработать метод расчета для прогнозирования отложений в отопительных котлах (ОК), состоящий в определении скорости роста температуры секций вследствие образования отложений накипи [3].

$$\frac{\Delta t}{\tau} = \frac{qA \cdot (C - P_{\text{ст}})}{(p \cdot \lambda)_n}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta t$  – перепад температур в слое накипи,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $(p \cdot \lambda)_n$  – плотность и теплопроводность слоя накипи;  $\tau$  – продолжительность работы котла, ч.

При этом необходимо иметь данные по локальным значениям  $q$  и  $A$  для определенных типов котлов и данные по температурной зависимости  $P = f(t)$  для солей жесткости. Используя выражение (1.3), можно определить максимальную продолжительность работы котла до промывки, приняв предельной для чугунных секций температуру  $t = 600^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta t = 500^{\circ}\text{C}$ ) [3].

Для борьбы с накипеобразованием в ОК необходимо снизить локальную плотность тепловых  $q$ , увеличив топочную поверхность нагрева и исключив резкие углы профиля сечения и ребер, являющихся

концентраторами  $q$ . Предложено снизить высоту ребер и перенести их в глубь боковых поверхностей. Однако путь снижения  $q$  ограничен, а более перспективно повысить за счет снижения температуры стенки. Для этого необходимо увеличить скорость циркуляции воды в радиационных каналах, выполнить каналы прямыми, ликвидировать зоны с вихревым движением. Эти рекомендации осуществлены в конструкции котла «Кировец», где достигнута безнакипная работа секций. Скорость циркуляции воды в секциях повышена до 0,5 м/с за счет последовательного соединения пакетов и секций по ходу воды, что резко снизило и обеспечило безаварийную работу котлов в течение 5-6 лет [3].

Снижение концентрации жесткости воды  $C$  оказывается перспективным, если использовать предложенную замкнутую гидравлическую схему котельной, отделенную от отопительной сети водоводяными бойлерами. Организация такой схемы ликвидирует подпитку необработанной воды в котлы, т.е. обеспечивает снижение исходной концентрации солей жесткости в котловой воде и позволяет обойтись без химической водоочистки в котельных [3]. Таким образом, описанный метод прогнозирования отложений в ОК позволяет рассчитать температурный режим поверхностей нагрева в условиях накипеобразования и выбрать пути борьбы с ним.

#### **1.4 Способы повышения эффективности и долговечности ВК.**

За длительный период эксплуатации ВК в АО Мосэнерго накоплен достаточный статистический материал по показателям надежности поверхностей нагрева. Установлено, что рабочий ресурс конвективной части снижен в 2-3 раза по сравнению с ресурсом экранных труб. Это связано с тем, что возрастающее гидравлическое сопротивление ВК на 90% состоит из прироста гидравлического сопротивления конвективной части [4].

Годичный прирост эксплуатационных отложений на внутренних поверхностях нагрева, имеющих защитную оксидную пленку, составляет примерно  $30\text{ г/м}^2$ . Режим байпасного протока сетевой воды через ВК при сезонном летнем простое не обеспечивает защиты металла внутреннего объема котла от электрохимической коррозии. Скорость коррозии стали 20 в неподвижной сетевой воде составляет примерно  $0,05\text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ . Длительность консервации методом байпасного протока, равная 4000 часов, приводит к образованию  $200\text{ г/м}^2$  оксидов. Это количество оксидов эквивалентно реальному годовому накоплению отложений [4].

Таким образом, основная масса отложений образуется при сезонном летнем простое в результате консервации ВК методом байпасного протока.

Исходя из изложенного были сделаны следующие выводы:

1. Надежная и длительная эксплуатация ВК зависит от наличия на внутренних поверхностях нагрева качественной оксидной пленки.
2. Продолжительность коррозионного взаимодействия внутренних поверхностей нагрева ВК с сетевой водой следует сократить за счет исключения байпасного протока как метода консервации.
3. На период сезонного летнего простоя ВК целесообразно применить технологию консервации подогретым воздухом.

Для вновь вводимых в эксплуатацию ВК с целью увеличения длительности и повышения надежности эксплуатации поверхностей нагрева необходимо выполнить следующие технологические операции:

- предпусковую кислотную промывку методом «вялой» циркуляции;
- парокислородную пассивацию;
- консервацию ВК подогретым воздухом до включения его в работу.

При полной замене поверхностей нагрева ВК в капитальный ремонт технологические операции выполняются как для вновь смонтированного.

После проведения на ВК кислотной промывки целесообразно также выполнить парокислородную пассивацию и законсервировать котел подогретым воздухом.

Для сохранения защитной оксидной пленки, обеспечения минимального уровня накопления отложений на внутренних поверхностях нагрева при последующих остановках на период сезонного летнего простоя рекомендуются следующие технологические операции [4]:

- пароконденсатная очистка с разогревом поверхностей нагрева до температуры металла не ниже  $150^{\circ}\text{C}$ ;
- вентиляция внутреннего объема ВК воздухом;
- поддержание ВК в режиме консервации подогретым воздухом в течение всего сезонного простоя.

Качественное выполнение предлагаемых технологических операций с последующей консервацией ВК на период сезонного летнего простоя подогретым воздухом обеспечит накопление предельного количества отложений ( $1000 \text{ г/м}^2$ ) как минимум за 25-30 лет.

#### **1.4.1 Конвективная поверхность теплообмена**

Указанные ниже решения на примере котла ПТВМ в равной мере эффективны и для котлов типа КВГМ.

Современные системы централизованного теплоснабжения от ТЭЦ и котельных оснащены мощными газомазутными ВК типов ПТВМ и КВГМ, в

процессе эксплуатации которых был выявлен ряд существенных недостатков. В частности, ограничения по теплопроизводительности, низкая эксплуатационная надежность и неудовлетворительные экологические характеристики, что в основном обусловлено конструкцией самих котлов, не отвечающей современным достижениям котельного производства [5].

ОАО «Подольский машиностроительный завод» предлагает поставить модернизированные газомазутные ВК вместо существующих устаревших. Принципы их усовершенствования основаны на конструкторском и технологическом потенциалах завода, накопленных в теоретическом и экспериментальном материалах за предыдущие годы, а так же на продолжительном опыте внедрения новых поверхностей нагрева на котлах КВ-ГМ-30, ПТВМ-50, ТВГМ-30 и КВ-ТК-100 [5].

Новые решения основаны на использовании:

- конвективной поверхности нагрева из труб увеличенного диаметра с большей толщиной стенки, с наружными продольными и поперечными спиральными ребрами, обеспечивающей более эффективное использование топлива и увеличивающей ресурс эксплуатации в 2-3 раза;

- газоплотной мембранной конструкции экранов топки и конвективного газохода, которая позволяет работать с оптимальным избытком воздуха  $\alpha = 1,03 \dots 1,05$  под небольшим наддувом 400...500 Па в дополнение к естественной тяге дымовых труб для увеличения резерва мощности котлов при положительных температурах окружающего воздуха;

- газомазутной вихревой горелки, обеспечивающей устойчивую работу котла без химического недожога в требуемом регулируемом диапазоне с низкими выбросами оксидов азота;

- рециркуляции уходящих ДГ через дутьевые вентиляторы горелки в смеси с воздухом для гарантированного подавления оксидов азота (ниже нормированных значений) и подогрева дутьевого воздуха до положительных температур в зимнее время;

- тепло- и звукоизоляции наружных поверхностей экранов топки и конвективного газохода, позволяющих уменьшить тепловые потери в окружающую среду, снизить уровень шума и улучшить санитарно-гигиенические условия труда при монтаже и ремонте;

- в котлах ПТВМ меньшего числа горелок с общим дутьевым вентилятором для осуществления качественного регулирования теплопроизводительности (без отключения горелок) при меньших эксплуатационных потерях с более равномерным распределением тепловых потоков по стенкам топки.

При разработке новых решений для котлов ПТВМ-100М учитывались минимальные затраты на модернизацию и возможности поэтапной реализации, поэтому в модернизированных котлах (обозначены индексом «М») сохраняются компоновка поверхностей нагрева, габаритные и присоединительные размеры, каркас, система креплений поверхностей нагрева и гидравлическая схема для пикового и основного режимов эксплуатации.

Конвективная поверхность нагрева разработана в двух вариантах в зависимости от сжигаемого топлива (природный газ, мазут): комбинированная из труб наружными продольными и поперечными спиральными ребрами (вариант 1) – для работы на природном газе и газотурбинном жидком топливе, а также для кратковременной периодической работы на мазуте; мембранная из труб с наружными продольными ребрами (вариант 2) – для работы на мазуте как основном топливе.

На рисунке 1.5 показан модернизированный котел ПТВМ-100М с конвективной поверхностью нагрева по варианту 2, а в таблице 1.3 приведены ее сравнительные характеристики.

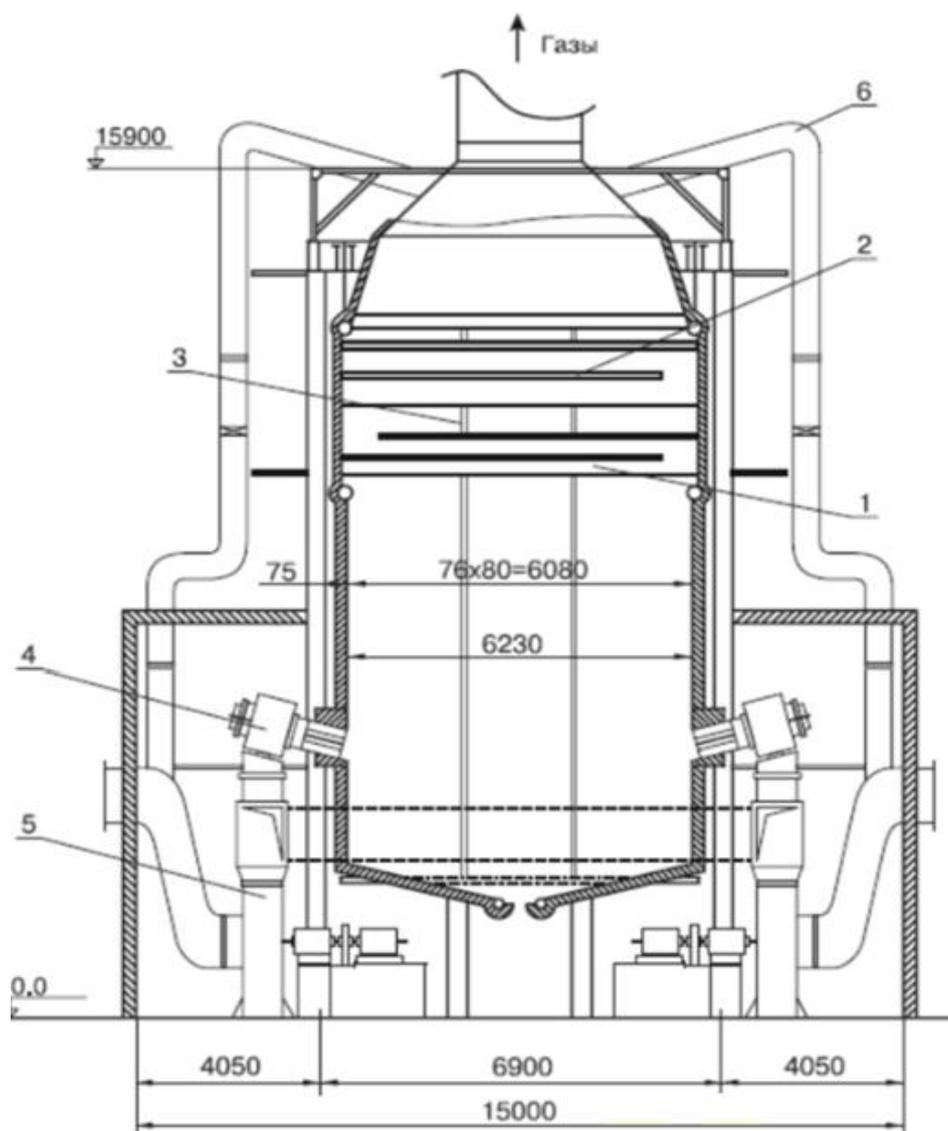


Рисунок 1.5 - Модернизированный котел ПТВМ-100М

где, 1- пакеты из мембранных панелей; 2 – пакеты из труб с наружным спиральным оребрением; 3 - экраны мембранные; 4 – горелки; 5 – вентиляторы; 6 – газопроводы рециркуляции.

Поверхность нагрева размещена в тех же габаритах конвективного газохода в виде двух пакетов с разрывом между ними высотой 600 мм. Набираются пакеты U-образными змеевиками из труб диаметром 38x4 мм стали 20. Шаг змеевиков в газоходе равен 64, поперечный шаг труб в шахматном пучке – 128 мм.

В верхнем пакете применяются трубы с наружным спиральным оребрением лентой 1x15 мм из стали 08КП (высота ребра 14 мм, шаг ребер 8 мм, диаметр оребрения 66 мм). Продольный шаг труб в пучке этого пакета составляет 42,5 мм.

Таблица 1.3 – Сравнительные характеристики конвективных поверхностей котла ПТВМ -100 до и после модернизации

Характеристика	Котел ПТВМ-100	Котел ПТВМ-100М	
		Вариант 1	Вариант 2
Трубы dхs, мм	28х3	38х4	38х4
Оребрение, мм:	-	5х20	5х20
Продольное bх2h	-	1х14х8	-
Поперечное bхhхt			
Шаг труб, мм:			
Поперечный S <sub>1</sub>	64	128	114
Продольный S <sub>2</sub>	33	29*;42,5**	29
Количество секций	96	96	108
Количество пакетов по высоте	2	2	3
Количество U-образных змеевиков-панелей	384	192	324
Число заходов труб в змеевике-панеле	6*;8**	6*;7**	6
Число труб по ходу газов	56	52	72
Высота поверхности нагрева (по осям крайних труб), мм	2450	2471	2527
Поверхности нагрева, м <sup>2</sup>	2930	6360	3478
Количество приварок труб к стоякам	5376	2496	3888
Расход воды при даухходовой схеме (пиковый режим), т/ч	2140	2140	2140

Продолжение таблицы 1.3

Массовая скорость воды в трубах, кг/(м <sup>2</sup> .с)	1351*;1025**	1460*;1251**	1298
Общая масса металла, т	64,6	80,9	98,9

\*Для нижнего пакета; \*\*Для верхнего пакета.

В нижнем пакете используются мембранные панели (трубы в змеевиках сварены между собой продольными полосами сечением 5x20 мм из стали 20). Продольный шаг труб в этом пакете 29 мм (шахматное расположение труб). Такое оребрение для верхнего и нижнего пакетов обусловлено требованиями экономичности и надежности и вызвано необходимостью снижения температуры уходящих газов и обеспечения нормального температурного режима труб. Приведенные в таблице 1.3 значения поверхности нагрева и массовой скорости воды в трубах отвечают этим требованиям.

Змеевики (панели) устанавливаются в газоходе по встречной перчаточной схеме. Концы их труб ввариваются в стояки из труб 83x4 мм стали 20. Вместе они образуют секции (96 секций в котле ПТВМ – 100 М). Стояки в свою очередь экранируют фронтную и заднюю стены конвективного газохода с шагом 128 мм. Другими концами змеевики (панели) опираются на ограждения газохода из труб диаметром 83x4 мм на длине пролета 6230 мм.

В секциях на длине пролета 6230 мм отсутствует прогиб труб, поэтому обеспечивается полная дренируемость. Достигается это использованием труб большого диаметра и применением специальных стоек для усиления жесткости змеевиков в верхнем пакете. С этой точки зрения мембранные панели вообще не нуждаются в усилении жесткости на такой длине пролета.

Площадь модернизированной КПН в 2,2 раза превышает старую. Соответственно температура уходящих газов в усовершенствованных котлах этого типа снижается до 146 0С при нормальной нагрузке, а в существующих котлах она составляет 180-185 0С. По КПД котла, значение которого с

учетом работы с оптимальными избытками воздуха  $\alpha = 1,03 \dots 1,05$  повышается на 3%, определяется реальная годовая экономия. Другим важным преимуществом новой КПН является высокая надежность, которая обеспечивается применением труб увеличенного диаметра с большей толщиной стенки, более благоприятным температурным режимом труб и меньшей вероятностью их закупорки внутренними отложениями, надежной дренируемостью труб и меньшим числом приварок труб к стоякам (количество стыков сокращается на 2880 в котле ПТВМ-100М). Расчетный ресурс модернизированной поверхности нагрева оценивается в 100 тысяч часов, существующей - 30-35 тысяч часов по средним статистическим данным эксплуатации.

При замене КПН требуется увеличение расхода металла на 16 тонн для котла ПТВМ-100. При сравнении существующей и модернизированной КПН за одинаковый за одинаковый срок службы 100 тысяч часов выявляется существенная экономия капитальных вложений.

По затратам на преодоление гидравлического и аэродинамического сопротивлений обе поверхности равноценны.

В конечном итоге достигается абсолютная экономия текущих эксплуатационных издержек на топливо, ремонт и замену КПН за расчетный срок службы.

В таблице 1.3 приведены характеристики мембранной КПН (вариант 2) для котла ПТВМ-100М. Поверхность нагрева образуют типовые секции – мембранные панели из U – образных труб диаметром 38x4 мм со стояками из труб диаметром 83x4 мм. Трубы сварены между собой в панелях полосами сечением 5x20 мм. Количество параллельно включенных труб в каждой панели равно шести. КПН состоит из трех одинаковых пакетов, имеющих шахматное расположение труб в пучке: продольный шаг составляет – 114 мм, поперечный – 29 мм. Вследствие уменьшения поперечного шага труб требуется поставка новых коллекторов.

