

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

На правах рукописи



**КОЗЛОВСКИЙ Владислав Вадимович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА СИСТЕМ  
ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС НА ОСНОВЕ РЕАГЕНТОВ  
ВТИАМИН**

Специальность: 05.14.14 – Тепловые электрические станции,  
их энергетические системы и агрегаты

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: д-р т. наук, доцент      Ларин  
   Андрей Борисович

Иваново–2021

## Реферат

Диссертация 205 стр., 58 рис., 49 табл., 106 библ.

Системы оборотного охлаждения (СОО), конденсаторы паровых турбин, водно-химический режим, методика промышленных исследований, физическая модель СОО, реагенты на основе органических аминов, скорость коррозии и отложений.

Объектом исследования является водный теплоноситель СОО конденсаторов паровых турбин ТЭС, контактирующий с образцами-свидетелями коррозии металлов, теплообменным элементом в составе испытательного стенда, как при отсутствии корректирующих добавок, так и при вводе ингибиторов коррозии и отложений, в т.ч. комплексных отечественных реагентов «ВТИАМИН».

**Целью работы** является повышение эффективности водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС с использованием новых отечественных реагентов семейства ВТИАМИН для снижения интенсивности отложений и коррозии на теплопередающих поверхностях.

Выполнен аналитический обзор опубликованных данных о состоянии ВХР оборотных систем охлаждения ТЭС, показаны проблемы эксплуатации и определены задачи исследования, связанные с заменой импортных реагентов комплексными отечественными реагентами семейства ВТИАМИН.

Разработана методика исследований и опытно-промышленных испытаний состояния ВХР СОО с использованием мобильного стенда применимые непосредственно на действующих ТЭС. Проведены исследования и получены положительные результаты по снижению скоростей коррозии, отложений и биообрастаний на элементах конструкции СОО, проведены опытно-промышленных испытания новых реагентов ВТИАМИН. Для отдельных СОО ТЭС обоснованы допустимые значения таких показателей ВХР, как кратность упаривания, транспорт кальция, скорость коррозии, концентрации примесей.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>7</b>
<b>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ .....</b>	<b>12</b>
1.1. Особенности эксплуатации и водного режима СОО ТЭС .....	12
1.2. Типы традиционных водно-химических режимов СОО и применяемые реагенты ..	15
1.2.1. Подкисление циркуляционной воды .....	15
1.2.2. Фосфатирование воды.....	16
1.2.3. Рекарбонизация охлаждающей воды дымовыми газами.....	17
1.2.4. Применение антинакипинов и ингибиторов.....	18
1.3. Предотвращение биологических обрастаний .....	21
1.3.1. Хлорирование воды.....	22
1.3.2. Применение медного купороса .....	23
1.3.3. Обработка биоцидами .....	23
1.4. Анализ направлений и результатов научных исследований по совершенствованию водно-химических режимов СОО ТЭС.....	25
1.5. Иные оборотные системы водопользования на ТЭС .....	32
1.6. Выводы по первой главе. Цель и задачи работы .....	36
<b>ГЛАВА 2 КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС .....</b>	<b>37</b>
2.1. Расчетно-экспериментальная оценка состояния ВХР СОО.....	38
2.2. Методика стендовых исследований водно-химического режима СОО ТЭС.....	41
2.2.1. Стенд для исследования состояния ВХР СОО .....	42
2.2.2. Принцип работы испытательного стенда.....	43
2.2.3. Порядок проведения испытаний .....	44
2.3. Методика лабораторных исследований .....	46
2.3.1. Методика определения скорости протекания коррозии по образцам-свидетелям .	46
2.3.2. Методика оценки интенсивности биологических обрастаний .....	47
2.4. Пример реализации расчетно-экспериментальной методики оценки состояния ВХР СОО ТЭЦ.....	47
2.5. Обоснование выбора комплексного реагента.....	49
2.6. Выводы по второй главе .....	51

<b>ГЛАВА 3. СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ВХР СОО</b> .....	<b>52</b>
3.1. Результаты стендовых исследований на московской воде .....	52
3.1.1. Первый этап испытаний на стенде (вода без реагента) .....	52
3.1.2. Второй этап испытаний с применением реагента ВТИАМИН ТС-4 с дозой 10 г/м <sup>3</sup> подпиточной воды .....	55
3.1.3. Третий этап испытания с применением реагента ВТИАМИН ТС-6 с дозой 10 г/м <sup>3</sup> подпиточной воды .....	58
3.1.4. Четвертый этап испытания с применением реагента ВТИАМИН ТС-34 с дозой 5 г/м <sup>3</sup> в подпиточную воду .....	60
3.1.5. Пятый этап испытания с применением реагента PuroTech 110 с дозой 10 г/м <sup>3</sup> в подпиточной воде .....	63
3.1.6. Шестой этап испытания с применением реагента PuroTech iChem 1032A с дозой 10 г/м <sup>3</sup> в подпиточную воду .....	66
3.2. Исследование эффективности биоцидной обработки московской воды .....	68
3.3. Анализ результатов стендовых испытаний .....	78
3.4. Выводы по третьей главе .....	79
<b>ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ РЕАГЕНТОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b> .....	<b>82</b>
4.1. Характеристика системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» и условий опытно-промышленных испытаний .....	83
4.2. Результаты опытно-промышленных испытаний ВХР системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» при дозировании реагентов ВТИАМИН ТС-5 и ВТИАМИН ЗС-6 .....	86
4.2.1. Исследование интенсивности образования отложений .....	86
4.2.2. Исследование интенсивности коррозионных процессов .....	89
4.2.2.1. Этап пуск-наладочных работ .....	93
4.2.2.2. Период стабильной работы .....	94
4.2.2.3. Период переключений .....	97



4.3. Испытания эффективности биоцидной обработки циркуляционной воды системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» в период опытно-промышленных испытаний .....	100
4.4. Выводы по четвертой главе .....	104
<b>ГЛАВА 5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАГЕНТОВ СЕМЕЙСТВА «ВТИАМИН» .....</b>	<b>107</b>
5.1. Исследование состояния ВХР СОО энергоблока ПГУ-450 Калининградской ТЭЦ-2 .....	107
5.1.1. Состояние оборудования и водно-химического режима системы оборотного охлаждения (ВХР СОО). .....	107
5.1.2. Исследование альтернативного водно-химического режима системы оборотного охлаждения на основе реагента ВТИАМИН ЭКО-1 .....	114
5.1.3. Расчет технико-экономических параметров различных модификаций водного режима системы оборотного охлаждения .....	125
5.1.4. Выводы по результатам опытно-промышленных испытаний реагента ВТИАМИН ЭКО-1 .....	128
5.2. Исследование применения реагента марки ВТИАМИН в СОО филиалов ООО «Башкирская генерирующая компания» .....	129
5.2.1. Выполнение опытно-промышленных испытаний новой реагентной обработки системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ ООО «БГК» .....	130
5.2.2. Технико-экономический расчет применяемой обработки системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ ООО «БГК» .....	133
5.2.3. Исследование применения реагента марки ВТИАМИН на Уфимской ТЭЦ-1 ООО «БГК» .....	136
5.2.3.1. Проведение обработки циркуляционной воды реагентом ВТИАМИН Б-6 .....	137
5.2.3.2. Выводы по применению реагента ВТИАМИН Б-6 .....	141
5.4. Выводы по пятой главе .....	142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	145
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	147
Приложение 1. ....	157
Приложение 2. ....	159