Мембранные панели как сплошные стенки разделяют поток газов на плоские параллельные струи. Применение их в данном случае существенно упрощает осмотр каналов на всю глубину, поэтому в мембранной конструкции нет необходимости в разрывах между пакетами высотой 600 мм и более. Это позволяет разместить КПН в существующих габаритах газохода и избежать затруднений, связанных со снижением отметки нижних коллекторов на 600...800 мм.

Мембранная КПН предназначена преимущественно для работы на сернистых мазутах. В этом случае снижение температуры уходящих газов должно рассматриваться с учетом их коррозионной агрессивности.

Увеличение шага труб в мембранной КПН, имеющей более высокую температуру стенки труб из-за наличия в продольных рядах перегородок (полос), способствует уменьшению интенсивности образования отложений, повышению эффективности очистки и снижению коррозии. Благодаря этому допустимо снижение температуры уходящих газов на 20..30<sup>0</sup>С по сравнению с ее расчетным значением (220...230<sup>0</sup>С) для существующих котлов, что обеспечивается применением в предлагаемой поверхности нагрева устройств сухой очистки струйными методами (пар, воздух). Такое уменьшение температуры газов при работе котла с малыми избытками воздуха  $\alpha = 1,03...1,05$  и применении рециркуляции газов в смеси с воздухом не усиливает коррозию газоходов.

Опыт эксплуатации и результаты исследований сернокислотной коррозии труб подтвердили эффективную работу мембранной КПН в ВК. При сжигании мазута с содержанием серы 1,6...2,3% скорость коррозии труб составила не более 0,3 г/(м<sup>2</sup>· ч), расчетный ресурс – не менее 78 тысяч часов, для труб 38x4 мм. Ресурс существующей КПН из гладких труб 28x3 мм составляет 21тысяч часов, а скорость коррозии – 0,75 г/( м<sup>2</sup>· ч) [5].

Несмотря на повышение единовременных затрат металла на 34 тонны для котла ПТВМ-100М применение мембранной КПН выгодно, так как при

этом уменьшаются потери с уходящими газами, повышается коэффициент использования мощности КА и снижаются затраты на ремонт и восстановление поверхности нагрева.

Для ВК предлагаются газоплотные экраны из мембранных панелей (трубы сварены с помощью полос). Для панелей экранов топки рекомендуются трубы диаметром 60x4 мм и полосы прямоугольного сечения 60x4 и 83x4 мм. Последние с помощью специальных профильных полос свариваются между собой с шагом 128 и 114 мм.

Панели образуют газоплотную коробку ТК и конвективного газохода. Она рассчитана на восприятие внутренней нагрузки от наддува до 400...500Па и возможного взрыва («хлопка»). Усиление прочностных характеристик коробки достигается путем применения наружных бандажей. Для обеспечения газоплотности мест примыкания горелок и гарнитуры к экранам и прохода труб через экраны используются апробированные стандартные конструкции.

Размеры топок в горизонтальном сечении рассматриваемых котлов обусловили число параллельно включенных труб с шагом 80 мм (в экранах существующих котлов шаг труб составляет 64 мм) и соответственно массовую скорость воды в трубах. Ее значение увеличится с 1350 до 1800 кг (м<sup>2</sup>) по сравнению с трубами гладких экранов. Гидравлическое сопротивление экранов при этом возрастает на 14 кПа, что компенсируется заметным улучшением температурного режима труб.

Холодная воронка топки котла ПТВМ – 100 в основном предназначена для сжигания в ней твердых топлив в пылевидном состоянии. Поэтому для газомазутных топок в соответствии с их назначением целесообразно заменить холодную воронку подом с углом наклона скатов фронтального и заднего экранов до 7° к горизонту. Одновременно с этим следует снизить уровень размещения горелок. В топке с мембранными экранами учтены эти предложения. Как показывают проработки, осуществление таких мероприятий обеспечит повышение теплопроизводительности котла до 20%

при соответствующем увеличении расхода воды и топлива при нормированной величине приращения температуры воды. Температура газов на выходе из топки в этом случае не превысит значения, которое имел бы существующий ВК с номинальной теплопроизводительностью. В котле с неизменной теплопроизводительностью температура газов на выходе из топки понизится примерно на  $100^{\circ}\text{C}$  (до  $1200\dots1220^{\circ}\text{C}$ ).

Котлы типа ПТВМ в основном работают с естественной тягой. В процессе эксплуатации отмечается ее недостаточность на ряде ТЭЦ и котельных, где по условиям теплоснабжения котлы вынуждены работать с номинальной нагрузкой в течение всего отопительного сезона. Поэтому для обеспечения стабильного теплоснабжения с учетом резерва по мощности (15...20%) используется дутьевой вентилятор, напор которого рассчитывается на преодоление сопротивления воздушного и газового трактов. В этом случае в газоходах котла устанавливается небольшое избыточное давление (400...500 Па). В котлах с газоплотными экранами увеличение тяги не имеет ограничений и является наиболее действенным способом их усовершенствования.

Применение газоплотных экранов способствует решению важной проблемы надежности – заметному ослаблению коррозионных разрушений труб в характерной тыльной области (со стороны изоляции), ранее доступной для проникновения агрессивных продуктов сгорания топлив. Ресурс мембранных экранов из труб 60х4 мм в 2 раза больше по сравнению с ранее применяемыми экранами из гладких труб 60х3 мм.

Котлы ПТВМ – 100 оснащены газомазутными горелками небольшой производительности (в котле 16 горелок). Они размещены встречно на двух стенах топки. Каждую горелку обслуживает свой вентилятор. Регулирование производительности котлов осуществляется частичным отключением горелок и вентиляторов. При этом нарушается нормальная эксплуатация котлов: увеличиваются неорганизованные присосы через неработающие горелки, возникают повышенные тепловые перекосы в топке.

Выполненный анализ возможных решений этой проблемы подтверждает целесообразность качественного регулирования теплопроизводительности всеми горелками одновременно, что наилучшим образом реализуется при небольшом количестве более мощных горелок.

В котле ПТВМ – 100 устанавливаются шесть встречных горелок (по три горелки на обеих стенах).

Горелка должна обеспечить выбросы оксидов азота не выше нормированных значений (125 и 250 мг/м<sup>3</sup> при работе на природном газе и мазуте соответственно) и эффективное сгорание топлива с минимальными избытками воздуха без следов недожога во всем регулируемом диапазоне теплопроизводительности. Этим высоким требованиям отвечает специальная горелка конструкции АО «Всероссийский теплотехнический институт». Это – газомазутная вихревая двухпоточная по воздуху и двух-трехпоточная трубчатая по природному газу горелка. Закрутка воздушных потоков производится лопаточными завихрителями. Каждый из потоков (воздушный, газовый) имеют автономное управление для регулирования нагрузки котла одновременно всеми горелками. Тепловая мощность горелки 20...23 МВт рассчитана с запасом 20% для возможности работы котла с повышенной теплопроизводительностью (котел ПТВМ - 100). Аэродинамическое сопротивление горелки составляет примерно 1,96 кПа, сопротивление по газу – 30 кПа.

Эффективному подавлению оксидов азота в горелках указанной конструкции способствует рециркуляция ДГ, подаваемых в них в смеси с воздухом в количестве 15...20% по объему. Дымовые газы поступают на всасывательного вентилятора вследствие перепада давления на участке от места отбора газов до входа в вентилятор. В водогрейных котлах при сжигании мазута рециркулирующие газы должны направляться в горелки по автономному газопроводу с использованием отдельного вентилятора.

Применение указанной горелки в совокупности с газовой рециркуляцией обеспечивает выбросы оксидов азота не более 80 мг/м<sup>3</sup> при

работе на природном газе и не более 120 мг/м<sup>3</sup> при работе на мазуте. Для котлов типа ПТВМ завод рекомендует установку двух дутьевых вентиляторов на общий воздушный тракт. Тип вентилятора и мощность приводного электродвигателя выбираются в каждом конкретном случае по условиям компоновки оборудования котельной и в зависимости от производительности и перепада полного давления в газоздушном тракте. Для котла ПТВМ – 100 используются два вентилятора ДН- 17У с электродвигателями мощностью по 120 кВт, характеристики которых учитывают повышенную производительность (до 20%) и дополнительный расход газов рециркуляции (до 20%).

Отсутствие в ВК устройств для подогрева дутьевого воздуха до положительной температуры приводит к частому выходу их строя шиберов и крыльчаток вентиляторов из-за обледенения при отрицательных температурах наружного воздуха. Подача 15...20% горячих газов рециркуляции через вентилятор в горелки обеспечивает подавление оксидов азота и предотвращает обледенение дутьевого вентилятора благодаря подогреву дутьевого воздуха до положительной температуры при любой отрицательной температуре окружающего воздуха. На участке смешения ДГ и воздуха перед вентилятором устанавливается специальный смеситель.

Подогрев воздуха до положительной температуры в КА без рециркуляции газов осуществляется в калориферах с использованием собственной горячей котловой воды. Подача в калориферы воды с температурой 120...130<sup>0</sup>С обеспечивает подогрев всего дутьевого воздуха примерно на 60<sup>0</sup>С (от 20 до +40<sup>0</sup>С). Аэродинамическое сопротивление калориферов – не более 80 Па. Калориферы рекомендуется размещать в помещении котельной внутри воздухозаборной шахты перед вентилятором.

Газовые ВК типа ПТВМ располагают резервами повышения теплопроизводительности на 20% без ухудшения надежности.

Рассмотрим два пути решения задачи по увеличению теплопроизводительности на примере котла ПТВМ-60М с

производительностью повышенной на 11,6 МВт, в конструкции которого уже реализован комплекс изложенных выше решений дополнений (рисунок 4.3). Первый путь – прямое увеличение расхода воды через котел на 20% и соответствующее увеличение расхода топлива, определяемое заданной температурой подогрева воды в котле (температура воды на выходе из котла не должна превышать 150<sup>0</sup>С). При этом повышаются эксплуатационные расходы энергии на питательные насосы из-за роста гидравлического сопротивления котла на 50 кПа. Второй путь – установка автономной дополнительной поверхности нагрева в виде ширм в топке [5].. В этом случае через котел проходит номинальный расход воды, а через ширмы – параллельный, эквивалентный приращению теплопроизводительности котла на 11,6 МВт. Ширмы включаются по воде по схеме параллельного либо последовательного тока в зависимости от требований к температуре подогрева в них воды.

В котле ПТВМ -60М рекомендована установка в топке восьми ширм, которые выполняются из труб диаметром 50x4 мм стали 20, масса металла составляет 3,8 тонн. Вода, нагретая в ширмах, может поступать в общий трубопровод горячей воды либо в автономный по согласованию с заказчиком.

При отсутствии резерва в системе теплоснабжения добавочная мощность (11,6 МВт в котле ПТВМ -60М и 23,2 МВт в котле ПТВМ -120М) обеспечивает существенную экономию капитальных вложений по удельной стоимости.

Усовершенствования в них должны касаться в первую очередь КПН нагрева, экранов, подогрева дутьевого воздуха и уменьшения вредных выбросов. Установленные в этих котлах ротационные горелки РГМГ целесообразно заменить новыми вихревыми.

## Выводы:

Повышение экономичности, ресурса и улучшения экологических характеристик крупных ВК типа ПТВМ и КВГМ достигается при их комплексной модернизации на основе современных достижений в котельном производстве.

Разработанные в ОАО «Подольский машиностроительный завод» мероприятия по модернизации ВК обеспечат реальный эффект эксплуатации:

- экономию расхода топлива до 3% (КПД реконструируемых котлов при номинальной нагрузке не менее 93%);
- увеличение ресурса эксплуатации КПН до 100 тысяч часов;
- экономию эксплуатационных и капитальных затрат на ремонт и замену КПН;
- экономию капитальных вложений на добавочную мощность на 20% сверх номинальной для газовых котлов типа ПТВМ;
- уменьшение выбросов оксидов азота до 80 мг/м<sup>3</sup> при работе на природном газе и до 150 мг/м<sup>3</sup> при работе на мазуте.

## **2 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ НАГРЕВА ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ**

### **2.1 Обзор эксплуатационных данных по интенсивной коррозии и формированию отложений в поверхностях нагрева водогрейных котлов КВГМ -100**

При развитии теплофикации одной из трудноразрешимых проблем является обеспечение долговечности (повышение ресурса) всех элементов теплофикационной схемы, изготовленных из низколегированной углеродистой стали. Острота ее зависит от уровня умягчения и деаэрирования исходной природной воды [6].

Компенсация потерь сетевой воды сырой водой, вызванная различными причинами, приводит к интенсификации электрохимических коррозионных процессов в сетевых трубопроводах, а в трубах поверхностей нагрева ВК – к интенсивному накипеобразованию на отдельных теплонапряженных участках гидравлически ущербных труб даже при расчетном для «средней» трубы температурном запасе по поверхностному вскипанию воды (40...60<sup>0</sup>С). Это подтверждается и длительным опытом эксплуатации котла КВГМ-100, который имеет в конвективной части трехсекционные полупакеты с горизонтальными змеевиками, аналогичные полупакетам котла КВГМ-180. В последнем 288 секций с 4608 змеевиками диаметром 32/26 мм скомпонованы по высоте двух конвективных шахт (при Т-образном профиле котла) в виде пакетов, содержащих по 24 встречно расположенных стояка на их фронтальных и задних стенах. Двухрядное расположение змеевиков в секции (по 8 шт.) и выбранная длина свободных концов ее коллектора в трехсекционном стояке обеспечивают шахматное расположение змеевиков в пакетах и наличие промежутков между ними (650 мм) для обнаружения дефектных змеевиков при эксплуатации. При пиковом режиме работы движение воды в экранных трубах подъемное, а в конвективной части опускное-горизонтальное. В котле КВГМ-100 при

основном режиме работы наоборот: движение воды в трубах заднего экрана опускное, а в конвективной части – подъемно-горизонтальное. При этом выход наиболее горячей воды осуществляется из нижнего коллектора экрана задней стены конвективной шахты, т.е. при такой же температуре уходящих газов, как и в КВГМ-180 [6].

Анализ данных по количественному и качественному составам отложений теплонапряженных экранных и конвективных труб ВК КВГМ-100 после 29000 часов его наработки показал, что к концу рабочей кампании на основной схеме включения поверхностей нагрева гидравлическое сопротивление тракта увеличивается. Зафиксировано также несколько повреждений труб конвективной части. Причины этих негативных последствий эксплуатации объясняются возможностью возникновения поверхностного кипения в слое отложений теплонапряженных гидравлически развернутых труб [6]. При этом вследствие резкого ухудшения условий теплообмена, сопровождающегося местным концентрированием агрессивных примесей, ожидается чрезмерное увеличение скорости коррозии. В качестве такой примеси принята поваренная соль (NaCl). Однако исследования процесса коррозии, обусловленные широким внедрением в мировую теплоэнергетику СКД кислородного водного режима (КВР), свидетельствует о том, что концентрированные растворы NaCl при содержании  $O_2 \leq 20$  мкг/кг (нормативное значение для сетевой воды ВК) становятся менее коррозионно-агрессивными, чем сама глубокообессоленная деаэрированная вода.

Поэтому возникает вопрос о целесообразности глубокого деаэрирования подпиточной воды в ТС.

Результаты первого этапа работы таких ВК показали, что срок службы конвективных труб не превышал двух отопительных сезонов, экранных – трех. Трубы конвективной части при более низких (по сравнению с топочными экранами) тепловосприятностях имеют меньший ресурс, что обуславливается меньшей толщиной стенки труб ( $\delta = 3$  мм) в условиях

интенсивной кислородно – углекислотной коррозии не только в рабочем, но и в стояночном режиме при байпасном протоке сетевой воды через ВК [6].

На втором этапе эксплуатации ВК применение ингибитора отложений минеральных солей (ИОМС-1) в тех же экстремальных условиях подпитки в ТС озерной воды, привело к тому, что предельное удельное количество карбонатных отложений в экранных трубах за четыре отопительных сезона составило  $2 \text{ кг/м}^2$ . При этом температура сетевой воды поддерживалась на уровне  $100...110^{\circ}\text{C}$ . Интенсивность коррозии в змеевиках конвективной части понизилась. Единичные повреждения устранялись путем отглушения отдельных змеевиков [6].

В течение 13 лет, прошедших после ввода в эксплуатацию КВГМ-180, включающих 8000 часов работы под нагрузкой, удельное количество общих отложений оксидов железа составило  $650 \text{ г/м}^2$ , что примерно вдвое превышает содержание оксидов железа в отложениях верхней теплонпряженной трубе верхнего конвективного пакета котла КВГМ-100 ( $260 \text{ г/м}^2$  за 29000 часов рабочего времени). Причина этих различий заключается в тормозящем воздействии нарастающего карбонатного слоя отложений на процесс окисления стали [6].

Вопрос о влиянии теплового потока на скорость коррозии стали должен решаться с учетом специфики повышения защитных свойств нарастающего слоя отложений [6].

Анализ эксплуатационных данных по конструкции и эксплуатации ВК показал, что: традиционные для энергетических котлов конструктивные решения, принятые для ВК, использующих в качестве ТН природную воду с различным уровнем умягчения и деаэрирования, и работающих на ТЭЦ под нагрузкой от 6 до 50% календарного времени, не обеспечивают приемлемый ресурс гидравлически ущербных труб, в первую очередь труб змеевиков конвективной части [6]. Горизонтальное положение которых исключало их безостаточное дренирование; увеличение содержания карбонатов Са и Mg в отложениях снижает концентрацию в них оксидов железа и приводит к

необходимости проведения кислотной очистки ВК; для этих условий рекомендуется щадящая технология очистки, предусматривающая в основном удаление эпитактического слоя, сохранение пассивирующего металла топотактического оксидного слоя. При наличии в отложениях только оксидов железа, обеспечивающих с течением времени заметное снижение скорости коррозии труб, для предотвращения потери наработанного защитного топотактического слоя проведение кислотных очисток не рекомендуется [6].