Приложение 3. ....	161
Приложение 4. ....	162
Приложение 5. ....	165
Приложение 6. ....	167
Приложение 7. ....	171
Приложение 8. ....	171

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В настоящее время в энергетике актуален выбор водно-химического режима (ВХР) для систем оборотного охлаждения. Такие системы обеспечивают охлаждение конденсаторов турбин, работу вспомогательных систем ТЭС. Основная проблема – предотвращение отложений и коррозии, обусловлена различием в типах систем оборотного охлаждения и качеством подпиточной воды. Для каждого типа системы оборотного охлаждения существует своя особенность в подборе ВХР и реагентов для его ведения, вытекающая, в том числе, из типа материалов, используемых в градирнях и конденсаторах. Традиционный режим с дозированием серной кислоты и фосфатов часто не решает проблемы, связанные с образованием отложений и протеканием процессов коррозии. Отложения на теплопередающих поверхностях могут влиять на уменьшение вакуума за турбиной, т.е. на параметр, определяющий общую экономичность работы энергетической установки. Не менее важна чистота оросительных устройств градирен, где происходит охлаждение воды, обеспечивающее регламентную температуру охлаждающей воды. Протекание процессов коррозии приводит к возникновению присосов охлаждающей воды в конденсат, что требует замены латунных сплавов с высокой теплопроводностью на иные дорогостоящие сплавы. Для коррекции ВХР систем оборотного охлаждения часто используются органические вещества, содержащие в своем составе азот или фосфор. Для правильного выбора ВХР систем оборотного охлаждения необходимо учитывать существенные особенности конкретного объекта, качество исходной воды, тип используемых материалов, а также температурный режим.

**Степень разработанности темы диссертации.** Научные исследования по совершенствованию ВХР систем оборотного охлаждения ТЭС направлены на снижение низкотемпературного накипеобразования, скорости коррозии конструкционных материалов, объема и агрессивности продувочных (сточных) вод. В работах МЭИ показано, что дозирование в циркуляционную воду ОЭДФК, хеламина 9100МК, ОДА и реагента AZ8101 не позволяет эффективно снизить скорость коррозии латуни Л-68. Зарубежом, как правило, существуют комплексные программы обработки охлаждающей воды ингибиторами. Существует множество различных ингибиторов, а именно: хроматы, нитриты, бензоаты, бораты, фосфаты и силикаты. В

работах Казанского государственного энергетического университета ведутся разработки по совмещению схемы систем оборотного охлаждения со схемами водоподготовки на ТЭС. Обобщая результаты научных исследований, можно заключить, что магистральным направлением решения проблем образования отложений и коррозии в системах оборотного охлаждения на ТЭС является применение ингибиторов.

**Целью диссертации** является повышение эффективности водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС с использованием новых отечественных реагентов семейства ВТИАМИН для снижения интенсивности отложений и коррозии на теплопередающих поверхностях.

Для достижения цели в работе решаются следующие **задачи**:

1. Разработка методик расчетного и экспериментального исследования эффективности новых ингибиторов отложений и коррозии для условий систем оборотного охлаждения на ТЭС.

2. Создание мобильной установки для исследований эффективности ингибиторов непосредственно в промышленных условиях с возможностью регулирования и контроля расхода и состава растворов, температурных режимов и степени концентрирования примесей.

3. Исследование ВХР систем оборотного охлаждения в условиях фактической эксплуатации и при дозировании новых комплексных реагентов семейства ВТИАМИН в качестве перспективных отечественных реагентов широкого спектра использования.

**Научная новизна работы:**

1. Разработана комплексная методика исследования состояния водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС, обеспечивающая получение оперативных данных по интенсивности минеральных и биологических отложений и скорости коррозии конструкционных материалов в фактических условиях теплообмена, отличающаяся использованием мобильной стендовой установки с возможностью испытаний непосредственно на промышленных объектах с максимальным приближением к условиям эксплуатации систем оборотного охлаждения.

2. Получены новые данные и результаты исследований при использовании действующих ингибиторов и новых комплексных отечественных реагентов семейства ВТИАМИН, способных заменить импортные аналоги в системах оборотного охлаждения ТЭС.

3. Разработан перспективный водно-химический режим системы оборотного охлаждения ТЭС с блоками ПГУ на основе использования комплексного реагента ВТИАМИН ЭКО-1, обеспечивающий при коэффициенте упаривания 3,5 практически безнакипный (среднее значение скорости роста отложений – 0,036 г/(м<sup>2</sup>·ч)) и низкоккоррозионный (среднее значение скорости коррозии образцов Ст. 20 – 0,0517 мм/год, латуни – 0,016 мм/год) режим с расчетным углублением вакуума в конденсаторе 0,0244 кгс/см<sup>2</sup>.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке и обосновании расчетно-экспериментальной методики на базе использования мобильной стендовой установки, позволяющей дать количественную оценку состояния водно-химического режима системы оборотного охлаждения ТЭС по показателям, характеризующим отложения на поверхности теплообмена и коррозию конструктивных элементов.

**Практическая значимость результатов работы:**

1. Разработана универсальная мобильная стендовая установка, применимая для оперативной оценки состояния водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС в широком диапазоне качества подпиточной воды и ее степени упаривания.

2. Исследованы и рекомендованы к использованию на ТЭС новые отечественные реагенты марки ВТИАМИН, обеспечивающие эффективную замену импортных ингибиторов отложений и коррозии.

3. Полученные результаты могут использоваться как для совершенствования водно-химических режимов действующих систем оборотного охлаждения ТЭС, так и для проектирования новых систем (включая блоки ПГУ).

**Методология и методы исследования** определяются целью и задачами работы, сложившимися научными подходами и направлены на совершенствование водного режима систем оборотного охлаждения ТЭС. По существу, методология базируется на разработке расчетно-аналитического метода, основанного на достоверных и воспроизводимых данных о состоянии водного режима оборотных систем ТЭС,

полученных на реальном промышленном объекте с использованием стендовой установки и набора стандартных методик определения состава и массы минеральных, биологических отложений и скорости коррозии образцов-свидетелей.

**Достоверность и обоснованность результатов** подтверждается использованием апробированных методов и средств моделирования химико-технологических процессов теплообменного оборудования, достоверных расчетных методик и методик химического анализа подпиточной и циркуляционной воды, ГОСТИрованных методик определения массы отложений и скорости коррозии, а также совпадением, в пределах погрешности экспериментальных данных, значений отдельных показателей с данными других авторов.

**Автор защищает:**

1) комплексную методику количественной оценки состояния водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС;

2) мобильную стендовую установку для оперативной оценки состояния водно-химического режима непосредственно в условиях промышленной эксплуатации систем оборотного охлаждения ТЭС;

3) результаты исследований водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС как в условиях применения импортных ингибиторов, так и при использовании отечественных реагентов;

4) результаты использования реагента ВТИАМИН ЭКО-1 для совершенствования водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС с блоками ПГУ.