## **2.2 Защита от коррозии и отложений внутренних поверхностей оборудования котельных.**

Для объектов малой энергетики весьма актуальны задачи, связанные с защитой оборудования от коррозии и уменьшением количества отложений на теплопередающих поверхностях. Особенно это касается оборудования, находящегося в эксплуатации в течение длительного времени. Одним из возможных решений этой проблемы является использование пленкообразующих аминов [7].



**Рисунок – 2.1 Водоотталкивающий эффект вызванный применением пленкообразующих аминов**

Технология защиты внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования от коррозии и отложений основана на введении в теплоноситель реагента, в состав которого входят пленкообразующие амины.

Защита от коррозии достигается благодаря способности этих веществ создавать на поверхности металла пленку, препятствующую его контакту с коррозионно-агрессивными соединениями. Очищающий эффект обусловлен проявлением их поверхностно-активных свойств [7].

При выполнении указанных работ использовались реагенты марок RofaminT, RofaminTD и GenaminSH-100D. Их химический состав и некоторые физико-химические свойства указаны в таблице 2.3.

Для создания защитной пленки на внутренних поверхностях ВК реагент дозируется в теплофикационную воду на входе в котел таким образом, чтобы в ней всегда имелась его определенная концентрация [7].

Таблица 2.1. Физико–химические свойства рассматриваемых реагентов

Марка реагента	Молярная масса г/моль	Мин. температура затвердевания, °С	Максимальное йодное число	Миним. количество аминов, %		Фракционное распределение, %	
				первичных	вторичных	C16	C18
Rofamin T	266	38	5	94	6	21÷32	58÷70
Rofamin TD	261	38	5	98	1	21÷32	58÷70
Genamin SH–100D	265	–	4	99	–	30	65

Количество реагента, необходимое для формирования и поддержания пленки, зависит от площади обрабатываемой поверхности, ее загрязненности и других факторов, поэтому значения концентрации определяются в каждом конкретном случае индивидуально. Но поскольку объем контуров циркуляции у этих котлов на порядки больше, чем у паровых, то постоянное поддержание в ТН необходимой концентрации пленкообразующих аминов в большинстве случаев экономически не целесообразно. Поэтому для ВК ставилась задача защиты внутренних поверхностей главным образом от

стояночной коррозии и снижения удельной загрязненности поверхностей нагрева. Их обработка проводится перед длительными остановами. Для этого организуется специальный замкнутый контур, включающий в себя, кроме котла, минимально возможное количество оборудования и трубопроводов. Процесс обработки занимает, как правило (12÷18) ч. Для создания защитной пленки на внутренних поверхностях ВК реагент дозируется в теплофикационную воду на входе в котел таким образом, чтобы в ней всегда имелась его определенная концентрация [7].

На ранних стадиях применения защитного реагента проявляется особое внимание и осторожность вследствие возникновения очищающего эффекта. При начальном образовании пленки происходит наиболее интенсивное удаление старых отложений с поверхности оборудования, что особенно опасно для сильно загрязненных котлов. Во избежание негативных последствий слишком интенсивной очистки дозирование начинают с низких уровней концентраций и по мере очистки поверхностей и удаления отложений доводят их до расчетного значения. Окончание процесса обычно определяется по снижению концентраций ионов железа или других примесей в ТН. Для создания защитной пленки на внутренних поверхностях ВК реагент дозируется в теплофикационную воду на входе в котел таким образом, чтобы в ней всегда имелась его определенная концентрация [7]. Примером интенсивной отмывки может служить начало дозирования защитного реагента на двух котлах ДЕ–10/14 на районной тепловой станции «Переделкино» в феврале 1995 г. Результаты изменения концентраций ионов железа в ТН на начальной стадии обработки котлов показаны на рисунке 2.2.

Различия в интенсивности и продолжительности очистки двух котлов объясняется различным исходным состоянием поверхностей.

В 1998 г. были подвергнуты обработки ВК ПТВМ–50 и ПТВМ–100 на одиннадцати котлах в РТС «Ростокино». Оценка результатов проводилась по контрольным вырезкам 24 образцов теплопередающих поверхностей, сделанным на 11 котлах до и после обработки. Исследования образцов

показали наличие на их поверхностях устойчивой водоотталкивающей пленки, гарантирующей защиту металла от коррозии. Кроме этого, было отмечено снижение удельной загрязненности поверхностей нагрева. Для создания защитной пленки на внутренних поверхностях ВК реагент дозируется в теплофикационную воду на входе в котел таким образом, чтобы в ней всегда имелась его определенная концентрация [7].

Таким образом, при использовании представленной технологии на защищаемых поверхностях оборудования образуется адсорбционная пленка алифатических аминов, которая гарантирует эффективную защиту ВК от стояночной коррозии.

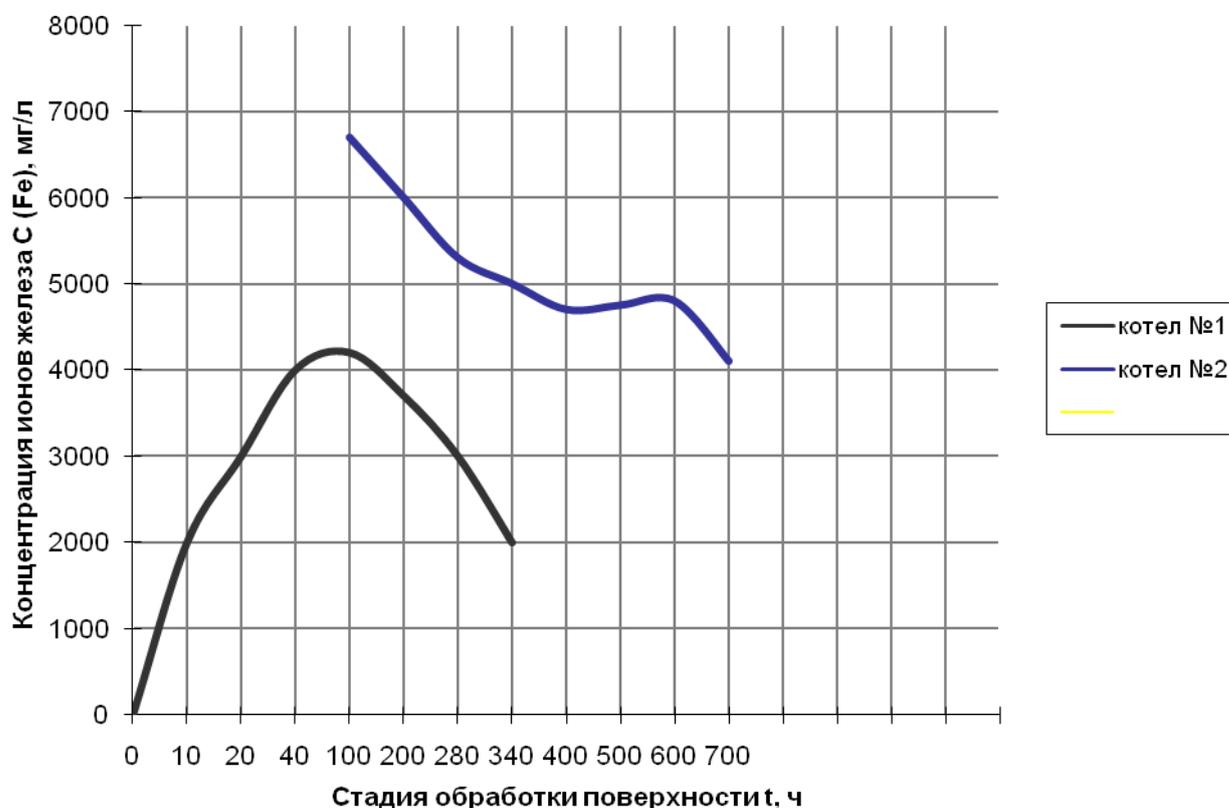


Рисунок 2.2. Изменение концентраций ионов железа в ТН на начальной стадии обработки котлов.

Благодаря поверхностно-активным и флотирующим свойствам пленкообразующих аминов происходит постепенная очистка внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования от отложений.

Данная технология может применяться для защиты не только внутренних поверхностей малых паровых и ВК, но и теплообменников, трубопроводов, участков тепловых сетей, аккумуляторных баков и т.д.

## 3 ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТЛОЖЕНИЙ И ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ВК

### 3.1 Влияние качества воды на работу котла

Наличие примесей в питательной воде приводит к явлениям, существенно усложняющим работу КА. В первую очередь следует выделить накипеобразование, загрязнение пароперегревателей и турбин, внутреннюю коррозию в трубах.

Накипеобразование на внутренней поверхности обогреваемых труб относится к наиболее нежелательным явлениям. При появлении накипи толщиной  $\delta_n$  на внутренней поверхности труб повышается температура стенки  $t_{ст}$  на наружной обогреваемой поверхности металла по причине низкой теплопроводности  $\lambda_n$ .

Даже весьма небольшой слой накипи приводит к весьма существенному повышению температуры металла труб и их разрыву из-за потери механической прочности, что считается тяжелой аварией в КА [8].

Растворение веществ в воде приводит к полной или частичной их диссоциации с образованием соответствующих ионов. Питательная вода содержит в основном следующие ионы: катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и анионы  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ . Ион натрия  $\text{Na}^+$  легко образуется при растворении в воде многих природных соединений, в их числе соли – хлорид натрия (поваренная соль)  $\text{NaCl}$ , сульфат натрия (глауберова соль)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , карбонат натрия (кальцинированная сода)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , гидроксид натрия (каустическая сода, натровый щелок)  $\text{NaOH}$  и другие [8].

При соприкосновении воды с горячей стенкой трубы в поверхностном слое вследствие испарения воды достигается состояние насыщения, и избыток вещества выпадает из раствора в осадок, образуя на стенке трубы твердые и плотные отложения – накипь. Очень твердую накипь дают силикаты  $\text{CaSiO}_3$  и сульфаты  $\text{CaSO}_4$  кальция.

Внутренние загрязнения на трубах пароперегревателей и лопатках турбин появляются при выносе солей из барабана котла с частичками влаги и вследствие растворимости некоторых солей в паре. Особая роль в загрязнении пароперегревателя и турбин принадлежит кремнекислотам (их общая формула  $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). С увеличением давления растворимость в паре кремнекислот возрастает. Поэтому с повышением давления пара более 10 МПа значительно возрастают требования к чистоте воды и пара по их содержанию, например по содержанию ортокремниевой кислоты  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , молекулы которой образуют цепи, давая сначала вязкий осадок в виде геля (со временем формируется пористое вещество – силикагель) [8].

В барабанах котлов и экранных трубах наблюдается щелочная коррозия, определяемая концентрацией щелочи  $\text{NaOH}$ , достигающей опасных значений при выпаривании котловой воды. Особенно активно коррозия протекает под слоем непрочных отложений (накипи и шлама).

Часто встречается кислородная коррозия. Свободный кислород, содержащийся в воде, электрохимически взаимодействует с металлом и вызывает его разрушение. Наиболее подвержены кислородной коррозии внутренние поверхности труб экономайзеров.

### **3.2 Нормы качества питательной, сетевой, подпиточной котловой воды.**

Водно – химический режим работы котла должен обеспечивать надежность всей системы, включая питательный тракт, без повреждения элементов из-за отложений накипи и шлама, повышения относительной щелочности (т.е. доли свободного едкого натра  $\text{NaOH}$  в общем солевом составе котловой воды) до опасных пределов или коррозии металла [8].

Все ВК должны быть оборудованы установками для докотловой обработки воды. Выбор способа обработки воды для питания котлов осуществляет проектная организация.

На основании теплотехнических испытаний котлов и длительного опыта их эксплуатации установлены нормы качества сетевой и подпиточной воды для ВК таблица.3.1. [8].

Качество подпиточной и сетевой воды ВК должно удовлетворять требованиям, указанным в таблице 3.1.

Нормы качества котловой воды, необходимый режим ее коррекционный обработки, режимы непрерывной и периодической продувок принимаются на основании инструкции предприятия – изготовителя котла, типовых инструкций по введению водно – химического режима и других ведомственных нормативных документов или на основании результатов теплотехнических испытаний [8].

Таблица 3.1. Нормы качества сетевой и подпиточной воды ВК

Показатель	Система теплоснабжения					
	открытая			закрытая		
	Температура сетевой воды, °С					
	115	150	200	115	150	200
Прозрачность по шрифту, см, не менее	40	40	40	30	30	30
Карбонатная жесткость, мкг-экв/кг, при рН не более 8,5	800/700	750/600	375/300	800/700	750/600	375/300
Карбонатная жесткость, мкг-экв/кг, при рН более 8,5	Не допускается			По расчету ОСТ 108.030.47-81		
Содержание растворенного кислорода	50	30	20	50	30	20
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe) мкг/кг	300/-	200/250	250/200	600/500	500/400	375/300
Значение рН при 25°С	7...8,5			7...11		
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	1,0					

### 3.3 Методы и схемы водоподготовки для ВК КВГМ – 100

Долговечность поверхностей нагрева КА и систем теплоснабжения зависит от качества питательной и подпиточной воды. Показателями качества воды являются: прозрачность, т.е. содержание взвешенных веществ, легко удаляемых при механическом фильтровании; сухой остаток – содержание минеральных и органических примесей после выпаривания; жесткость – содержание солей кальция и магния; щелочность – содержание в воде анионов  $\text{HCO}_3^-$  (бикарбонатов),  $\text{CO}_3^{2-}$  (карбонатов) и  $\text{OH}^-$  (гидратов); содержание агрессивных газов ( $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$ ) [9].

Основной задачей подготовки воды в котельных является борьба с коррозией и накипью. Коррозия поверхностей нагрева котлов, подогревателей и трубопроводов ТС вызывается кислородом и углекислотой, которые проникают в систему вместе с питательной и подпиточной водой. При нагреве и испарении воды из нее выпадают различные растворенные соли, часть из которых осаждается на поверхностях нагрева в виде плотного слоя с низкой теплопроводностью, называемого накипью. Требования, предъявляемые к воде, используемой в паровых и ВК различны, т.к. в паровых котлах вода испаряется, а в ВК – только нагревается [9].

Наиболее важным показателем качества воды является ее жесткость. Различается жесткость постоянная (некарбонатная), обуславливаемая наличием в воде хлоридов, сульфатов и других некарбонатных солей кальция и магния, и временная (карбонатная), обуславливаемая присутствием в воде бикарбонатов кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  [9].

Общая жесткость воды  $J_0$  равна сумме концентраций в ней катионитов кальция ( $J_{\text{Ca}}$ ) и магния ( $J_{\text{Mg}}$ ) и выражается в миллиграмм – эквивалентах на килограмм (мг-экв/кг).

Для перерасчета концентраций кальция и магния, выраженных в мг/кг, в мг-экв/кг их делят на эквивалентные массы этих катионитов:  $J_{\text{Ca}} = \text{Ca}^2 + /20,04$ ;  $J_{\text{Mg}} = \text{Mg}^2 + /12,16$ , где  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – концентрация в воде катионитов

кальция и магния, мг/кг; 20,04 и 12,16 – эквивалентные массы кальция и магния [9].

Общей щелочностью воды  $\text{Щ}_0$  называется выраженная в мг – экв/кг суммарная концентрация содержащихся в воде анионов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HSiO}_3^-$  и  $\text{SiO}_3^{2-}$ .

Необходимое качество воды зависит от типа котла и вида топлива. Общая щелочность и сухой остаток питательной воды не нормируются, а обуславливаются выбранными в соответствии с нормами и методами обработки воды. Щелочность питательной воды, мг-экв/кг, можно определить по формуле:

$$\text{Щ}_{\text{п.в}} = \alpha_{\text{о.в}} \text{Щ}_{\text{о.в}} + (1 - \alpha_{\text{о.в}}) \cdot \text{Щ}_{\text{к}}, \quad (3.1)$$

где  $\alpha_{\text{о.в}}$  – доля химически обработанной воды;  $\text{Щ}_{\text{о.в}}$  – щелочность очищенной воды, мг-экв/кг;  $\text{Щ}_{\text{к}}$  – щелочность конденсата, мг-экв/кг. (При отсутствии данных о качестве конденсата  $\text{Щ}_{\text{к}} = 0,05$  мг-экв/кг.)

Сухой остаток питательной воды, мг/кг определяется по формуле:

$$S_{\text{п.в}} = \alpha_{\text{о.в}} S_{\text{о.в}} + (1 - \alpha_{\text{о.в}}) S_{\text{к}}, \quad (3.2)$$

где  $S_{\text{о.в}}$  – сухой остаток очищенной воды;  $S_{\text{к}}$  – сухой остаток конденсата, мг/кг (при отсутствии данных сухой остаток принимается равным 5 мг/кг).

Солесодержание насыщенного пара для котлов с пароперегревателями следует принимать в соответствии с указаниями ГОСТ 20995-75: для давления 8-13 кгс/см<sup>2</sup> – 1 мг/кг; для давления 23 кгс/см<sup>2</sup> – 0,3 мг/кг, если к качеству пара не предъявляются специальные требования.

Солесодержание определяется электрометрическим методом с предварительной дегазацией, методом пламефотометрии или концентрирования ионов (достаточно катионов) на ионитных фильтрах.

Влажность пара для котлов без пароперегревателей не должна превышать 1 %, если к пару не предъявляются специальные требования. Содержание углекислоты в паре не должно превышать 20 мг/кг.

Качество возвращаемого конденсата должно отвечать следующим нормам: жесткость общая – не более 50 мг - экв/кг; содержание масел – не более 10 мг/кг; продукты коррозии стали – не более 0,5 мг/кг в пересчете на Fe.

При загрязненности, не обеспечивающей этих норм, конденсат до возвращения в цикл подвергается предварительной очистке.