**Реализация результатов работы** подтверждена следующим:

1) заключением № ВТ-02 от 13 января 2020 г. по результатам проведения программы импортозамещения реагентами марки ВТИАМИН;

2) отчетом о применении реагента ВТИАМИН Б-6в качестве биоцидной обработки брызгального бассейна Уфимской ТЭЦ-4 производственной площадки Уфимская ТЭЦ-1 от 28.06.2018 №БГК/КП/0038 в рамках программы импортозамещения реагентами марки ВТИАМИН;

3) отзывом о проведении опытно-промышленных испытаний на Приуфимской ТЭЦ в рамках программы импортозамещения реагентами марки ВТИАМИН.

**Личное участие автора в получении результатов работы** состоит в разработке методологии исследования, конструкции и условий испытания на стендовой установке,

в получении и анализе результатов исследований на промышленных площадках ТЭС в объеме, определенном комплексной методикой, в разработке рекомендаций по применению реагентов марки ВТИАМИН для коррекции водно-химических режимов ряда оборотных систем ТЭС, в подготовке публикаций по тематике исследования.

**Апробация работы.** Результаты работы представлены на международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бернардосовские чтения)» (ИГЭУ, г. Иваново, 2019 г.), международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Энергия-2020» (ИГЭУ, г. Иваново, 2020г.), «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (МЭИ, г. Москва, 2018 г.); международной конференции «ВПУ и ВХР ТЭС» (Москва, ОАО «ВТИ», 2020 г.);научно-практической конференции «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике» (г. Нижний Новгород, ООО «ВЗОР», 2019 г.), научно-технических семинарах кафедры ХХТЭ ИГЭУ (г. Иваново, ИГЭУ, 2019, 2020 гг.), научно-технических советах ОАО «Интер РАО – Электрогенерация» (г. Москва, 2019 г.) и АО «ВНИИАЭС» (г. Москва, 2019 г.).

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 16 печатных работ, в том числе 4 статьи в изданиях по перечню ВАК, 3 патента на изобретение, 9 тезисов и полных текстов докладов конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 205 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 106 наименований и 8 приложений. Работа содержит 58 рисунков и 49 таблиц.

## ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

### 1.1. Особенности эксплуатации и водного режима СОО ТЭС

Системы оборотного охлаждения конденсаторов турбин характеризуются большими расходами охлаждающей воды. Существуют два типа систем охлаждения конденсаторов – прямоточная и оборотная [1-5].

При использовании прямоточной системы (рис. 1.1) повышается опасность теплового загрязнения водоема или реки, поэтому вода после конденсатора сбрасывается в специальный канал, где она охлаждается перед поступлением в водоем, из которого она забирается.

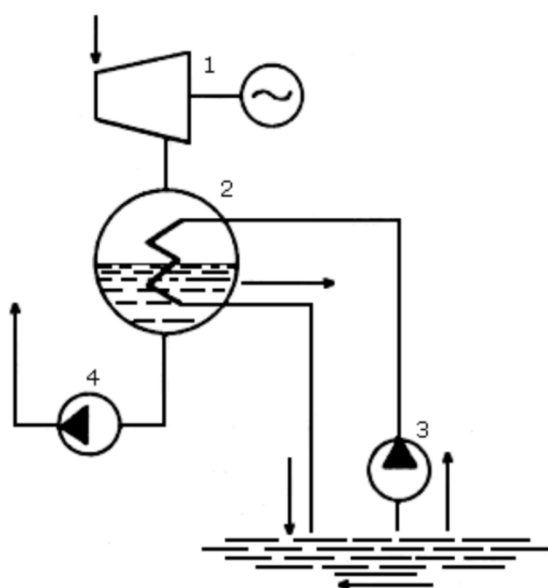


Рис. 1.1. Схема прямоточного охлаждения конденсаторов:  
1-турбина; 2-конденсатор; 3-насосы береговой насосной; 4-конденсатный насос

Система оборотного охлаждения включает в себя градирню, (где происходит охлаждение воды), конденсатор, систему трубопроводов и насосы (рис.1.2). После градирни охлажденная вода циркуляционным насосом подается в конденсатор, затем снова направляется в градирню.

В градирне часть воды испаряется ( $P_{\text{исп.}}$ ) и уносится в виде мелких капель ( $P_{\text{ун.}}$ ). При испарении происходит концентрирование примесей в охлаждающей воде, поэтому в системе предусмотрена продувка ( $P_{\text{прод.}}$ ). Для восполнения потерь в систему охлаждения подается подпиточная (более чистая) вода ( $P_{\text{доб.}}$ ). Для СОО основной задачей обработки охлаждающей воды является предотвращение образования кальциевых отложений, в основном карбоната кальция. В процессе испарения из воды



удаляется часть углекислоты, в результате чего в воде повышается концентрация ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и возникают условия для образования отложений  $\text{CaCO}_3$ .

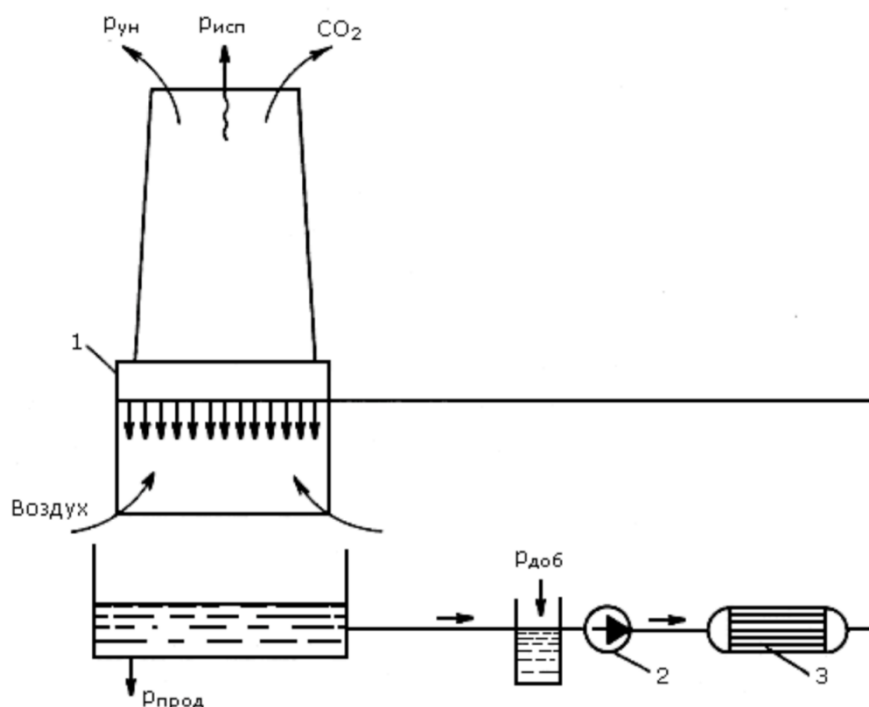
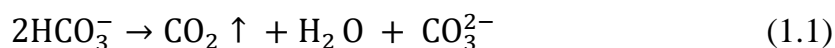


Рис. 1.2. Схема оборотного охлаждения конденсатора с градирней: 1-градирня; 2 – циркуляционный насос; 3 - конденсатор;  $R_{исп.}$ ,  $R_{ун.}$ -потери воды в градирне на испарение и унос;  $R_{прод.}$ -продувка оборотной воды;  $R_{доб.}$ -подпитка в систему свежей воды

Уравнения химических реакций, протекающих в системе оборотного охлаждения, выглядят следующим образом:



Постоянный приток внешнего воздуха и контакт его с охлаждаемой в градирне водой ведет к насыщению воды кислородом, что усиливает процесс коррозии конструкционных металлов, а также способствует развитию колоний водорослей и микроорганизмов [2].

Повышение температуры циркуляционной воды до  $30\div 35^\circ\text{C}$  существенно увеличивает скорость названных выше негативных процессов.

Основным направлением противодействия процессам коррозии, накипеобразования и биологического обрастания являются мероприятия по ведению водно-химического режима СОО, связанные, как правило, с дозированием в циркуляционную воду химических реагентов.

В настоящее время для обеспечения стабильной работы энергетического оборудования на ТЭС России применяется широкий спектр импортных химических реагентов, в то же время осуществляются разработки отечественных ингибиторов отложений и коррозии для систем оборотного охлаждения [7].

Проблемы водно-химического режима СОО на ТЭС обострились еще в 70-х годах прошлого века в связи с вводом в эксплуатацию энергоблоков ТЭС больших мощностей. Основным разработчиком ВХР СОО был Уральский филиал ВТИ. Основное направление при разработке ВХР – использование недорогих и доступных в то время реагентов [5].

Проблема выбора типа водно-химического режима СОО обусловлена различием в типах оборотных систем и качеством природных вод. Для каждого типа оборотной системы существует своя особенность в подборе водного режима и реагентов для его ведения, вытекающая, в том числе, из материалов, используемых в градирнях и конденсаторах [1,2,8,10].

На мировом рынке реагентов для стабилизационной обработки охлаждающей воды предлагаются различные индивидуальные и комплексные ингибиторы коррозии и накипеобразования. Анализ литературных источников [12-18,20,22,25,49] показал, что в последнее время на первый план выходят экологические аспекты. В связи с этим большое количество высокоэффективных биоцидов (например, хлорированные фенолы, органические соединения серы) были запрещены для использования в Европе по причине их высокой токсичности в продувочной воде [20,21]. Общие сведения по составу сточных вод и ПДК нормируемых веществ представлены в Приложении 1.

В связи с этим в настоящее время предпочтение отдается соединениям с меньшей биоцидной эффективностью, применение которых уменьшает загрязнение окружающей среды.

В последние годы разрабатываются и внедряются новые комплексные реагенты, призванные обеспечить надежную и безаварийную работу СОО с минимальными экономическими затратами [22].

Применение комплексных реагентов позволяет решать сразу несколько задач, обеспечив ведение надежного ВХР, позволяющего эксплуатировать СОО с нормируемым качеством воды, минимальными экономическими и техническими

затратами. Однако, подобные комплексные реагенты только начинают находить применение в России, и опыта их использования недостаточно. В связи с этим необходимо проведение обширных исследований по разработке отечественных комплексных реагентов, которые в дальнейшем позволят рекомендовать эти реагенты к использованию на различных объектах и обеспечат независимость энергетики РФ от иностранных поставщиков.

## 1.2. Типы традиционных водно-химических режимов СОУ и применяемые реагенты

### 1.2.1. Подкисление циркуляционной воды

Подкисление циркуляционной воды проводится с целью частичного снижения карбонатной жесткости. Обработку можно проводить как серной, так и соляной кислотой. Предпочтение отдается серной кислоте как менее дефицитной, более дешевой и неагрессивной в концентрированном виде к стали, что позволяет ее транспортировать, хранить и дозировать с помощью стальной аппаратуры. В результате подкисления концентрация бикарбонатов в охлаждающей воде может быть снижена до значения, обеспечивающего отсутствие накипеобразования в системе (формула 3). Схема подкисления циркуляционной воды представлена на рис.

1.3

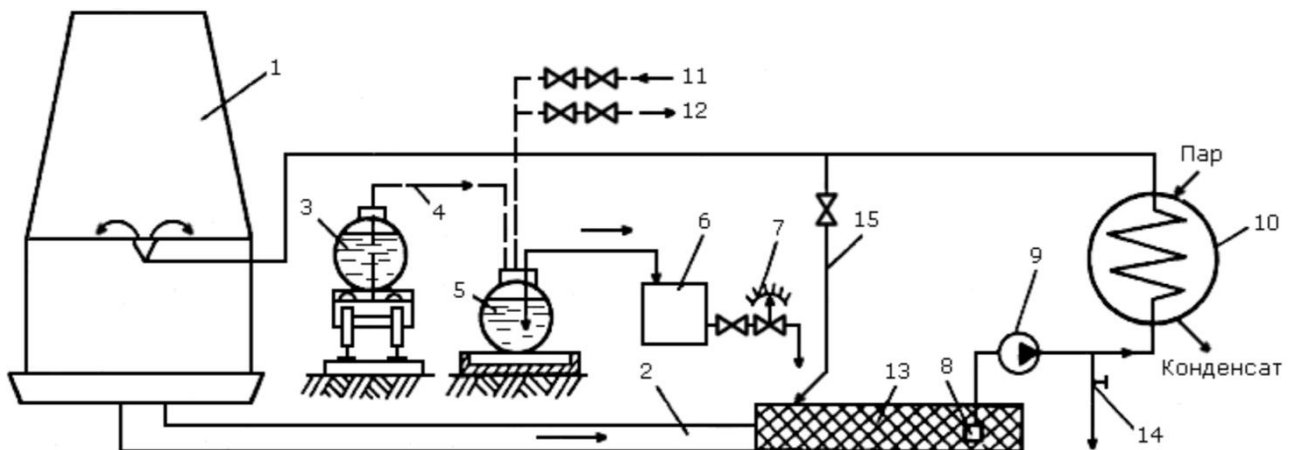
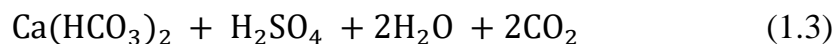


Рис.1.3. Схема подкисления циркуляционной воды:

- 1–градирня; 2 –канал; 3–ж/д цистерна; 4–сифонный слив; 5–приемный резервуар для кислоты;  
 6–расходный бак; 7–дозировующий клапан; 8–приемный клапан; 9–циркуляционный насос;  
 10–конденсатор; 11–сжатый воздух; 12–вакуум; 13–кислотоупорное покрытие канала и приемного колодца; 14–отбор проб; 15–циркуляционная вода для ускорения разбавления и смешивания воды с кислотой

Однако при значительном снижении концентрации бикарбонатов вода может быть переокислена кислотой, что вызовет интенсификацию коррозии оборудования. Во избежание переокисления [4] ограничена остаточная карбонатная жесткость подпиточной воды, которая должна быть не менее  $0,5 \div 1,0$  мг-экв/дм<sup>3</sup>.