Источниками водоснабжения производственных и ОК могут служить поверхностные воды рек, озер и искусственных водохранилищ, а также подземные воды из артезианских скважин. Поверхностные воды всегда содержат растворенные вещества и нерастворенные механические примеси. Подземные воды обычно бывают прозрачными и практически не содержащими механических примесей. Солесодержание подземных вод, как правило, выше, чем поверхностных. Наибольшее значение для водоснабжения установок имеют поверхностные воды рек и озер. Расход воды в реках и качество речной воды изменяется циклично не только по времени года, но и в многолетнем разрезе. В связи с этим нельзя проектировать водоподготовительные установки (ВПУ) для обработки поверхностных вод на основании случайных анализов воды. Необходимо пользоваться полными и достаточно точными анализами, выполненными в химических лабораториях не только по сезонам года, но и за ряд лет.

Пригодность воды для энергетических целей и выбор соответствующих методов обработки решаются только после определения следующих показателей: содержание взвешенных веществ, сухого остатка, жесткости, щелочности, содержания хлоридов, сульфатов и агрессивных газов.

При использовании в котельной вод из открытых источников для удаления взвешенных и органических веществ рекомендуются следующие методы обработки воды: 1) фильтрование через однослойные механические фильтры с загрузкой антрацита крупностью 0,5-1,2 мм для вод с содержанием взвешенных веществ до 50 мг/кг; 2) фильтрование воды через двухслойные механические фильтры с загрузкой кварцевого песка крупностью 0,5 – 1,2 мм и антрацита крупностью 0,8 – 1,8 мм для вод с

содержанием взвешенных веществ до 100 мг/кг; 3) осветление с последующим фильтрованием через механические фильтры при содержании в воде взвешенных веществ более 100 мг/кг; 4) известкование с коагуляцией с последующим осветлением или фильтрованием при окисляемости более 15 мг/кг  $O_2$ , концентрации железа более 1 мг/кг и необходимости снижения щелочности исходной воды [9].

Для умягчения и снижения щелочности исходной воды могут быть применены следующие методы обработки:  $N_a$  – катионирование;  $N_a - NH_4$  – катионирование;  $H$  – катионирование с последующим удалением углекислоты (декарбонизацией);  $N_aCl$  – ионирование; известкование с коагуляцией.

Выбор метода обработки воды для ТС определяется требованиями к качеству подпиточной воды и зависит от системы теплоснабжения – открытая или закрытая и от качества исходной воды. При подогреве сетевой воды в ВК для открытых или закрытых систем теплоснабжения необходимо снизить карбонатную жесткость подпиточной воды до 0,7 мг – экв /кг.

Для подпитки ТС, где не требуется удаления солей постоянной жесткости (карбонатная жесткость допускается до 0,7 – 1,5 мг – экв /кг – при подогреве воды в теплообменниках и до 0,4 мг – экв / кг – при установке ВК) широко применяется  $H$  – катионирование с «голодной»регенерацией.  $N_a - NH_4$  – катионитный метод обработки воды применяется, когда требуется снизить щелочность и солесодержание котловой воды и защитить пароконденсатный тракт от коррозии. Этот метод не следует применять, если имеется опасность аммиачной коррозии оборудования, изготовленного из латуни и других медных сплавов, если в паре не допускается содержание аммиака (например, в пищевой промышленности) и если ТН используется для открытых систем теплоснабжения.

Наибольшее распространение получило последовательное  $H - N_a$  – катионирование с так называемой «голодной» регенерацией  $H$  – катионитных фильтров.

Метод  $N_aCl$  – катионирования воды применяется, когда необходимо одновременно с умягчением снижать щелочность исходной воды. Обрабатываемая вода после первой ступени  $N_a$  – катионирования фильтруется через фильтр, загруженный анионитом и катионитом, т.е. вторая ступень катионирования проходит в  $N_a$  – катионитном фильтре совместно с  $Cl$  – анионированием. Методом  $N_aCl$  – ионирования воды можно получить жесткость до 0,01 мг – экв /кг и снижение щелочности до 0,2 – 0,6 мг – экв /кг.

Метод известкования с коагуляцией исходной воды представлен на рисунке 3.1 , обычно используемый для обработки вод поверхностных источников, относится к методам осаждения. В процессе обработки воды удаляются связанная и свободная углекислота, достигается обезжелезивание, снижение сухого остатка и щелочности и удаление органических веществ.

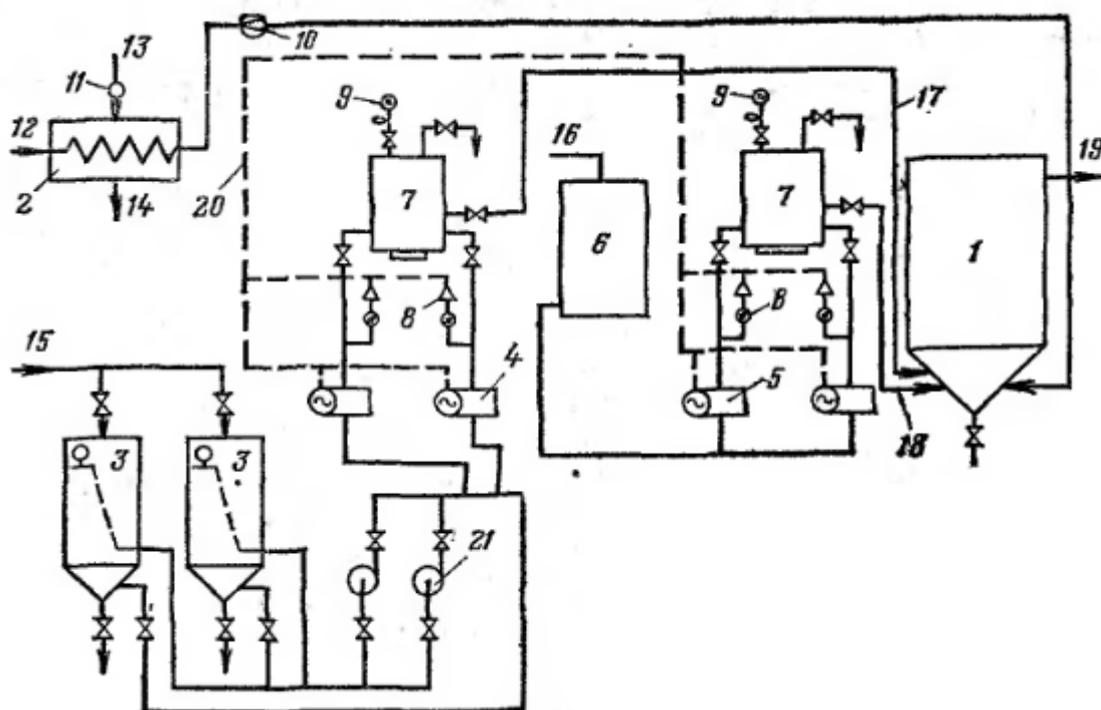


Рисунок 3.1 – Схема коагуляции и известкования воды в осветителе

1- осветитель; 2- паровой подогреватель; 3- мешалка известковая; 4 – насос-дозатор известкового молока; 5- насос-дозатор раствора коагулянта; 6- бак раствора коагулянта; 7- колпак воздушный; 8- манометр электро-контактный; 9-манометр пружинный; 10 – расходомер показывающий; 11 – регулятор температуры подаваемой

воды; 12 – трубопровод обрабатываемой воды; 13 – паропровод; 14 – конденсатопровод; 15 – трубопровод известкового молока; 16 – трубопровод осветленного раствора коагулянта; 17 – трубопровод дозируемого известкового молока; 18 – трубопровод раствора коагулянта; 19 – трубопровод осветленной воды; 20 – линия импульсная; 21 – насос циркуляционный.

Известкование основано на связывании ионов, подлежащих удалению, в малорастворимые соединения, осаждаемые в виде шлама. Вода после отстойников – осветлителей обрабатывается на механических и  $N_a$  – катионитных фильтрах и направляется в деаэрационную установку котельной. Подогрев воды перед известкованием должен проводиться до температуры 40 °С.

Магнитный метод обработки воды основан на явлении, что вода после воздействия на нее магнитного поля при последующем ее нагреве в котле не дает накипных отложений на поверхности нагрева. Соли жесткости выпадают в виде шлама и должны непрерывно удаляться из нижних точек котла.

Магнитную обработку воды для систем теплоснабжения следует предусматривать при соблюдении следующих условий: подогрев воды – не выше 95 °С; карбонатная жесткость исходной воды – не более 9 мг – экв/кг; содержание железа в исходной воде – не более 0,3 мг/кг.

При этом следует предусматривать вакуумную деаэрацию, если содержание кислорода в исходной воде более 3 мг/кг и содержание хлоридов и сульфатов более 50 мг/кг (независимо от содержания кислорода) [9].

Наиболее широкое применение в ВПУ котельных получили вертикальные напорные однопоточные фильтры, загруженные дробленным антрацитом или кварцевым песком.

Для загрузки фильтров требуется песок с размерами зерен от 0,35 до 2,0 мм. Скорость фильтрования воды в напорных осветлительных фильтрах принимается 5 – 6,5 м/ч (и до 10 м/ч, если фильтры включены после осветлителей). Продолжительность фильтроцикла должна быть не меньше 8 ч, количество установленных фильтров при производительности установки

до 100 м<sup>3</sup>/ч следует принимать не менее двух (при G<sub>ф</sub>>100 м<sup>3</sup>/ч устанавливается не менее трех фильтров).

Общая площадь фильтрования, м<sup>2</sup>, определяется, исходя из производительности установки, по формуле:

$$F = G_f * \alpha / \omega_n, \quad (3.3)$$

где G<sub>f</sub> – производительность фильтров, м<sup>3</sup>/ч;

α – коэффициент, учитывающий расход осветленной воды на собственные нужды, для расчетов принимают 1,03 – 1,10;

ω<sub>н0</sub> – скорость фильтрования, при нормальном режиме ω<sub>н0</sub>= 6,0 м/ч.

Для выбора стандартного диаметра фильтров ниже приводится таблица площадей фильтрования таких фильтров (таблица 3.2).

Таблица 3.2. Площадь фильтрования стандартных фильтров

Диаметр фильтра, мм	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования, м <sup>2</sup>	0,38	0,78	1,78	3,14	5,3	7,10	9,10

При приготовлении воды для котельных и тепловых сетей получил распространение катионитный метод обработки воды. N<sub>a</sub> – катионитная установка является наиболее простой и дешевой установкой для умягчения воды. Умягчение воды можно осуществлять по одноступенчатой либо двухступенчатой схеме.

Приготовление воды для паровых экранированных котлов, требующих глубокого умягчения, осуществляется двухступенчатым N<sub>a</sub>-катионированием; для тепловых сетей, требующих снижения карбонатной жесткости подпиточной воды до 0,4 – 0,7 мг – экв /кг, достаточно одноступенчатого N<sub>a</sub>-катионирования. N<sub>a</sub>-катионитная установка может быть использована лишь при отсутствии в обрабатываемой воде грубодисперсных и коллоидных примесей.

В котельных установках для приготовления воды большое распространение получило Н – катионирование с «голодной» регенерацией

фильтров. Кроме того, существуют три различные схемы – параллельного, совместного и последовательного  $H-N_a$  - катионирования.

При схеме *параллельного*  $H-N_a$  – катионирования (рисунок 3.2) умягчаемая вода двумя параллельными потоками направляется на  $H$  – и  $N_a$  – катионитные фильтры, после чего вода поступает в общий трубопровод.  $H-N_a$  – катионированную воду пропускают через декарбонизатор для удаления свободной углекислоты и через  $N_a$  – катионитный фильтр второй ступени. .

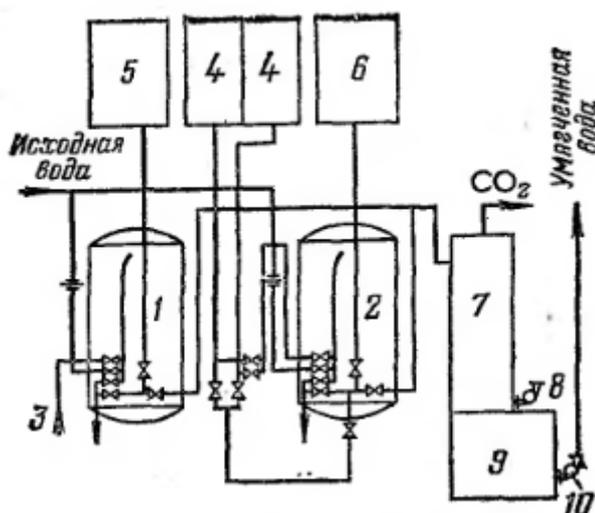


Рисунок 3.2 – Схема параллельного  $H-N_a$  – катионирования

1 –  $Na$ -катионный фильтр; 2 -  $H$ -катионный фильтр; 3 – трубопровод регенерационного раствора соли; 4 – бак раствора кислоты; 5 – бак для взрыхления  $Na$ -катионита; 6 - бак для взрыхления  $H$  – катионита; 7 – декарбонизатор; 8 – вентилятор; 9 – бак промежуточный; 10 – насос перекачивающий.

Такая схема применяется, когда необходимо получить умягченную воду с остаточной щелочностью не выше 0,35 мг – экв/кг и когда суммарное содержание сульфатных и хлоридных ионов в исходной воде не превышает 5 – 7 мг – экв/кг, карбонатная жесткость исходной воды составляет более 50% общей ее жесткости.

При схеме *совместного*  $H-N_a$  – катионирования загруженный в фильтры катионит регенерирует сначала кислотой, а затем после ее отмывки поваренной солью. Основным недостатком такой схемы является резкое

колебание остаточной щелочности воды за период фильтроцикла. Описанную схему можно применять, если суммарное содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  в исходной воде не превышает 3,5 – 5 мг –экв/кг и если получаемая щелочность умягченной воды не вызывает заметного увеличения размера продувки паровых котлов.

При схеме *последовательного*  $\text{H-N}_a$  – катионирования (рисунок 3.3) часть обрабатываемой воды пропускается через  $\text{H}$ - катионитные фильтры, далее она нейтрализуется неумягченной исходной водой и направляется в декарбонизатор для удаления свободной углекислоты. Из бака декарбонизированной воды перекачивающий насос подает воду в  $\text{N}_a$  – катионитные фильтры для доумягчения.

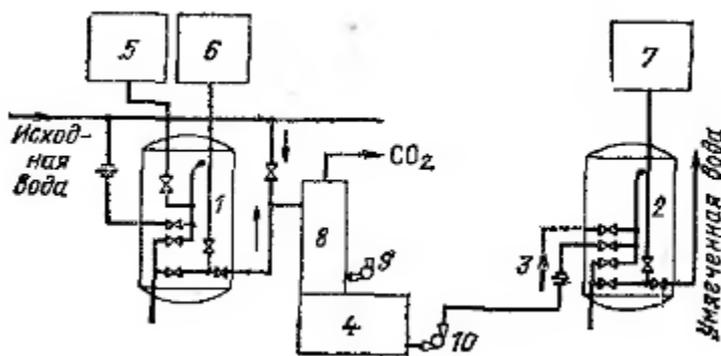


Рисунок 3.3 – Схема последовательного  $\text{H-N}_a$  – катионирования

1 -  $\text{H}$ -катионный фильтр; 2 -  $\text{Na}$ -катионный фильтр; 3 – трубопровод раствора соли; 4 – бак промежуточный; 5 – бак для раствора кислоты; 6 и 7 – баки для взрыхления катионита; 8 – декарбонизатор; 9 – вентилятор; 10 – насос перекачивающий.

Недостатком таких схем является необходимость последовательного прокачивания воды через два фильтра, что увеличивает расход электроэнергии.

Схема *последовательного*  $\text{H-N}_a$  – катионирования применима для обработки сильноминерализованных вод с солесодержанием более 1000 мг/кг и в случаях, когда карбонатная жесткость исходной воды не превышает

50% общей жесткости ее, а щелочность умягченной воды не вызывает увеличения продувки паровых котлов [9].

Расчет катионитных фильтров начинают с подбора диаметра фильтра (см. табл.1) по скорости фильтрования  $\omega$ , м/ч, которую определяют исходя из производительности фильтров  $G_{\phi}$ , площади фильтрования  $F$  и количества работающих фильтров,  $\alpha$ , по формуле:

$$\omega = G_{\phi} / F\alpha, \quad (3.4)$$

Где  $G_{\phi}$  – общая производительность, м<sup>3</sup>/ч;  $F$  – площадь фильтрования одного фильтра, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – количество работающих фильтров.

Количество регенераций фильтров в смену принимается: для фильтров с ручным управлением процессом регенерации – не более трех (для всей установки); для фильтров с автоматическим управлением процессом регенерации – не нормируется и определяется в зависимости от скорости фильтрования [9].

Количество работающих фильтров принимается в соответствии с требованиями СНиП II-35-76.

Для обеспечения надежности работы котельных со стальными водогрейными и паровыми котлами обязательно удаление из воды растворенных в ней коррозионно-активных газов – кислорода и свободной углекислоты. Эти газы вызывают коррозию поверхностей нагрева и трубопроводов котельных и ТС. Нормами установлено, что содержание кислорода в сетевой воде не должно превышать для стальных ВК 0,05 мг/кг, для паровых котлов низкого давления в питательной воде – 0,03 мг/кг. Деаэрация воды основана на повышении ее температуры до кипения, при котором происходит выделение газов из воды.