Продувка системы при подкислении увеличивает расход подпиточной воды и одновременно увеличивает расход кислоты. С целью сокращения количества подпиточной воды при подкислении уменьшают процент продувки системы, что ведет к увеличению степени концентрирования циркуляционной воды, в том числе по катионам жесткости.

Недостатком такого ВХР является увеличение коррозионной агрессивности циркуляционной воды и возможное превышение в продувочных (сточных) водах концентрации сульфатов [6].

### 1.2.2. Фосфатирование воды

Для предотвращения выпадения  $\text{CaCO}_3$  на поверхности трубок в соответствии с нормами ПТЭ [4] в настоящее время применяется обработка охлаждающей воды методом фосфатирования, при котором концентрация фосфатов поддерживается на уровне  $2,0 \div 2,7$  мг/дм<sup>3</sup>.

Сущность метода заключается в добавлении к воде небольших количеств различных фосфатных соединений, тормозящих кристаллизацию карбоната кальция и стабилизирующих пересыщенные растворы бикарбоната кальция, т.е. тем самым повышающих предельно допустимую карбонатную жесткость охлаждающей воды. При использовании гексаметафосфатанатрия  $(\text{NaPO}_3)_6$  с избыточной концентрацией  $1 \div 2$  мг/дм<sup>3</sup> в пересчете на  $(\text{PO}_4)^{3-}$ -стабильный безнакипный режим СОО сохраняется до предельных значений карбонатной жесткости  $J_{\text{к.пред}} = 5 \div 5,5$  мг-экв/дм<sup>3</sup>. Схема фосфатирования циркуляционной воды представлена на рис. 1.4.

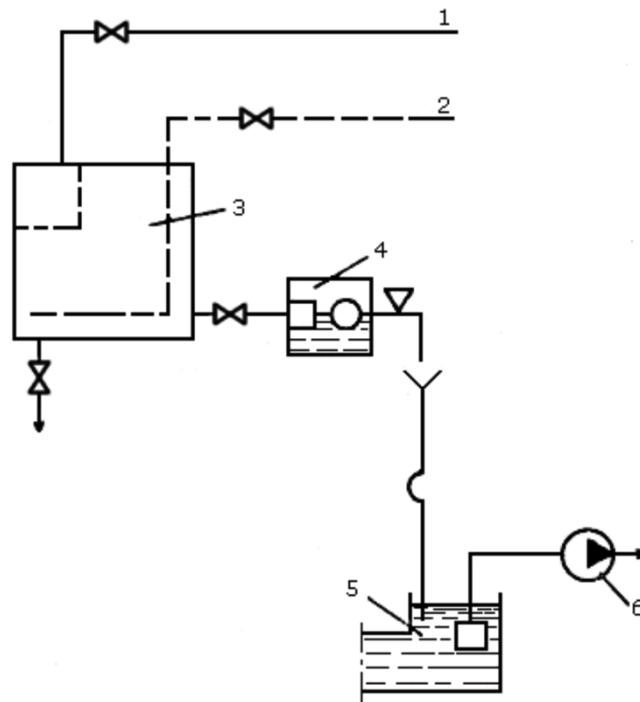


Рис. 1.4. Схема фосфатирования циркуляционной воды  
 1 – умягченная вода для разбавления; 2–пар; 3–бак для растворения гексаметафосфата;  
 4–промежуточная емкость; 5–приемный колодец; 6–циркуляционный насос

Недостатком метода является необходимость поддержания повышенной величины продувки  $\text{COO}$ , следовательно, повышенного расхода подпиточной воды для восполнения потерь с продувкой, а также необходимость дозирования двух реагентов и регулирования их дозировок.

### 1.2.3 Рекарбонизация охлаждающей воды дымовыми газами

Под рекарбонизацией охлаждающей воды дымовыми газами подразумевается насыщение циркуляционной воды газами, содержащими  $\text{CO}_2$ . Основной технологической операцией при введении дымовых газов, содержащих  $\text{CO}_2$  в циркуляционную воду является организация растворения максимально возможного количества  $\text{CO}_2$ , в пределах 40÷60% от вводимого объема в  $\text{COO}$ . При обороте воды в градирне происходит непрерывный "отдув"  $\text{CO}_2$ , поэтому требуется непрерывный ввод дымовых газов в циркуляционную воду. Перед подачей в градирню продукты сгорания отбираются за дымососом и очищаются от золы в сухих мультициклонах.

Наиболее рациональной среди различных систем насыщения воды газом является схема с использованием эжектора (рис. 1.5), который обеспечивает хорошее перемешивание дымовых газов с обрабатываемой водой. После эжектора водогазовая

смесь поступает через барботажное устройство в приемный колодец циркуляционных насосов.

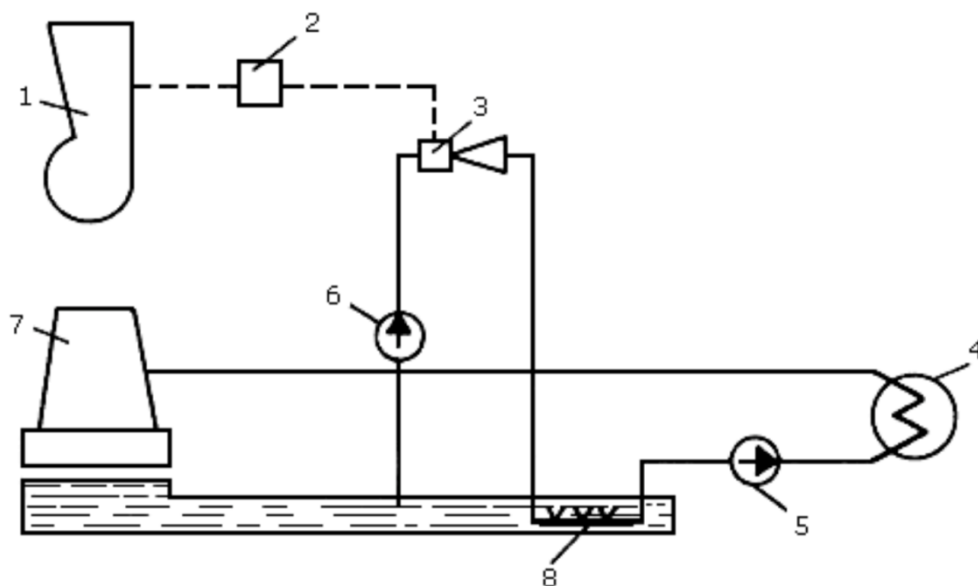


Рис. 1.5. Схема рекарбонизации охлаждающей воды дымовыми газами:  
1–дымосос; 2 –золоуловитель; 3–водоструйный эжектор; 4–конденсатор; 5–циркуляционный насос;  
6–насос подачи воды к эжектору; 7–градирня; 8–барботажное устройство

Недостатком метода подачи дымовых газов является сложность технического решения в условиях частых остановов паровых котлов, а также возможность растворения наряду с  $\text{CO}_2$  оксидов серы и азота с последующим образованием сильных кислот.

#### 1.2.4. Применение антинакипинов и ингибиторов

Одним из распространенных способов защиты внутренней поверхности трубопроводов охлаждающей воды от коррозионных повреждений является применение ингибиторов коррозии [5,12,13,14,17,20].

Применение антинакипинов и ингибиторов коррозии позволяет:

- исключить возможность образования накипи на поверхностях теплопередачи и отложений в трубопроводах;
- предотвратить или значительно замедлить коррозию металлических частей теплотехнического оборудования;
- удалить продукты коррозии.

Как правило, очистка от накипи осуществляется механическим и химическим способами. Для химической очистки теплотехнического оборудования используются химические реагенты, разрушающие отложения продуктов накипеобразования и

коррозии. В настоящее время существует большое количество различных химических реагентов и способов их использования для коррекционной обработки воды СОО [23,26,31, 34].

Для защиты от накипеобразования широко используют органические фосфорсодержащие антинакипины: ОЭДФК, ПАФ-13А, АФОН-200-60А, АФОН-230-23А, ИОМС-1 и неорганический антинакипин – полифосфат натрия [18,63]. Механизм ингибирующего действия антинакипинов объясняется адсорбцией молекул на кристаллах карбоната кальция, замедляющей их рост. Фосфонаты обладают комплексообразующими свойствами по отношению к катионам многих металлов (кальция, магния, железа и др.). Эти свойства играют определенную роль в антинакипной эффективности фосфонатов. В табл. 1.1 представлены некоторые свойства ингибиторов коррозии.

Таблица 1.1. **Некоторые свойства ингибиторов коррозии для СОО и теплоснабжения на ТЭС**

Торговая марка реагента, химическое наименование, номер технических условий	Вид товарного продукта	Содержание основного вещества в продукте, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	рН
Реагент ОЭДФК, 1-гидроксиэтилидендифосфоновая кислота	Порошок	97÷98	-	
Реагент АФОН 200-60А, 1-гидроксиэтилидендифосфоновая кислота	Водный раствор	58÷62	1,44÷1,47	2
Ингибитор коррозии и солеотложения АФОН 230-23А, Цинковый комплекс динатриевой соли	Водный раствор	20÷25	1,1÷1,3	7,0÷9,0
1 -гидроксиэтилидендифосфоновой кислоты; (1-Гидроксиэтилиден) дифосфонат натрия комплекс с цинком; Гидроксиэтилидендифосфоновой кислоты цинк-динатриевая соль	Водный раствор	20÷25	1,1÷1,3	7,0÷9,0
Реагент ПАФ-13А марки А, Натриевые соли полиаминометиленфосфоновых кислот	Водный раствор	25÷28	1,3	4,0÷6,0
Ингибитор солеотложений ИОМС-1, Натриевые соли аминометиленфосфоновых кислот	Водный раствор	23÷26	1,3÷1,41	5,5÷7,5

К ингибиторам коррозии и солеотложений для систем охлаждения и теплоснабжения предъявляются достаточно жесткие требования, определяемые спецификой работы СОО и условиями сброса продувки в природный водоисточник [6].

Для предотвращения выпадения соединений кальция в воду при обработке охлаждающей воды оксиэтилендифосфоновой кислотой (ОЭДФК) следует дозировать реагент в концентрации, равной  $0,5 \div 1,0 \text{ мг/дм}^3$ , что значительно меньше допустимых значений ( $2,5 \text{ мг/дм}^3$ ) для сброса в водоемы. Предполагается, что при использовании ОЭДФК в условиях чистой поверхности медьсодержащих сплавов на них образуется защитная пленка, состоящая из мелких кристаллов комплексоната кальция, которая защищает металл от коррозии и накипеобразования [16,26,27].

Метод обработки воды ОЭДФК описан в [5]. На рис. 1.6 представлена схема установки для дозирования ОЭДФК.

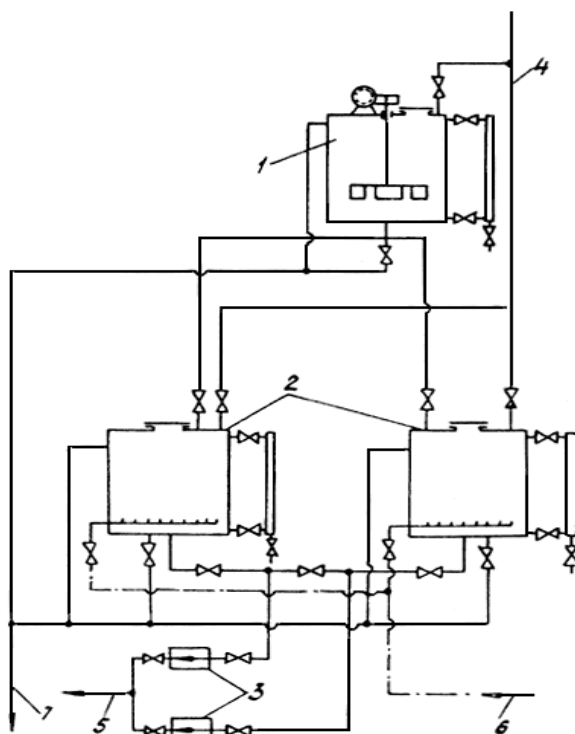


Рис. 1.6. Схема установки для дозирования ОЭДФК

- 1 - бак-мешалка ( $V = 1 \text{ м}^3$ ); 2 - бак рабочего раствора ( $V = 1,2 \text{ м}^3$ ); 3 - насос-дозатор НД 63/16; 4 - конденсат или обессоленная вода; 5 - в циркуляционную систему; 6 - сжатия воздух; 7 - сброс в канализацию

Порошкообразный реагент растворяется в баке-мешалке вместимостью  $1 \text{ м}^3$ . Мешалка лопастного типа с приводом от электродвигателя через редуктор. Для контроля за уровнем раствора установлено водомерное стекло. Бак снабжен



дренажной и переливной линиями. Бак-мешалка имеет линию, связывающую его с баками рабочего раствора для подачи в последние концентрированного раствора самотеком.

Обработка воды ОЭДФК позволяет поддерживать предельно допустимую карбонатную жесткость охлаждающей воды ( $J_{\text{карб. пр. ОЭДФК}}$ ) на уровне до 7,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>. В зависимости от значения предельной карбонатной жесткости концентрация ОЭДФК в воде составляет 0,25÷2,0 мг/дм<sup>3</sup>. ПДК ОЭДФК для водоемов санитарно-бытового водопользования составляет 2,0 мг/дм<sup>3</sup>, для рыбохозяйственных водоемов 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, а для водоемов питьевого пользования 0,6 мг/дм<sup>3</sup>, в зависимости от назначения водоема, принимающего продувочную воду системы. Концентрация ОЭДФК в оборотной воде должна ограничиваться указанными ПДК. Соответственно с ограничением концентрации ОЭДФК ограничивается и предельно допустимая карбонатная жесткость оборотной воды. В табл. 1.2 указаны предельно допустимые концентрации фосфонатов в питьевой воде.

Таблица 1.2. **Предельно допустимые концентрации фосфонатов в питьевой воде при использовании разных ингибиторов**

Реагент	ОЭДФК, АФОН 200-60А	ИОМС-1	ПАФ-13А	АФОН 230-23А
ПДК по основному веществу, мг/дм <sup>3</sup>	0,6	4	5	5

Предельно допустимые концентрации фосфонатов в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования в соответствии с ГН 2.1.5.1315-03(ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения указаны в табл.1.3 [6].