В целях улучшения условий выделения газов необходимо максимально увеличивать поверхность деаэрируемой воды с тем, чтобы растворенные газы могли быстро выделяться. Это достигается сливом

деаэрируемой воды через сита для образования большого числа струй с малым диаметром или разбрызгиванием ее в отдельные капли. Увеличение поверхности соприкосновения воды с паром может быть получено, кроме того, путем подачи греющего пара в водяной объем бака (барботирование) либо в специальное устройство. Чтобы обеспечить максимально возможную разность скоростей газов в воде и паровом объеме, применяется противоток в направлениях движения греющего пара и потоков воды [9].

Процесс деаэрации может быть осуществлен при разном абсолютном давлении. Если давление над поверхностью воды меньше атмосферного, т.е. вода кипит при температуре ниже  $100^{\circ}\text{C}$ , то такие установки называются вакуумными. Деаэраторы, работающие при давлении, близком к атмосферному (порядка  $1,2 \text{ кгс/см}^2$ ) называют атмосферными. Кипение воды в деаэраторе может быть достигнуто за счет снижения давления ниже атмосферного для самовскипания, что осуществляется в вакуумных деаэраторах, или за счет нагрева воды паром, поступающим в колонку деаэратора атмосферного типа.

Недогрев воды до температуры кипения даже на  $1^{\circ}\text{C}$  приводит к остаточному содержанию кислорода в воде до  $0,13 \text{ мг/кг}$  в деаэраторах атмосферного типа, а в вакуумных деаэраторах увеличивает содержание кислорода на  $0,05 - 0,09 \text{ мг/кг}$ . Поэтому для обеспечения надежной деаэрации воды необходимо подавать в колонку вакуумного деаэратора воду с температурой выше температуры кипения при давлении в нем, в колонку атмосферного деаэратора греющий пар должен поступать с некоторым избытком [9].

Смесь газа и пара в деаэраторах атмосферного типа или в вакуумных деаэраторах, так называемый выпар, должна непрерывно отводиться из верхней части деаэрационной колонки (головки деаэратора) в охладитель, где пар конденсируется, а газы уходят в атмосферу. В деаэраторном баке атмосферного деаэратора, который устанавливается под деаэрационной колонкой, продолжается выделение оставшихся нерастворенных газов из

воды. Способ деаэрации воды под вакуумом получил практическое применение в котельных со стальными ВК. Обязательным условием нормальной работы вакуумного деаэратора является его хорошая воздушная плотность т герметичность всей системы трубопроводов, находящихся под разрежением.

Техническая характеристика вакуумных деаэраторов дана в таблицах 3.3 и 3.4.

Вакуумные деаэраторы, перечисленные в таблице 3.2, изготавливаются на монтажной площадке котельной или на заводах.

Принципиальная тепловая схема котельных с водогрейными котлами для закрытых систем теплоснабжения показана на рисунке 3.2.

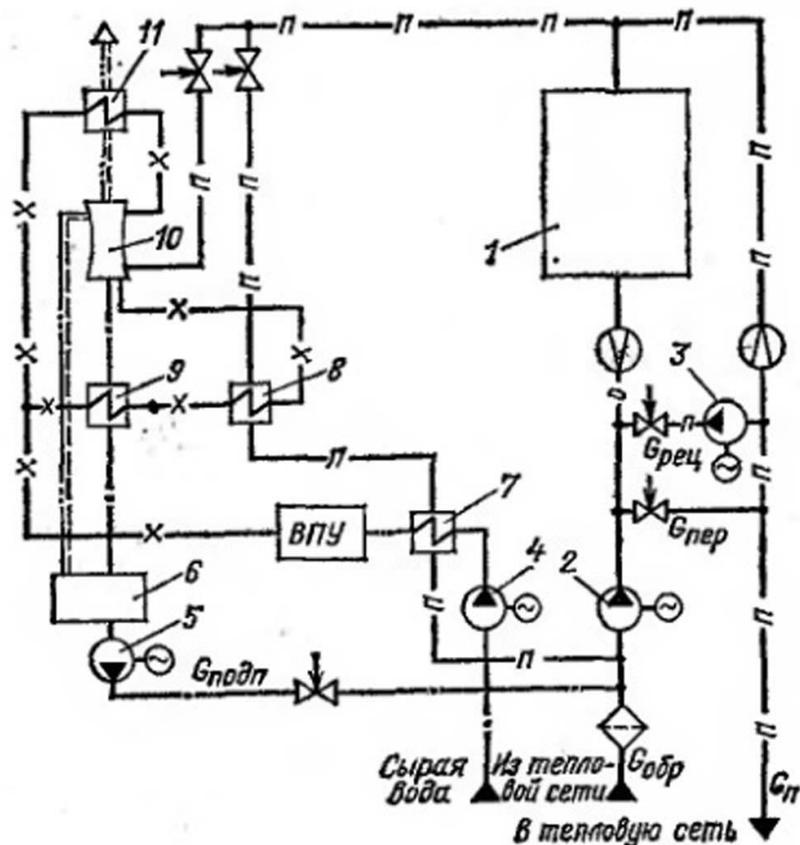


Рисунок 3.2 -Принципиальная тепловая схема котельных с водогрейными котлами для закрытых систем теплоснабжения[10].

1 - котел водогрейный; 2 - насос сетевой; 3 - насос рециркуляционный; 4 - насос сырой воды; 5 - насос подпиточной воды; 6 - бак подпиточной воды; 7 -

подогреватель сырой воды; 8 - подогреватель химии чesки очищенной воды; 9 - охладитель подпиточной воды; 10 - деаэратор; 11 - охладитель выпара.

Таблица 3.3 Технические характеристики вакуумных деаэраторов малой производительности

Обозначение типоразмера			Номинальные параметры		Область применения
Деаэрато ра	Охладите ля	Водоструй ного эжектора	Произво дительн ость, т/ч	Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>	
ДВ-5	ОВВ-2	ЭВ-10	5	0,30	В котельных низкого давления и малой производитель ности, когда температура питательной воды должна быть ниже 100 <sup>0</sup> и составлять минимум 70 <sup>0</sup> С.
ДВ-15	ОВВ-2	ЭВ-10	15		
ДВ-25	ОВВ-2	ЭВ-30	25		
ДВ-50	ОВВ-8	ЭВ-30	50		
ДВ-75	ОВВ-8	ЭВ-60	75		
ДВ-100	ОВВ-8	ЭВ-60	100		
ДВ-150	ОВВ-16	ЭВ-100	150		
ДВ-200	ОВВ-16	ЭВ-100	200		
ДВ-300	ОВВ-24	ЭВ-220	300		

Техническая характеристика вакуумных деаэраторов дана в таблице. 3.4

Для подачи в вакуумный деаэратор воду подогревают в специальном теплообменнике до 70 – 750С горячей водой из водогрейного котла.

Водяной пар и неконденсирующиеся газы, уходящие из деаэратора, направляют в теплообменник-охладитель выпара для утилизации теплоты пара при его конденсации. При вакуумной деаэрации охладитель выпара позволяет резко сократить объем парогазовой смеси и охладить ее.

Эксплуатация различных конструкций охладителей выпара показала, что наиболее практичным является смешивающий тип охладителя – он прост по конструкции и требует меньшего расхода воды по сравнению с охладителем выпара поверхностного типа, так как последний из-за интенсивной коррозии трубок часто выходит из строя [9].

Таблица 3.4. Технические характеристики вакуумных деаэраторов для ТЭЦ

Марка деаэратора	Номинальные параметры		Емкость деаэратора, м <sup>3</sup>	Область применения
	Производительность, т/ч	Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>		
ДВ-400	400	0,3	14	В котельной с ВК на ТЭЦ
ДВ-800	800	0,3	28	
ДВ-1200	1200	0,3	42	

Выпар в деаэраторах атмосферного типа вытесняется в охладитель избыточным давлением; в деаэраторах вакуумного типа необходим принудительный отсос выпара. Отсасывающее устройство, кроме удаления парогазовой смеси, предназначается для поддержания вакуума в деаэраторе. Его выбирают из расчета максимального выделения растворенных газов, которые принимают с учетом присосов равным 60 г на 1 т деаэрируемой воды.

Для создания вакуума и удаления газов из деаэраторов обычно используются вакуумные насосы ВК-25 с подачей от 4 до 50 м<sup>3</sup>/мин, пароструйные или водоструйные эжекторы. Для отопительных котельных с водогрейными котлами малой и средней теплопроизводительности, как правило, применяются водоструйные эжекторы (Таблица 3.3).

При непрерывно работающей деаэраторной установке необходимо иметь один резервный отсасывающий агрегат, производительность каждого из них выбирают с двух- или трехкратным запасом по отношению к расчетной. Расход воды через эжектор зависит от параметров парогазовой смеси, температуры и давления эжектирующей воды и колеблется в пределах

от 4 до 50 м<sup>3</sup> на один килограмм отсасываемых газов. Температура воды не должна превышать 30<sup>0</sup>С.

На рис. 3.3 показаны возможные схемы работы вакуумных деаэраторов. Обычная двухступенчатая схема деаэрации подпиточной воды приведена на рис. 3.3, а. Исходная вода после системы химводоочистки подогревается в водо-водяном подогревателе 6 и поступает в вакуумный деаэратор. Греющая среда – прямая вода ТС с температурой 130-150<sup>0</sup>С подается под барботажный лист деаэратора, вскипает, и выделившийся пар барботирует поток деаэрируемой воды. Температура деаэрированной воды 70<sup>0</sup>С. Рабочее давление 0,3 кгс/см<sup>2</sup>.

На рисунке 3.3, б показана схема деаэрации воды при давлении 0,12 МПа и температуре деаэрированной воды 104<sup>0</sup>С. Химически очищенная вода подогревается до температуры 94<sup>0</sup>С и подается в деаэратор. Для подогрева воды в теплообменниках и для барботажа воды в деаэраторе используется горячая вода с температурой 130-150<sup>0</sup>С, отбираемая непосредственно за котлом. Деаэрированная вода поступает в закрытый бак подпиточной воды с температурой 104<sup>0</sup>С.

Третья схема (рисунок 3.3 в) отличается от описанной второй схемы деаэрации подпиточной воды только установкой специального теплообменника для охлаждения деаэрированной воды после деаэратора до температуры 70<sup>0</sup>С.

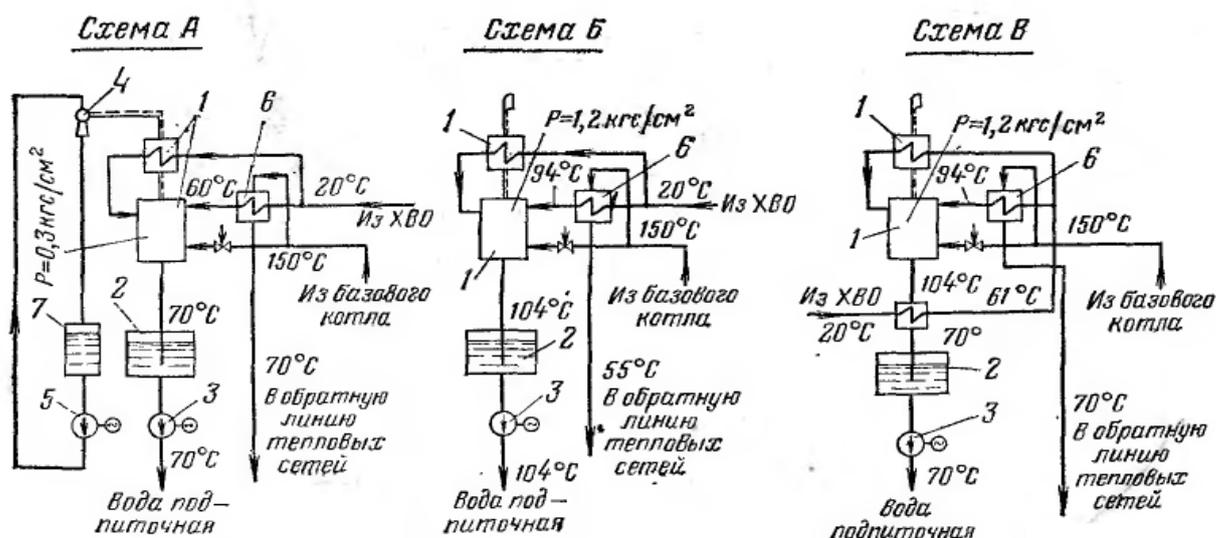


Рисунок 3.3 – Возможные схемы вакуумной деаэрации подпиточной воды в котельных с водогрейными котлами [9]

1 – деаэратор типа ДВ с охладителем выпара; 2 – бак деаэрированной воды; 3 – насос подпиточный; 4 – эжектор водоструйный; 5 – насос рабочей воды; 6 – теплообменник водо-водяной; 7 – бак – газоохладитель.

Отсутствие установленной заводской номенклатуры вакуумных деаэраторов малой и средней производительности и недостаточный опыт их эксплуатации привели к установке в ряде котельных деаэраторов атмосферного типа.

В качестве подпиточной воды для ТС при открытой системе теплоснабжения используется та же деаэрированная вода, что и для питания паровых котлов. В новых производственных и производственно-отопительных котельных с паровыми котлами также предусматривается установка атмосферных деаэраторов типа ДА. Техническая характеристика деаэраторов типа ДА приведена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Технические характеристики атмосферных деаэраторов [9]

Марка деаэратора	Номинальные параметры		Емкость деаэраторного бака, м <sup>3</sup>	Область применения
	Производительность, т/ч	Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>		
ДА-5/2	5	1,2	2	В котельной низкого, среднего и высокого давления
ДА-15/4	15		4	
ДА-25/8	25		8	
ДА-50/15	50		15	
ДА-100/25	100		25	
ДА-200/50	200		50	
ДА-300/75	300		75	

Деаэратор типа ДА с деаэраторным баком, схематически показанный на рисунке 3.4, обеспечивает устойчивую деаэрацию питательной воды при работе с нагрузками в пределах от 30 до 120% номинальной производительности. Деаэраторы типа ДА укомплектовываются индивидуальными охладителями выпара и могут быть поставлены без деаэраторного бака.

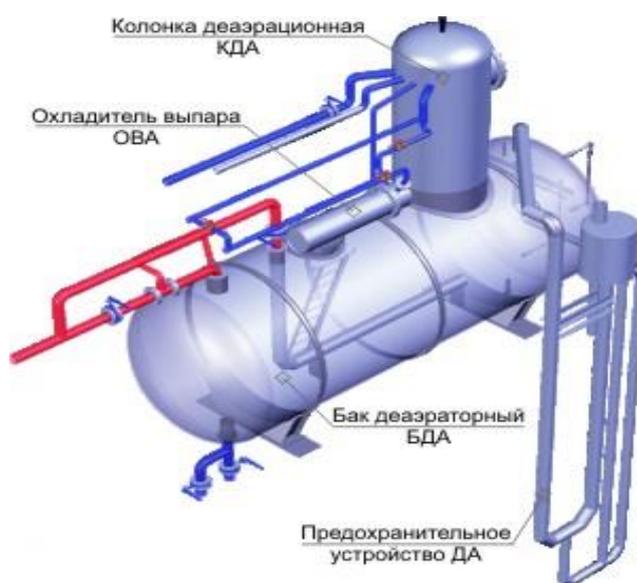


Рисунок 3.4 – Деаэратор типа ДА с деаэраторным баком

В связи с тем, что деаэрационные колонки атмосферного типа (ДА) имеют значительную высоту и иногда плохо komponуются в здании котельных, НПО ЦКТИ совместно с Черновицким машиностроительным заводом разработана другая конструкция деаэраторов, в которых деаэрация воды происходит в двух ступенях – первой ступени, состоящей из невысокой струйной колонки, и второй ступени – специального барботажного устройства в баке – аккумуляторе.

При проектировании паровых котельных малой и средней производительности иногда применяют установку бесколонковых барботажных деаэраторов Уралэнергометаллургпрома, изготавливаемых на монтаже. Деаэраторы рассчитаны на производительность 10,25,50 и 75 т/ч и рабочее давление в баках от 1,15 до 1,25 кгс/см<sup>2</sup>.

При использовании деаэраторов атмосферного типа количество поступающего в него пара, кг/ч, можно определить из формулы:

$$D_{\text{п}} = \frac{G (i_2 - i_1)}{i - i_1} + D_{\text{в}}, \quad (3.4)$$

Где  $G$  – производительность деаэратора, кг/ч;  $i_1$  и  $i_2$  – энтальпия воды при входе и выходе из деаэратора, ккал/кг;  $i$  – энтальпия пара, ккал/кг;  $D_{\text{в}}$  – потери пара с выпаром, кг/ч, которые следует принимать в пределах от 5 до 10 кг на 1 тонну деаэрируемой воды. Обычные деаэраторы атмосферного типа могут быть приспособлены и для работы в качестве вакуумных, а последние – в виде атмосферных.

При использовании вакуумных деаэраторов в качестве атмосферных вода с температурой около 1500 °С подается в колонку вакуумного деаэратора, где поддерживается давление около 1,2 кгс/см<sup>2</sup>, т.е. выше атмосферного. Такой способ несколько упрощает схему вакуумной деаэрации подпиточной воды для ТС, так как исключается установка для создания вакуума.

## 4 МОДЕРНИЗАЦИЯ ВК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

### 4.1 Анализ исходной воды

Установка водоподготовки предназначена для очистки речной воды для нужд котельной (подпиточная и сетевая вода). Качество подпиточной и сетевой воды регламентируется РД 24.031.120-91. «Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического контроля».

Таблица 4.1 - Характеристика качества воды в источнике водоснабжения (р. Томь) из анализа, выполненного в [11].