Таблица 1.3. **Предельно допустимые концентрации фосфонатов в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения**

Реагент	ОЭДФК и АФОН 200-60А	ИОМС-1	ПАФ-13А	АФОН 230-23А
ПДК по основному веществу, мг/дм <sup>3</sup>	0,6	4	5	5

Таким образом, поддержание оптимальной дозы ОЭДФК ограничивается в ряде случаев недопустимостью сброса фосфонатов с продувкой СОО в природный водоем.

### 1.3. Предотвращение биологических обрастаний

Повышение температуры воды в системах оборотного охлаждения, наличие питательных веществ и кислорода являются причиной интенсивного развития в охлаждающей воде бактерий, грибков и водорослей различных видов. При

перманганатной окисляемости воды выше  $10 \div 15$  мгО/дм<sup>3</sup> биологические образования (БО) в форме слизистых отложений формируются на поверхностях СОО, ухудшая теплообмен и вызывая коррозионные процессы [28,29,30].

Для предотвращения биообрастания поверхностей оборудования СОО необходимо применять технологии, препятствующие данным процессам.

### 1.3.1. Хлорирование воды

Для борьбы с биообрастанием в СОО в РФ применяется, как правило, гипохлорит натрия, а за рубежом встречаются схемы дозирования газообразного хлора. Однако дозирование газообразного хлора сопряжено с техническими сложностями и является экологически небезопасным методом.

Процесс биообрастания приводит к ухудшению вакуума в конденсаторах и интенсификации коррозионных процессов. Применяют обработку охлаждающей воды сильными окислителями или хлорирование воды (с концентрацией хлора после конденсатора в пределах  $0,3 \div 0,5$  мг/ дм<sup>3</sup>)

При растворении хлора в воде протекает его гидролиз (4):



Слабая хлорноватистая кислота диссоциирует в растворах с образованием гипохлорит-иона (1.5):



Хлорирование воды желательно проводить в условиях, при которых HClO находится главным образом в молекулярной форме, т.е. при  $\text{pH} < 7$ .

Необходимое количество хлора для бактерицидной обработки воды устанавливается опытным путем с учетом заданной концентрации остаточного свободного хлора  $0,1 \div 0,2$  мг/дм<sup>3</sup>. Хлор вводят в обрабатываемую воду в виде приготовленной хлорной воды с помощью водоструйного эжектора. Дозирование ведется с перерывами, чтобы бактерии не могли адаптироваться к изменению обстановки при постоянной подаче хлора, продолжительностью  $40 \div 60$  мин 1–3 раза в сутки.

### 1.3.2. Применение медного купороса

Для уничтожения водорослей и борьбы с ракушечными обрастаниями в СОО с градирнями в охлаждающую воду вводится медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Его концентрация в охлаждающей воде должна быть в пределах  $3 \div 6$  мг/дм<sup>3</sup>. Дозирование проводят один час каждые двое суток. Гибнут все организмы, составляющие обрастания в системе охлаждения конденсатора.

Ограничения при использовании данного метода, как и метода хлорирования, связаны с возможностью сброса продувки контура системы оборотного охлаждения в окружающую среду. Предельно допустимые концентрации нормируемых веществ приведены в Приложении 1.

### 1.3.3. Обработка биоцидами

Микробиологические загрязнения в охлаждающих системах возникают, прежде всего, из-за бактерий и водорослей, попадающих в системы с подпиточной водой (как правило, водой поверхностных источников) [19]. Особенно сильно микроорганизмы развиваются в присутствии углеводов, азот-фосфорсодержащих, неорганических и органических веществ и осаждаются на поверхности теплообменных трубок в виде иловых осадков, приводя к возникновению проблем локальной коррозии под образовавшимися отложениями [8].

Иловые массы и биопленка могут стать причиной существенного уменьшения теплопередачи и повышения сопротивления потоку. Биоотложения толщиной 0,5 мм на поверхности нагрева снижают коэффициент теплопередачи на 50% [32].

Микробиологический анализ отложений систем промышленного водоснабжения и идентификация микроорганизмов свидетельствует о комплексном воздействии биоценоза и сезонных колебаний микрофлоры: зимой доминируют железобактерии, летом – сульфатвосстанавливающие. В процессах биокоррозии участвуют также микрогрибы, микроводоросли в ассоциации с бактериями. Интенсивное развитие водорослей в охлаждающих системах (обрастание градирен) наблюдается в весенне-летний период и, хотя они сами по себе не вызывают коррозию, отложения мертвых клеток являются питательными субстратами и обуславливают развитие грибков. Ущерб, наносимый промышленным предприятиям биологическими обрастаниями

системы оборотного водоснабжения настолько велик, что требует разработки и внедрения в практику радикальных мер борьбы с этим явлением [9].

Наиболее распространенными методами борьбы с биообрастанием теплообменных аппаратов, наряду с применением окисляющих биоцидов и обработкой воды реагентами на основе сульфата меди, является обработка воды неокисляющими органическими биоцидами. Этот способ выгодно отличается от токсичных и коррозионно-опасных первых двух. Неокисляющие биоциды обладают широким спектром действия, подавляя рост бактерий, грибов, водорослей. Единственным недостатком этих реагентов является их высокая стоимость. Для успешной борьбы с биообрастаниями комбинируют обработку воды окисляющими и неокисляющими бактерицидами.

Наибольшее распространение в последние годы получили биоциды на основе полигексаметиленгуанидина (ПГМГ). Это связано с высокой эффективностью при малых дозах основного вещества ПГМГ в воде (табл. 1.4), широким спектром и пролонгированностью действия даже в присутствии углеводов [32].

Необходимо отметить, что в применяемых дозах ПГМГ не токсичен для человека, животных и гидробионтов, экологически безопасен (III-ий класс опасности по ГОСТ 12.1.007): попадая на дно водоемов, разлагается на простые нетоксичные вещества под влиянием активного ила. Механизм действия гуанидиновых поликатионов заключается в адсорбции на отрицательно заряженной поверхности бактериальной клетки, вызывая при этом блокаду дыхания и транспорт метаболитов через клеточную стенку бактерий. Гуанидиновые поликатионы связываются с фосфолипидами и белками цитоплазматической мембраны, что приводит к ее разрыву.

Таблица 1.4. Эффективность действия биоцида на основе ПГМГ по снижению общего микробного числа (ОМЧ)

Доза, по основному веществу, мг/л	Снижение ОМЧ, %		
	Через 3 часа	Через 24 часа	Через 48 часов
1	74	75	90
5	99	99,7	96,7
10	93,1	99,2	99,5

Применение биоцидов для ведения водного режима в СОО ТЭС нуждается в научных исследованиях как для разных водных режимов, так и для разных водоисточников.

#### **1.4. Анализ направлений и результатов научных исследований по совершенствованию водно-химических режимов СОО ТЭС**

Научные исследования по совершенствованию ВХР СОО ТЭС направлены на снижение низкотемпературного накипеобразования, скорости коррозии конструкционных материалов, объема и агрессивности продувочных (сточных) вод [33-36,38-51,90,91].