№	Определяемый элемент	Полученный результат анализа, мг/л	ПДК, мг/л	Погрешность анализа, %	НД на методику анализа
1	рН	<u>7,0</u>	<u>6,90</u>	± 0,2	ГОСТ Р 51232-98
2	Цветность	21 град	20 град.	± 20	ГОСТ 3351-74
3	Мутность	<u>2,37</u>	<u>1,5</u>	± 20	
4	Гидрокарбонаты	268,4	Не нормир.	± 16,76 мг/л	РД 52.24.493-2006
5	Жёсткость общая	4,77 °Ж	7,0 °Ж	± 0,72 °Ж	ГОСТ Р 52407-2005
6	Кальций	82,62	1802	± 3,84 мг/л	РД52.24.403-2007

Продолжение таблицы 4.1

7	Магний	7,05	503	–	Расчетный
8	Железо общее	<u>0,59</u>	<u>0,3</u>	± 25	ГОСТ 4011-72
9	Марганец (II)	Менее 0,01	0,1	–	ГОСТ 4974-72
10	Кремний	1,66	10,0	± 0,22 мг/л	РД52.24.433- 2005
11	Алюминий	Менее 0,04	0,5	–	ГОСТ 18165- 89
12	Медь	Менее 0,002	1,0	–	ГОСТ 4388-72
13	Свинец	Менее 0,005	0,03	–	ГОСТ 18293- 72
14	Цинк	Менее 0,005	5,0	–	
15	Хлориды	Менее 10,0	350,0	–	ГОСТ 4245-72
16	Нитраты	0,27	45,0	± 30	ГОСТ 18826- 73
17	Нитриты	0,017	3,0	± 30	ГОСТ 4192-82
18	Аммиак и ионы аммония (по азоту)	1,52	1,53	± 20	ГОСТ4192-82
19	Сухой остаток	298,3	1000,0	± 7,2 мг/л	ГОСТ 18164- 72
20	Перманганат ная окисляем ость	<u>5,85мгО<sub>2</sub>/л</u>	<u>5,0мгО<sub>2</sub>/л</u>	± 30	Ук. к ГОСТ 2761-84

\* - анализ воды от 11.07.2013г.

Качество подпиточной воды регламентируется РД 24.031.120-91.  
«Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического контроля».

Таблица – 4.2 Показатели качества сетевой и подпиточной воды для водогрейных котлов [12]

Показатели	Система теплоснабжения					
	открытая			закрытая		
	температура сетевой воды, °С					
	115	150	200	115	150	200
Прозрачность по шрифту, см. не менее	40	40	40	30	30	30
Карбонатная жесткость, мкг-эquiv/кг:						
при рН не более 8,5	800*	750*	375*	800*	750*	375*
	700	600	300	700	600	300
при рН более 8,5	Не допускается			По расчету РД 24.031.120-91		
Содержание, мкг/кг:						
растворенного кислорода	50	30	20	50	30	20
соединений железа (в пересчете на Fe)	300	300*	250*	600*	500*	375*
		250	200	500	400	300
Значение рН при температуре 25° С	7-8,5	7-8,5	7-8,5	7,0-11,0**	7,0-11,0	7,0-11,0
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

\* В числителе приведены данные для котлов на твердом топливе, в знаменателе - на жидком и газообразном топливе.

\*\* Для теплосетей, в которых водогрейные котлы работают параллельно с бойлерами, имеющими латунные трубки, верхнее рН для сетевой воды не должно превышать 9,5.

**Вывод:** из сопоставления показателей качества воды в источнике следует, что требуется осветление, обезжелезивание, деманганация, удаление солей жесткости, корректировка рН, удаление растворенного кислорода.

Источником водоснабжения являются р. Томь. Место расположения Установки водоподготовки: ООО «Томскнефтехим», г.Томск

Для обеспечения требуемым расходом подпиточной воды, определены следующие расходы:

- Пиковое часовое водопотребление–  $120\text{м}^3/\text{час}$ ;
- Среднечасовое водопотребление–  $100\text{м}^3/\text{час}$ ;

Режим работы – постоянный.

#### **4.2 Основные решения по технологии очистки и подготовки воды**

*Первая ступень.* Осветление, обезжелезивание и деманганация. Для обеспечения требуемого расхода воды ( $120\text{м}^3/\text{час}$ ) устанавливается десять фильтров удаления железа, марганца АС 4872 с автоматическим клапаном управления по времени. Диаметр каждого фильтра 1220мм.

Фильтр состоит из пластикового корпуса армированного стекловолокном с фильтрующей загрузкой и автоматического клапана управления по расходу.

Фильтр обезжелезивания воды заполнен каталитической фильтрующей загрузкой нового поколения Вауfilter В, который применяется для снижения цветности, мутности воды, очистки воды от железа, марганца. Является оптимальным, экономически эффективным решением для удаления широкого спектра загрязнений. Фильтрующая загрузка Вауfilter В фильтра обезжелезивания в процессе эксплуатации не расходуются, являются очень прочным фильтрующим материалом, физико-химические свойства загрузки отвечают требованиям ГОСТ Р 51641-2000 [13].

Baufilter В применяется в качестве загрузки в сорбционных, осветлительных, обезжелезивающих и каталитических фильтрах для удаления из воды органических загрязнений, механических примесей, железа, марганца, алюминия, фенолов, нефтепродуктов. Значительно улучшает органолептические свойства воды. Значительно снижает расход коагулянтов и флокулянтов. [13]

Baufilter В безопасен, для человека, не образует токсичных соединений, обладает высокой стойкостью к истиранию и измельчению в процессе фильтрования. Благодаря сферической форме значительно увеличивает пропускную способность систем фильтрации, отвечает всем Санитарно-Эпидемиологическим требованиям и Правилам безопасности. Позволяет осуществлять эксплуатацию фильтровального материала на существующих системах скорых и напорных фильтров. В режиме обратной промывки обладаем свойством саморегенерации и очистки удельной поверхности за счёт многослойной накатки материала при изготовлении [13].

Baufilter В состоит на 89% из диоксида кремния, обладает активным ионно-катионным обменом, обеспечивает лучшее взаимодействие с коагулянтами на основе железа и алюминия, а также с флокулянтами, что позволяет значительно сократить расход потребления химических реагентов в процессе фильтрации воды. Расход компонентов для глубокой химической очистки снижается минимум на 35% [13].

После исчерпания фильтровальной емкости, фильтрующая загрузка промывается обратной промывкой по программе запущенной при пуско-наладочных работах по объему пропущенной воды через фильтр.

Во время обратной промывки вода движется снизу вверх. Фильтрующий материал при этом разрыхляется и окисленное железо и марганец вымываются водой из фильтрующего материала. Промывная вода свободным изливом направляется в канализационную сеть.

*Вторая ступень.* Умягчение воды I ступени. После станции обезжелезивания вода подается на шесть фильтров умягчения I-ступени VAS

4872 с автоматическим клапаном управления по расходу, предназначенных для умягчения воды (удаление солей жесткости). Станция состоит: из пластикового корпуса армированного стекловолокном с фильтрующей загрузкой – ионообменная смола, солевой бак (фидер) для соли, автоматический клапан управления режимами фильтрации, регенерации.

Lewatit S 1567 новый монодисперсный сильнокислотный катионит пищевого класса на основе сополимера стирола-дивинилбензола. Lewatit S 1567 производится без применения органических растворителей. Монодисперсные смолы обладают очень высокой химической и осмотической стабильностью и благодаря этому без проблем проходят процесс дезинфекции ионитов для подготовки к производству питьевой воды. Монодисперсные иониты обладают лучшей кинетикой обмена и как следствие более высокой обменной емкостью чем их гетеродисперсные аналоги [14]. Увеличенная обменная емкость ионита позволяет работать с продолжительными фильтроциклами и очень низким значением проскока ионов и эффективно использовать реагент для регенерации. Lewatit S 1567 особо подходит для:

- умягчение в установках с регулярной дезинфекцией
- умягчение питательной воды

Lewatit S 1567 обладает следующими свойствами:

- высокие скорости потока при насыщении и регенерации
- эффективное использование установленной емкости
- низкий расход воды на отмывку
- равномерное распределение реагентов, воды и растворов однородная рабочая зона
- практически линейное гидравлическое сопротивление на протяжении слоя смолы позволяет работать с более высокими загрузками.

Регенерация установок умягчения осуществляется в автоматическом режиме путем обработки смолы раствором поваренной соли (NaCl). В качестве фильтрующего материала в фильтрах умягчения используется

катионообменная смола: сильнокислотный катионит. Регенерация катионита осуществляется 8-10% раствором поваренной.

Корпуса фильтров изготавливаются из композитных полимерных материалов пищевого класса и имеют положительные санитарно-эпидемиологические заключения.

*Третья ступень.* Умягчение воды II ступени. После станции умягчения I ступени вода подается на четыре фильтра умягчения II-ступени VAS 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу, предназначенных для удаления остаточного содержания солей жесткости. Станция состоит: из пластикового корпуса армированного стекловолокном с фильтрующей загрузкой – ионообменная смола, солевой бак (фидер) для соли, автоматический клапан управления режимами фильтрации, регенерации [14].

Регенерация установок умягчения осуществляется в автоматическом режиме путем обработки смолы раствором поваренной соли (NaCl). В качестве фильтрующего материала в фильтрах умягчения используется катионообменная смола: сильнокислотный катионит. Регенерация катионита осуществляется 8-10% раствором поваренной соли.

Корпуса фильтров изготавливаются из композитных полимерных материалов пищевого класса и имеют положительные санитарно-эпидемиологические заключения.

Очищенная вода подается в накопительную емкость чистой воды РЧВ. С накопительной емкости насосной станцией поступает на подпитку котлов.

Для удаления растворенного кислорода используется станции АСДР “Комплексон-6” (Н-80).

Подпитка усреднённая - 80 м3/час, подпитка максимальная - 160 м3/час, в комплекте с водосчетчиком ДУ-150, габаритные размеры 1350\*1350\*1280 (Ш\*Г\*В)

Таблица 4.3 - Комплектность станции АСДР “Комплексон-6” (Н-80).

1	Блок управления	2 шт
2	Насос-дозатор	2 шт

Продолжение таблицы 4.3

3	Емкость для реагентов	1 шт
4	Водосчетчики с адаптером (импульсным выходом)	1 шт
5	Фильтр-грязевик	1 шт
6	Устройство ввода реагента	2 шт
7	Шланг армированный (Ду=6,3 мм)	2 x 7 м
8	Двужильный гибкий провод	2 x 7 м
9	Паспорт, техническое описание и инструкция по монтажу и эксплуатации	1 шт

Таблица 4.4 - Технические характеристики

1	Номинальный расход воды при подпитке, м <sup>3</sup> /ч	80
2	Максимальный расход воды при подпитке, м <sup>3</sup> /ч	160
3	Ду водосчётчика (по умолчанию), мм (Ду водосчётчика может изменяться по желанию заказчика)	150
4	Максимальное давление воды в трубопроводе подпитки (стандартное исполнение АСДР), МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,8 (8,0)
5	Максимальное давление воды в трубопроводе подпитки (усиленное исполнение АСДР), МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,2 (12)
6	Диапазон заданных значений дозирования реагента (стандартный), мг/дм <sup>3</sup>	2 ÷ 22
7	Диапазон заданных значений дозирования реагента (уменьшенный), мг/дм <sup>3</sup>	1 ÷ 11
8	Основная приведённая погрешность воспроизводимости дозирования при номинальных параметрах, %	± 0,5

Продолжение таблицы 4.4

9	Напряжение питания однофазной сети 50±1 Гц, В	220±15
10	Средняя потребляемая мощность, не более, Вт	120
11	Габаритные размеры (ширина / глубина / высота), мм	1350/1350/1280
12	Объем расходной ёмкости, л	1000
13	Масса с заправленной расходной ёмкостью, кг	1195
14	Температура окружающей среды при эксплуатации, без конденсации влаги, °С	+5...+40

Для корректировки рН предусмотрена станция коррекции рН по импульсному счетчику «Пульс В0011-150».

Таблица 4.5 – Характеристики импульсного счетчика Пульс В0011-150

Модель	Пульс В0011-150
Подпитка номинальная, м3/час	150
Габаритные размеры ДхШхВ, мм (без счетчика)	800х800х1431
DN счетчика на подпитке, мм	150
Присоединения счетчика	Фланцы 150 мм
Габаритная длина счетчика, мм	300
Объем бака, л	500
Масса без реагентов, кг	45,4
Электрические параметры	220В, 50Гц, 58Вт

Таблица 4.6 – Рабочие параметры

Рабочие параметры	Стандартное исполнение	Исполнение по запросу
Максимальное рабочее противодавление в трубопроводе	6 бар	до 20 бар
Максимальная температура воды в линии подпитки	+40°С	до +150°С
Место впрыска реагента	в линию подпитки	

### 4.3 Электротехнические решения и автоматизация.

Управление насосом, автоматическими клапанами управления фильтров, датчиками уровня накопительной емкости, электромагнитным клапаном производится из помещения котельной со щита управления.

Электрические проводки в помещении водоподготовки выполняются кабелями с медными жилами с отдельными N и PE – проводниками. Кабели прокладываются в кабель-канале, либо гофре.

Таблица 4.7 - Электропотребление:

№	Наименование приборов	Потребляемая мощность суммарно, кВт/час, 220В
1	Фильтр удаления железа, марганца АС 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу - 10шт.	0,5
2	Фильтр умягчения I-ступени VAS 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу - 6шт.	0,3
3	Фильтр умягчения II-ступени VAS 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу- 4шт.	0,2
4	Прочие дополнительные нагрузки	0,3
5	Расчетная потребляемая мощность электроприемников, кВт/час (220В)	1,3

Для обеспечения электробезопасности предусмотрено защитное зануление электрооборудования, применение устройства защитного отключения (УЗО).

#### **4.4 Технологические трубопроводы.**

Трубопроводы обвязки оборудования установки подготовки для производственных нужд изготавливаются из полипропилена, тип 3, ТУ 2248-001-593653-52-2003. Расчетный срок службы трубопроводов – 30 лет.

Прокладка трубопроводов должна производиться с креплением на рамной конструкции. Для самотечных и дренажных линий уклон выполняется в сторону движения среды. Крепление трубопроводов выполняется хомутами со штоком. Монтаж и испытания произвести в соответствии с требованиями СП-40-101, СНиП 3.05.01. и СНиП 3.05.05.

#### **4.5. Требования к помещению для установки оборудования и инженерному обеспечению.**

Категория помещения ВПУ - Д по НПБ 105-03, по ПУЭ-нормальное. Степень огнестойкости здания ВПУ – не ниже III. В помещении блока водоподготовки (ВПУ) необходимо предусмотреть устройство систем отопления и вентиляции согласно требованиям СНиП 41-01-2003 и гл. 14 СНиП 2.04.02-84\*. Электроснабжение необходимо предусмотреть в соответствии с требованиями ПУЭ. Электроосвещенность необходимо предусмотреть в соответствии с требованиями для зрительных работ VI разряда и дополнительное местное освещение для приборов, установленных на оборудовании.

Для обеспечения технических мер безопасности в помещении ВПУ должно быть предусмотрено:

- заземление автоматических клапанов управления);
- энергопотребление по сети 220 В;
- защита цепей электропитания установки от короткого замыкания автоматическими выключателями.

Температура в помещении должна быть не ниже +50С и не выше +400С. В месте расположения технологического оборудования предусмотреть канализационный слив диаметром не менее 50мм.

#### 4.6 Основные требования для реализации проекта.

Таблица 4.8 - Основные требования для реализации проекта

Наименование показателей	Ед. изм.	Показатель	Примечание
Производительность установки водоочистки  - среднечасовая производительность  - пиковая часовая производительность	  м <sup>3</sup> /час.  м <sup>3</sup> /сут.	  120,0  -	
2. Требуемая площадь для размещения водоподготовительного оборудования	м	20*10*2,7	Длина*ширина *высота
3. Диапазон температуры помещения	°С	не менее +5°С, не более +40°С	
4. Диапазон температуры воды	°С	не менее +5°С, не более +40°С	
5. Влажность помещения	%	менее 70	
6. Напряжение питания	В/Гц	220/50	
7. Потребляемая мощность	кВт/час	1,3	

Продолжение таблицы 4.8

8. Расход воды на собственные нужды установки водоподготовки.			
- Расход воды на собственные нужды (при регенерации) станции умягчения I ступени	м <sup>3</sup> /сут	56,5	
- Расход воды на собственные нужды (при промывки) станции обезжелезивания	м <sup>3</sup> /сут	34,0	
- Расход воды на собственные нужды (при промывки) станции умягчения II ступени	м <sup>3</sup> /сут	23,0	

Таблица 4.9 - Перечень оборудования ВПУ

№ п/п	Наименование	Кол-во
1	Станция удаления растворенного кислорода АСДР "Комплексон-6" (Н-80).	1 шт.
2	Станция коррекции рН по импульсному счетчику Пульс В0011-150.	1 шт.
3	Щит управления	1 шт.
4	Фильтр удаления железа, марганца АС 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу	10 шт.
5	Фильтр умягчения I-ступени VAS 4872с автоматическим клапаном управления по расходу	6 шт.
6	Фильтр умягчения II-ступени VAS 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу	4 шт.
7	Комплект труб, фитингов*	1 КОМПЛ.

#### 4.7 Эксплуатация ВПУ. Мероприятия по охране труда и технике безопасности.

Техническое обслуживание и ремонт ВПУ должны проводиться в соответствии с требованиями следующих документов:

- “Правил технической эксплуатации электроустановок и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей”, утвержденных Госэнергонадзором МТЭ РФ;

- ГОСТ 12.3.006-75 “ССБТ. Эксплуатация водопроводных и канализационных сооружений и сетей, общие требования безопасности”;

- “Правила техники безопасности и эксплуатации систем водоснабжения и водоподготовки населённых мест” – отраслевой стандарт Министерства жилищно-коммунального хозяйства;

- СНиП 12-03-2001, 12-04-2002 “Техника безопасности в строительстве”.

Таблица 4.10 Сведения о должностях и численности обслуживающего персонала.

Профессия, должность	Всего работающих	В том числе по сменам		Группа производственно го процесса
		1 смена	2 смена	
1. Мастер	1	1	1	1 а
2.Машинист насосных и фильтровальных установок	1	1	1	1б
3. Электрик	1	1	1	1б

Продолжение таблицы 4.10

4. Лаборант	1	1	1	1а
ИТОГО:	4	4	4	-

Ежеквартальное техническое обслуживание и ремонтные работы на ВПУ должны производиться бригадой в составе не менее двух человек, один из которых должен иметь группу допуска не ниже 4, а другой - не ниже 3 при эксплуатации электроустановок с напряжением до 1000 В. Ремонтные работы и ежеквартальное техническое обслуживание должны производиться только по наряду. Техническое обслуживание ВПУ должно обеспечить её постоянную исправность в работе. Техническое обслуживание включает в себя:

- ежедневный осмотр;
- еженедельное обслуживание;
- ежеквартальное техническое обслуживание и профилактику.

При ежедневном осмотре внешнего состояния установки необходимо проверить крепление деталей и узлов; герметичность фланцевых прокладочных и резьбовых соединений, исправность заземления, показания манометров и показания дисплеев УФ - установок. Проверить наличие раствора в станции дозирования.

При еженедельном обслуживании следует провести все вышеуказанные работы, а также проверку состояния контрольных приборов и, при необходимости, работу электромагнитных клапанов.

При ежеквартальном техническом обслуживании в случае необходимости следует отключить установку полностью, т.е. выключить рубильник, подающий, обеспечив тем самым видимый разрыв, запереть

привод рубильника или извлечь предохранители, вывесить на нем плакат “Не включать! Работают люди”, отключить автоматические выключатели .

Объём работ при ежеквартальном техническом обслуживании:

- а) провести осмотр и техническое обслуживание;
- б) произвести принудительную промывку фильтровального оборудования.

Ежедневный осмотр и еженедельное техническое обслуживание осуществляется оперативным персоналом ВПУ с привлечением, при необходимости, ремонтного персонала предприятия.

Ежеквартальное техническое обслуживание и профилактика производятся совместно оперативным персоналом ВПУ и ремонтным персоналом предприятия.

#### **4.8 Ремонт оборудования.**

Виды и периодичность ремонтов:

В структуру ремонтного цикла входят следующие виды ремонта:

- а) текущий ремонт;
- б) средний ремонт;
- в) капитальный ремонт.

Периодичность ремонтов:

- а) текущий ремонт проводят один раз в полугодие;
- б) средний ремонт проводят один раз в год;
- в) капитальный ремонт проводят один раз в 3 - 5 лет.

Содержание ремонтных работ:

*Текущий ремонт* включает в себя замену неисправных или восстановление отдельных составных частей, а также, при необходимости, регулировочные работы: настройку систем дозации, регулировку вентилями расхода и давления подаваемой и обработанной воды. Во время текущего ремонта ВПУ проводится техническое обслуживание основного оборудования (фильтров, клапанов, вентилях и т.д.) в соответствии с эксплуатационной документацией на них.

*Средний ремонт* заключается в восстановлении параметров рабочих режимов составных частей установки ВПУ путем ремонта или замены изношенных или поврежденных деталей и узлов. В объем среднего ремонта, кроме работ в объеме текущего ремонта, входят следующие основные операции: замена неисправных элементов и деталей, чистка контактов реле и магнитных пускателей в пульте управления; проверка устранения течей воды; проверка соответствия основных параметров рабочих режимов установки, поверка манометров поверочными органами.

*Капитальный ремонт* заключается в разборке, проверке целостности и восстановлении или замене износившихся узлов и деталей ВПУ, обновление фильтрующей загрузки.

После капитального ремонта, как правило, производятся работы по подготовке ВПУ к использованию в объеме, зависящем от того, какое оборудование подверглось ремонту.

После ремонта любого вида из перечисленных и запуска ВПУ необходимо провести полный контроль качества воды.

*Персонал ремонтных бригад.* Текущий ремонт производится по месту установки оборудования ВПУ совместно оперативным и ремонтным персоналами предприятия.

Средний ремонт ВПУ производится по месту его установки совместно оперативным и ремонтным персоналом предприятия с привлечением, при необходимости, специалистов ремонтно-механического участка и службы главного энергетика.

Капитальный ремонт выполняется силами ремонтно-механического участка и службы главного энергетика с привлечением при необходимости оперативного персонала ВПУ. Капитальный ремонт производится на ремонтном участке и по месту установки ВПУ.

Таблица 4.11 - Перечень основных проверок технического состояния ВПУ

Объекты осмотра, ремонта	Технические требования
Крепёжные соединения  Фланцевые соединения бака, фланцевые и резьбовые соединения трубопроводов; вентили (задвижки), краны	Крепёжные соединения должны быть надёжно затянуты.  В местах соединений трубопроводов, регулирующей и запорной арматуры не должно быть утечек воды.  Утечки через сальниковые уплотнения штоков вентилей, кранов и шпинделей задвижек не допускается.

Продолжение таблицы 4.11

Фильтры	Вакуум и воздушная пробка в фильтре не допускаются. Не допускается наличие пыли, загрязнений на корпусе.
Электрощит ВПУ	Не допускается работа с неисправными элементами управления и сигнализации. Не допускается ослабление мест крепления проводов. Не допускается чрезмерное искрение на контактах реле, магнитных пускателей при коммутации, чрезмерная эрозия контактов и чрезмерное гудение магнитопроводов.
Станция дозирования	Не допускается наличие пыли, загрязнений на корпусе, необходимо постоянное наличие дезинфицирующего раствора в емкости.

При работе комплекса возможно появление неисправностей следующих основных типов:

- некорректная работа оборудования;
- нештатная работа электрооборудования комплекса;
- прекращение подачи воды;
- появление открытой течи воды.

Таблица 4.12 - Порядок устранения основных неисправностей

Неисправность	Причина	Способ устранения
1. Неисправность фильтров обезжелезивания:		
1.1. Фильтрующий материал в рабочем трубопроводе	Неправильно установлен фильтр	Проверить монтаж. Проверить направление стрелки на клапане
	Неправильно установлен клапан	Демонтировать клапан и заново установить его
1.2. Не запускается обратная промывка	Прервана подача тока	Проверить электрическое подсоединение
	Неправильно запрограммирована обратная подача	Заново провести запуск
1.3. Железо в чистой воде	Открыт перепускной клапан	Закрыть перепускной клапан
	Сбой в очередности обратной промывки	Произвести обратную промывку
1.4. Большая потеря давления	Закупорка в подводящем трубопроводе	Прочистить трубопровод
	Слежался фильтрующий материал	Провести обратную промывку

Продолжение таблицы 4.12

2. Фильтр механических примесей:		
2.1. Снизилось давление воды в сети	Загрязнился фильтрующий элемент	Произвести промывку, по необходимости заменить фильтрующий элемент
3. Станция дозирования		
3.1. Насос не работает (не горит зел. сигнальная лампочка)	Нет напряжения	Проверить кабель
3.2. Насос не работает (постоянно горит красная сигн.лампочка)	Не заполнена дозировочная емкость	Пополнить дозировочную емкость
3.3. Насос работает, но не подает раствор (мигает зел.сигн.лампочка)	Воздушные подушки во всасывающем трубопроводе	Удалить воздух
	Дефект мембраны	Проверить мембрану, при необходимости заменить
	Засорены дозирующие клапаны	Проверить доз.раствор Почистить доз.головку
3.4.Мигает красная/зеленая сигн.лампочка	Низкое напряжение	Восстановить напряжение в сети

#### 4.9 Техничко-экономические показатели.

Расчетная производительность ВПУ с учетом собственных нужд – 120 м<sup>3</sup>/ч.

Расчетная максимальная производительность ВПУ с учетом собственных нужд – 150 м<sup>3</sup>/ч.

Годовая программа – 240 000 м<sup>3</sup>/год.

Расход воды на с/н – 4 900 м<sup>3</sup>/год.

Количество условно-чистых стоков (включая стоки от уборки и проливы при ремонте и обслуживании)- 5 000 м<sup>3</sup>/год.

Расход гипохлорида натрия (10% раствор)-400 л/год.

Расход фильтрующего материала Вirm:

- 3х1500 дм<sup>3</sup> - первоначальная загрузка;

– 135- 225 дм<sup>3</sup>/год – пополнение загрузки.

Годовое число часов использования– 8760 ч.

Установленная мощность токоприемников – 1,3 кВт.

Численность персонала – 4 чел. В смену (при совмещении обязанностей на основном производстве).

Таблица 4.13 – Смета затрат

№ п/п	Наименование	Кол-во	Цена, руб.	Стоимость, руб.
1	Станция удаления растворенного кислорода АСДР “Комплексон-6” (Н-80).	1 шт.	194 000,0	194 000,0
2	Станция коррекции рН по импульсному счетчику Пульс В0011-150.	1 шт.	210 000,0	210 000,0
3	Щит управления	1 шт.	96 000,0	96 000,0
4	Фильтр удаления железа, марганца АС 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу	10 шт.	312 000,0	3 120 000,0
5	Фильтр умягчения I-ступени VAS 4872с автоматическим клапаном управления по расходу	6 шт.	412 000,0	4 120 000,0

Продолжение таблицы 4.13

6	Фильтр умягчения II-ступени VAS 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу	4 шт.	412 000,0	1 648 000,0
7	Комплект труб, фитингов*	1 КОМПЛ.	1 250 000,0	1 250 000,0
	Итого стоимость технологического оборудования			10 638 000,0
	Монтажные и пуско-наладочные работы			2127600,0
	<b>Общая стоимость</b>			<b>12765600,0</b>

## **5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Экономичность системы подготовки воды обусловлена стоимостью материалов и оборудования, изготовления и эксплуатации. Показателями экономичности являются технологичность конструкции, масса элементов, затраты труда, сроки изготовления и монтажа, расходы на наладку и ремонт.

### **5.1 Планирование работ и их временная оценка**

Планирование разработки проекта системы подготовки и очистки подпиточной и питательной воды. Разобьем проект на основные части, и определим время и количество человек, необходимые для выполнения каждой части. Результаты занесем в таблицу 1.

Таблица 5.1 – Планирование работ и оценка времени их выполнения.

№	Наименование работ	Исполнитель	Продолжительность, дней
1	2	3	4
1	Выдача и получение задания на выполнение дипломной работы	Научный руководитель. Инженер.	1
2	Сбор исходных данных для проектирования системы подготовки воды	Инженер.	4
3	Расчет системы водоподготовки котла и выполнения чертежей	Инженер.	20

Продолжение таблицы 5.1

4	Утверждение расчетов системы теплоснабжения и чертежей	Научный руководитель Инженер	1
5	Исправление замечаний и доработка расчётов	Инженер	3
6	Оформление работы по стандартам ТПУ	Инженер	4
7	Утверждение ВКР руководителем	Научный руководитель Инженер	1

Суммарное количество дней выполнения ВКР инженером 11р. – 32 дней; научного руководителя – 3 дня.

### 5.2 Смета затрат на проектирование

Смета затрат на проектирование определяется по следующей формуле

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (5.1)$$

где  $K_{\text{мат}}$  – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$  – амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$  – затраты на заработную плату, инженера и научного руководителя;

$K_{\text{с.о}}$  – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$  – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$  – накладные расходы.

#### 5.2.1 Материальные затраты

Материальные затраты на канцелярские товары принимаются в размере 1000 рублей

## 5.2.2 Амортизация компьютерной техники

В процессе выполнения ВКР использовалась компьютерная техника

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (5.2)$$

где  $T_{\text{исп.кт}}$  – время использования компьютерной техники, составило 32 дня

$$T_{\text{исп.кт}} = 32 \text{ дня};$$

$T_{\text{кал}}$  – календарное время 365 дней:

$C_{\text{кт}}$  – цена компьютерной техники:

$$C_{\text{кт}} = 35000, \text{руб};$$

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники 5 лет;

$$K_{\text{ам}} = \frac{32}{365} \cdot 35000 \cdot \frac{1}{5} = 613,7 \text{ руб.}$$

## 5.2.3 Общая заработная плата

Затраты на заработную плату (Кз/пл) – затраты на заработную плату.

Вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты, затраты на заработную плату (для инженера и руководителя) рассчитываем по формуле:

Затраты на заработную плату инженера и научного руководителя

$$K_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{рук}}, \quad (5.3)$$

где  $ЗП_{\text{инж}}$  – заработная плата инженера;

$ЗП_{\text{рук}}$  – заработная плата научного руководителя.

Месячная заработная плата:

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5.4)$$

где  $ЗП_0$  – месячный оклад:

– инженера  $ЗП_0 = 17000, \text{руб};$

– научного руководителя  $ЗП_0 = 30000, \text{руб};$

$K_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск:

$$K_1 = 1,1;$$

$K_2$  – районный коэффициент:

$$K_2 = 1,3.$$

Месячная заработная плата инженера:

$$ЗП_{\text{мес}} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310, \text{руб.}$$

Месячная заработная плата научного руководителя:

$$ЗП_{\text{мес}} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}$$

Расчет дневных ставок:

$$ЗП_{\text{дн}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{D}, \quad (5.5)$$

где  $D$  – количество рабочих дней в месяце. 21 день

Дневная ставка инженера:

$$ЗП_{\text{дн}} = \frac{24310}{21} = 1157,6 \text{ руб.}$$

Дневная ставка научного руководителя:

$$ЗП_{\text{дн}} = \frac{42900}{21} = 2042,8 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы согласно затраченному времени на выполнение ВКР:

$$ЗП_{\text{инж}} = 1157,6 \cdot 32 = 37043,2 \text{ руб}$$

$$ЗП_{\text{рук}} = 2042,8 \cdot 3 = 6128,4 \text{ руб}$$

Затраты на заработную плату, инженера и научного руководителя

$$K_{з/пл} = 37043,2 + 6128,4 = 43171,6 \text{ руб.}$$

#### **5.2.4 Затраты на социальные отчисления**

Затраты на социальные отчисления принимаются **30%** от затрат на заработную плату:

$$K_{с.о} = 0,3 \cdot K_{з/пл} \quad (5.6)$$

$$K_{с.о} = 0,3 \cdot 43171,6 = 12951,48 \text{ руб.}$$

**5.2.5 Прочие затраты** (амортизация компьютерной техники, затраты на заработную плату, затраты на социальные отчисления и материальные затраты) принимаем в размере 10%

$$K_{\text{пр}} = 0,1(K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}}) \quad (5.7)$$

$$K_{\text{пр}} = 0,1(1000 + 613,7 + 43171,6 + 12951,48) = 5773,67 \text{ руб.}$$

### 5.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы принимаются 200% от затрат на заработную плату;

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot K_{\text{з/пл}} \quad (5.8)$$

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot 43171,6 = 86343,2 \text{ руб.}$$

Общие затраты на проектирование

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}} \quad (5.9)$$

$$K_{\text{пр}} = 1000 + 613,7 + 43171,6 + 12951,48 + 5773,67 + 86343,2 \text{ руб.} \\ = 149853,65 \text{ руб.}$$

Полученные данные сведем в таблицу 5.2

Таблица 5.2 – Смета затрат на реализацию проекта.

Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	2
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	613,7
Затраты на заработную плату, инженера и научного руководителя	43171,6
Затраты на социальные нужды	12951,48
Прочие затраты	5773,67
Накладные расходы	86343,2
Итого	149853,65

### 5.3 Смета затрат на реализацию проекта

Смета затрат на оборудование и монтажные работы (стоимость монтажных работ принята 20% от суммарной стоимости оборудования)

Таблица 5.3 – Смета затрат на проект

№ п/п	Наименование	Кол-во	Цена, руб.	Стоимость, руб.
1	Станция удаления растворенного кислорода АСДР “Комплексон-6” (Н-80).	1 шт.	194 000,0	194 000,0
2	Станция коррекции рН по импульсному счетчику Пульс В0011-150.	1 шт.	210 000,0	210 000,0
3	Щит управления	1 шт.	96 000,0	96 000,0
4	Фильтр удаления железа, марганца АС 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу	10 шт.	312 000,0	3 120 000,0
5	Фильтр умягчения I-ступени VAS 4872с автоматическим клапаном управления по расходу	6 шт.	412 000,0	4 120 000,0
6	Фильтр умягчения II-ступени VAS 4872 с автоматическим клапаном управления по расходу	4 шт.	412 000,0	1 648 000,0
7	Комплект труб, фитингов*	1 компл.	1 250 000,0	1 250 000,0
	Итого стоимость технологического оборудования			10 638 000,0
	Монтажные и пуско-наладочные работы			2 127600,0
	<b>Общая стоимость</b>			<b>12 765 600</b>

## 5.4 Расчет ежегодных эксплуатационных издержек на содержание системы водоподготовки

$$K_{\text{год}} = K_{\text{ам}} + K_{\text{зп}} + K_{\text{соц}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{нак}} + K_{\text{пр}}, \text{руб./год.} \quad (5.10)$$

где

$K_{\text{год}}$  - годовые эксплуатационные затраты, руб.;

$K_{\text{ам}}$  - амортизационные отчисления, руб.;

$K_{\text{зп}}$  – годовые затраты на заработную плату, руб.;

$K_{\text{соц}}$  - затраты на социальные нужды, руб.;

$K_{\text{тр}}$  - издержки на текущий ремонт, руб.;

$K_{\text{нак}}$  – затраты на накладные расходы, руб.;

$K_{\text{пр}}$  - прочие расходы, руб.

### 5.4.1 Годовые амортизационные отчисления

Годовые амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$K_{\text{ам}} = N_a \cdot K, \text{руб/год} \quad (5.11)$$

где

$K$  - капитальные затраты, руб.;

$N_a$  - норма амортизации, 1/год.

Норму амортизации определим по следующей формуле:

$$N_a = \frac{1}{T_{\text{сл}}} \cdot 100\% \text{ 1/год,} \quad (5.12)$$

где  $T_{\text{сл}}$  - срок службы установленного оборудования, год.

Для системы подготовки воды с применением электрооборудования (станций дозирования, фильтров умягчения и удаления железа)  $T_{\text{сл}}$  – 10 лет (гарантия завода изготовителя).

Тогда норма амортизации для водяной системы водоподготовки равна:

$$N_a = \frac{1}{10} \cdot 100\% = 10\% = 0,10(1/\text{год})$$

$$K_{\text{ам}} = 0,10 \cdot 12765600 = 1276560 \text{ руб/год}$$

### 5.4.2 Годовые затраты на заработную плату

Месячная заработная плата сантехника:

$$K_{зпл} = 3П_о \cdot K_1 \cdot K_2, \text{руб.} \quad (5.13)$$

$3П_о$  - месячный оклад слесаря сантехника – 8400 руб.;

$K_1 = 1,1$  (10%)- коэффициент, учитывающий отпуск.

$K_2 = 1,3$  (30%) - районный коэффициент;

$$K_{зпл.м.} = 8400 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 12012 \text{ руб.}$$

Тогда годовые затраты на заработную плату слесаря-сантехника:

$$K_{зпл.г.} = 12012 \cdot 12 = 144144 \text{ руб/год.}$$

#### 5.4.3 На отчисления единого социального налога (ЕСН)

Затраты на социальные отчисления рассчитываются как 30% от затрат на оплату труда:

$$K_{соц} = 30\% \cdot K_{зпл.г.}, \text{руб/год} \quad (5.14)$$

#### 5.4.4 Годовые затраты на текущий ремонт

Принимаем 20% от затрат на амортизацию оборудования:

$$K_{тр} = 20\% \cdot K_{ам}, \text{руб/год} \quad (5.15)$$

#### 5.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы рассчитываются как 200% от затрат на оплату труда.

$$K_{накл} = 2 \cdot K_{зпл}^{\Sigma}, \text{руб} \quad (5.16)$$

Прочие расходы принимаем 10% от суммы всех издержек

$$K_{пр} = 10\% \cdot (K_{ам} + K_{зп} + K_{соц} + K_{тр} + K_{накл}), \text{руб} \quad (5.17)$$

Тогда, годовые эксплуатационные затраты составят:

**Вывод:** затраты на установку новой системы подготовки составили:

- 12 765 600 рублей на поставку и монтаж нового соответствующего оборудования, входящего в систему комплексной водоподготовки воды котла КВГМ-100;

- 6 022 641 рублей/год составили эксплуатационные затраты на содержание системы водоподготовки за один год.

Из этого можно увидеть что общая сумма затрат достаточно большая

для небольшого предприятия, однако в течении нескольких лет проект окупит себя за счет уменьшения затрат на ремонты , замену оборудования котельной простой оборудования. Система повысит качество подпиточной и питательной воды, что соответственно значительно уменьшит влияние коррозии и отложений на оборудование котла.

## **6.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение:**

Корпоративная социальная ответственность - это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы. Это обязательство выходит за рамки установленного законом обязательства соблюдать законодательство и предполагает, что организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников и их семей, а также местного сообщества и общества в целом.

Практика социальной ответственности является предметом многочисленных споров и критики. Защитники утверждают, что имеется прочное экономическое обоснование корпоративной социальной ответственности, и корпорации получают многочисленные преимущества от того, что работают на более широкую и продолжительную перспективу, чем собственная сиюминутная краткосрочная прибыль. Критики спорят, что корпоративная социальная ответственность уводит в сторону от фундаментальной экономической роли бизнеса; одни утверждают, что это не что иное, как приукрашивание действительности; другие говорят, что это попытка подменить роль правительства в качестве контролера мощных мульти национальных корпораций.

### **6.1 Безопасность производственной деятельности**

#### **Анализ источников опасностей и вредностей**

##### **Рабочая зона помещения котельной**

В котельной предусмотрены легкобрасываемые конструкции из расчета  $0,03 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема котельного зала.

Класс ответственности здания – II.

Категория взрывопожарной безопасности – А.

В соответствии с [СНиП Проектирование автономных источников теплоснабжения потребитель теплоты по надежности теплоснабжения относится ко II-ой категории].

### **Технологическое оборудование**

В здании котельной располагается 2 котельных агрегата, работающих на газовом топливе; водяные насосы с эквивалентным уровнем звукового давления 5 дБ, привод насосов. В котельной также располагается множество трубопроводов горячей воды, различные агрегаты, работающие при высоких температуре и давлении.

В целях безопасности в котельной установлены системы автоматического управления режимом работы котельных агрегатов, системы регулирования тепловой нагрузки, соотношения газа и воздуха, а также клапаны, задвижки, вентили, манометры, датчики уровня воды, расходомеры, датчики давления и температуры.

### **Технологический процесс**

В процессе эксплуатации котельных установок могут возникнуть аварийные ситуации. Если при этом не сработают предохранительные клапаны или другие устройства системы безопасности, то может произойти взрыв. Таким образом, неисправность контрольно-измерительных приборов и средств обеспечения безопасности могут стать источниками опасности.

Источниками возможного возгорания в помещении могут быть деревянные конструкции оконных заполнителей, различные газы и жидкости.

Источниками опасности также могут стать параметры электрического тока, загрязненность воздуха помещения котельной пылью, чрезмерный шум, вибрация от работы электродвигателей, насосов, вентиляторов.

Наличие газопроводов горючих газов обуславливает опасность загазованности внутреннего объема здания, что может привести к образованию взрыво- и пожароопасных смесей, а также к отравлению

персонала. Помимо газов возможны выбросы других вредных веществ: кислорода, серной кислоты, фосфата натрия, энергетических масел, мазута.

В котельной имеется значительное количество трубопроводов пара и горячей воды с температурой более 100°С. Некоторые трубопроводы по технологическим особенностям неизолированы и поэтому дают довольно сильное тепловое излучение. Кроме того, рассмотренные трубопроводы представляют опасность еще и как сосуды, работающие под давлением.

## **6.2 Оценка ОиВПФ и средства защиты от них**

Данные по исследованию опасных и вредных факторов в помещении котельной представлены в таблице 14. Основными такими факторами являются: запыленность воздуха, шум, микроклимат внутри помещения (температура, относительная влажность, подвижность воздуха), освещение, параметры электрического тока, взрыво- и пожароопасность. В таблице приведено сравнение нормативных параметров с фактическими и предложены мероприятия по защите от ОиВПФ.

Таблица 6.1- Оценка ОиВПФ и средства защиты от них

Опасные и вредные факторы (ОиВФ)	Параметры ОиВФ		Нормативный документ	Мероприятия и средства защиты
	фактическая величина	нормативная величина		
1	2	3	4	5
<p>1. Параметры микроклимата для категории работ IIб</p> <p>– Температура, °С</p> <p>Теплое время года</p> <p>Холодное время года</p> <p>– Относительная влажность, %</p> <p>– Подвижность воздуха, м/с</p>	<p>19...21</p> <p>15...19</p> <p>40-60</p> <p>0,2</p>	<p>19...21</p> <p>17...19</p> <p>40-60</p> <p>0,2</p>	<p>СанПиН 2.2.4.548-96</p>	<p>Требуемые параметры обеспечиваются необходимой толщиной стен по теплотехническим расчетам и работой систем отопления, вентиляции</p>
<p>2. Запыленность воздуха</p> <p>– концентрация кремнийсодержащей пыли, мг/м<sup>3</sup></p>	<p>2</p>	<p>6</p>	<p>ГОСТ 12.1.005-88*</p>	<p>Снижение концентрации пыли за счет работы системы вентиляции</p>
<p>3. Освещение рабочего места:</p> <p>– наименьший размер объекта различения, мм;</p> <p>– разряд зрительных работ;</p> <p>– подразряд зрительных работ;</p> <p>а) Естественное освещение, (КЕО) еф, %</p> <p>б) Искусственное освещение, Е, лк</p>	<p>0,25</p> <p>II</p> <p>V</p> <p>4</p> <p>4104</p>	<p>0,3</p> <p>II</p> <p>V</p> <p>1,35</p> <p>4000</p>	<p>СНиП 23-05-95*</p>	<p>Так как фактические значения больше нормативных освещенность помещения искусственным и естественным светом достаточная</p>

Продолжение таблицы 6.1

<p>4. Параметры электрического тока:          – напряжение, U, В;          – сила тока, I, А;          – изоляция токопроводящих проводников, кОм;          – сопротивление защитного заземления, Ом</p>	<p>380 31 500 4</p>	<p>до 1000 до 500 500 4</p>	<p>ПУЭ, ПТЭ, ПТБ</p>	<p>Защитная изоляция, защитное заземление и зануление, автоматические отключающие устройства, индивидуальные средства защиты</p>
<p>5. Шум          Уровни звукового давления, L, дБ на среднегеометрических частотах, f, Гц:          63          125          250          500          1000          2000          4000          8000</p>	<p>78 78 79 73 66 64 64 48</p>	<p>99 92 86 83 80 78 76 74</p>	<p>ГОСТ 12.1.003 -83</p>	<p>Строительно-акустические мероприятия, технические средства, дистанционное управление оборудованием</p>
<p>6. Возгорание материалов;          – удельная пожарная нагрузка, <math>q=Q/F</math>, МДж/м<sup>2</sup>          Категория по ВПО          Степень огнестойкости</p>	<p>35</p>	<p>1-180 В4 II</p>	<p>НПБ 105-95; СНиП 21-01-97</p>	<p>Первичные средства пожаротушения</p>

### **6.3 Мероприятия по защите от вредных и опасных факторов**

#### **Защита работающего персонала от тепловых излучений температур**

Для защиты работающего персонала от инфракрасного и теплового излучений их интенсивность уменьшают. Для этого применяют тепловую изоляцию, охлаждение теплоизлучающих поверхностей, экранирование источников излучений, удаление избыточного тепла, средства индивидуальной защиты; устанавливают рациональный режим труда и отдыха и др.

Тепловая изоляция является эффективным и самым экономичным средством вследствие уменьшения интенсивности инфракрасного излучения от нагретых поверхностей энергетического оборудования, общих тепловыделений, а также предотвращения ожогов при прикосновении к этим поверхностям. Изоляция оборудования должна обеспечивать температуру ее наружной поверхности не более 45°C.

#### **Защита работающего персонала от шума и вибрации**

Снижение шума осуществляется техническими средствами; строительно-акустическими мероприятиями; применением дистанционного управления шумными машинами; организационными мероприятиями (выбором рационального режима труда и отдыха, сокращением времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактическими и другими мероприятиями); применением средств индивидуальной защиты.

Снижение вибрации от работающих электродвигателей и вращающихся механизмов достигается путем их установки на массивные фундаменты или устранением жестких связей между фундаментом двигателя и рабочей площадкой на этой отметке путем создания воздушной щели шириной 1-2 см. Вибрацию также можно снизить облицовкой листов покрытия пола вибродеформирующими материалами, которые

приклеиваются к нижней поверхности листов в виде резиновых полос или специальных ковриков.

### **Защита работающего персонала от вредных выбросов**

Защита от газо- и паровыделений, прежде всего, предусматривает местную вытяжную вентиляцию для отсоса вредных веществ непосредственно от источника их образования. Кроме того, технологические процессы, которые сопровождаются выделением вредных веществ, заменяют более совершенными и экологичными. На участках, где применяются агрессивные вредные вещества (кислоты, щелочи и др.), полы и стены покрыты материалами, препятствующими поглощению этих веществ.

### **Защита персонала от поражения электрическим током**

Для защиты персонала от возможности травмирования электрическим током применяют защитное заземление электрооборудования, ограничение доступа к токоведущим частям персонала, не имеющего права к обслуживанию данного оборудования. Питание устройств осуществляется от силового щита через автоматический предохранитель, срабатывающий при превышении заданной нагрузки. Необходимо поддержание поверхностей, на которых расположены органы управления электрооборудованием, в чистоте и сухости.

### **Пожарная безопасность**

Промышленная котельная по пожарной опасности относится к категории В. Но при чрезвычайных ситуациях, по пожарной опасности котельный цех приобретает категорию Б, так как здесь возможно выделение газов с нижним пределом взрываемости выше 10% объема воздуха; жидкости с температурой воспламенения паров 28...61°C; жидкости, нагретой в условиях производства до температуры вспышки и выше; горючей пыли или волокна с нижним пределом воспламенения до 65 г/м<sup>3</sup> к объему воздуха.

Повышенную опасность составляют горючий газ и пары легковоспламеняющихся жидкостей. В котельной имеются эвакуационные пути на случай пожара. Эти пути представлены на специальных плакатах, развешенных на щитах управления и в местах повышенного скопления персонала.

Во всех помещениях котельной установлен пожарный водовод с пожарными кранами. Давление воды в пожарном водоводе не менее 4 кгс/см<sup>2</sup>, диаметр – 80 - 100мм. Пожарные краны внутреннего противопожарного водовода укомплектованы рукавами и стволами, которые находятся на рабочих местах машинистов котлов, в комнате начальника котельной. В местах возможного разлива легковоспламеняющихся жидкостей установлены ящики с песком.

#### **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за

исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

### **Вывод:**

В результате выполненной работы получены данные позволяющие выполнить рекомендации по улучшению режимных параметров теплотехнического оборудования, уменьшению загрязнения окружающей среды, улучшения условий труда.

## Заключение

В результате проделанной работы, был проанализирован вопрос модернизации системы водоподготовки водогрейного котла ст. №7 тип КВ–ГМ–100–150, установленного на промышленной площадке ООО «Томскнефтехим». Из сопоставления показателей качества воды в источнике следовало, что требуется осветление, обезжелезивание, деманганация, удаление солей жесткости, корректировка рН, удаление растворенного кислорода. Источником водоснабжения являлся р. Томь.

В результате исследования и анализа причин возникновения отложений на поверхности нагрева данного котлоагрегата была подобрана подходящая система подготовки воды обеспечивающая доведения до норм показатели теплоносителя.

Выпускная квалификационная работа модернизация системы подготовки воды для повышения долговечности котла КВГМ-100 ООО «Томскнефтехим» г. Томск выполнена в соответствии с современными техническими требованиями и нормативными документами.

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы был проведен поиск, сбор и анализ информации из существующих российских и зарубежных источников по водоподготовке.

Более того, в данной ВКР была проведена оценка и расчет затрат требуемых на проектирование выбранной системы водоподготовки.

## Список использованных источников

1. Гладышев Г.П., Аминов Р.З. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС. – М: Высшая школа, 1991. –303 с.[1.1]
2. Полонский В.С. и др. Особенности физико-химических условий эксплуатации водогрейных котлов типа КВГМ Самарской ГРЭС//Теплоэнергетика. – 1997. №5.- С. 22-27. [1.2]
3. Образование отложений накипи в отопительных котлах . Каменецкий Б.Я./Водоснабжение и санитарная техника - 1985. - №7. – С. 20-21.[1.3]
4. Ногин В.И. Возможные пути увеличения длительности и повышения надежности работы ВК//Электрические станции -1999. -№10.- С. 72[1.4]
5. Чубарь Л.С., Ершов Ю.А. Совершенствование теплофикационных водогрейных котлов //Теплоэнергетика.-1999.-№9 –С.39-45.[1.4.1]
6. Шицман М.Е. Обзор эксплуатационных данных по интенсивной коррозии и образованию отложений в поверхностях нагрева водогрейных котлов КВГМ-180 и КВГМ-100//Теплоэнергетика 2000.- №1 С. 28-32.[2.1]
7. Казанов В.И. Защита внутренних поверхностей котельного оборудования от коррозии и отложений на государственном унитарном предприятии «Мостеплоэнерго»//Теплоэнергетика 2001. №8. С. 65-67. [2.2]
8. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация : учебник для нач. проф. образования, - 6 издание, 2011.- 432 с.
9. Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.Я. Берзиньш/Производственные и отопительные котельные, 1984 г. - 248 с.
10. Энергия – СПб [Электронный ресурс] URL - <http://котлы-кв.рф/>.
11. Аккредитованная межвузовская лаборатория Радиационной спектроскопии Томского Политехнического Университета (Протокол №318-1/2013 от 11.07.2013)

12. РД 24.031.120-91. «Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического контроля»

13. ООО «Центр качества водных технологий» [Электронный ресурс]  
URL - <http://aquasorbent.ru/filtruyuschie-materialy-baufilter.php>

14. ГК РЕСУРС [Электронный ресурс] URL - <http://www.recyrc.ru>

15. Роддатис К. Ф., Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности/Под ред. К.Ф. Роддатиса.-М.: Энергоатомиздат, 1989.- 488 с.: ил.

16. Любимова Л.Л. , Технология подготовки воды для контуров котлов, парогенераторов, реакторов и систем их обеспечения: учебное пособие/ Л.Л. Любимова, А.С. Заворин, А.А. Макеев; Томский политехнический университет.- Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 293 с.

17. Сидельковский Л.Н., Юрнев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов.-3-е издание, перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.: ил.

18. Бузников Е.Ф. и др. Пароводогрейные котлы для электростанций и котельных/Е.Ф. Бузников, А.А. Верес, В.Б. Грибов; Под общ. ред. Е.Ф. Бузникова. – М.: Энергоатомиздат, 1989.- 208 с.: ил.

19. Рихтер Л. А. и др. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Л. А. Рихтер, Д. П. Елизаров, В. М. Лавыгин. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 216 с, ил.

20. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике. – 2003.- 310 с.

21. Чебанов С.Н. Водоподготовка и водный режим электрических станций. - 2001. - 296 с.

22. Ларин Б.М., Бушуев Е.Н. Основы математического моделирования химико-технологических процессов обработки теплоносителя на ТЭС и АЭС,-2009. – 312 с.