В работах НИУ МЭИ [2,33,80] представлены результаты влияния на скорость коррозии латунных сплавов некоторых реагентов. Показано, что дозирование в циркуляционную воду ОЭДФК, хеламина 9100МК, ОДА и реагента AZ8101 не позволяет эффективно снизить скорость коррозии латуни Л-68, но предварительная обработка поверхности трубок конденсатора эмульсией ОДА дает возможность снизить скорость общей коррозии. Реализация технологии предварительной обработки трубок конденсатора с помощью эмульсии ОДА требует еще и предварительной очистки поверхности трубок конденсатора, что весьма трудоемко и материалозатратно. Помимо этого, есть риск забивания трубной системы конденсаторов турбин парафинообразным слоем, который может образоваться при дозировании ОДА.

Отмечается, что анионный состав среды значительно влияет на скорость коррозии меди. Наиболее сильно медь корродирует при наличии анионов азотной кислоты, значительно меньше при анионах серной кислоты (при одних и тех же концентрациях этих кислот). На рис. 1.7 представлена зависимость скорости коррозии меди от концентрации кислорода в средах, содержащих различные анионы [36]. Значительным фактором, влияющим на скорость коррозии меди, является рН раствора. На рис. 1.8 показана зависимость скорости коррозии меди от рН среды при различных концентрациях кислорода [36].

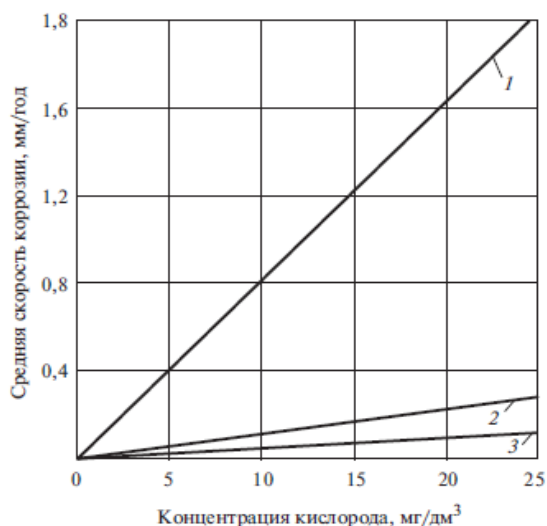


Рис. 1.7. Зависимость скорости коррозии меди при наличии анионов различных кислот при комнатной температуре от концентрации растворенного кислорода: 1 - соляная кислота; 2 - уксусная кислота; 3 -серная кислота

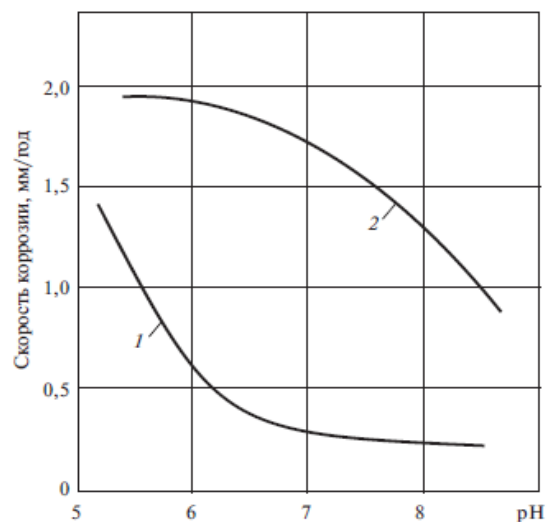


Рис. 1.8. Зависимость скорости коррозии меди от значения pH при наличии кислорода:  
1 - $C_{O_2} = 10 \div 20$  мкг/дм³;  
2 - $C_{O_2} = 400$  мкг/дм³

Для латуней характерен вид коррозии, который называют обесцинкованием, а также коррозионное растрескивание - межкристаллитное и транскристаллитное. Также как и для меди, основными факторами, вызывающими данный вид коррозионных повреждений, является наличие в воде аммиака, а также анионов некоторых кислот (например, хлоридов).

Появление аммиака в системе (рис. 1.9) в концентрации  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/дм³ (1,7 мг/дм³) приводит к образованию весьма устойчивых комплексных ионов  $[Cu(NH_3)_2]^+$  в области pH, равной  $8 \div 12$  [37]. По мере повышения концентрации аммиака область существования комплексных ионов расширяется. Аммиак сам по себе не способен вызывать коррозии меди и ее сплавов, но интенсифицирует этот процесс. Причиной коррозии является наличие в воде кислорода. Это положение иллюстрирует рис. 1.10.

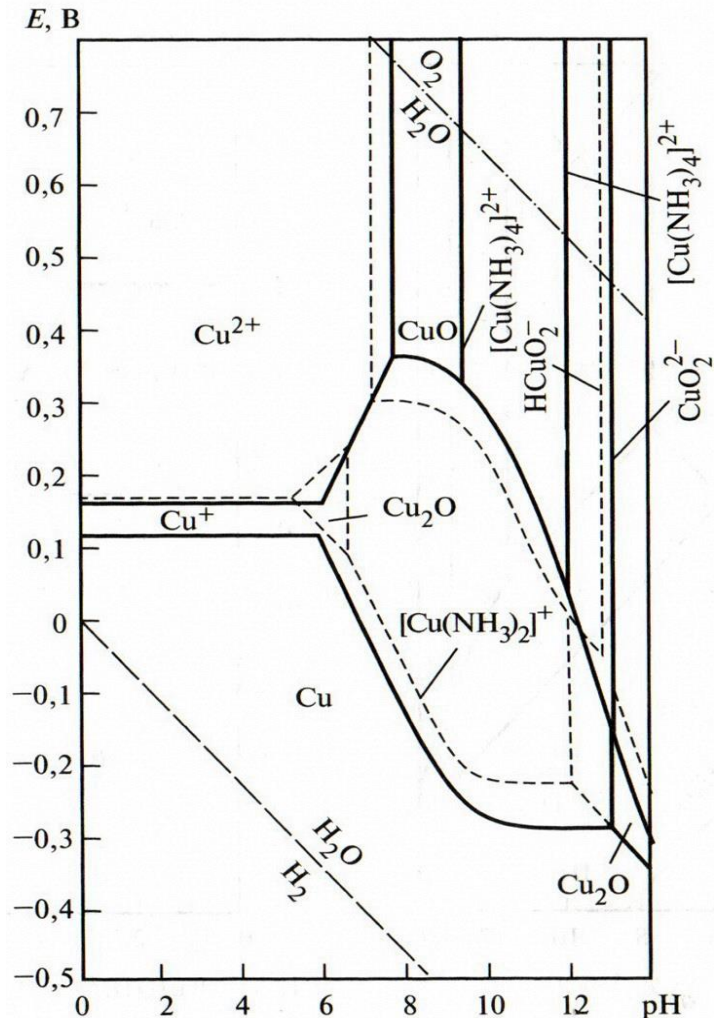


Рис. 1.9. Диаграмма Пурбе для системы вода-медь-аммиак при концентрации аммиака  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/кг

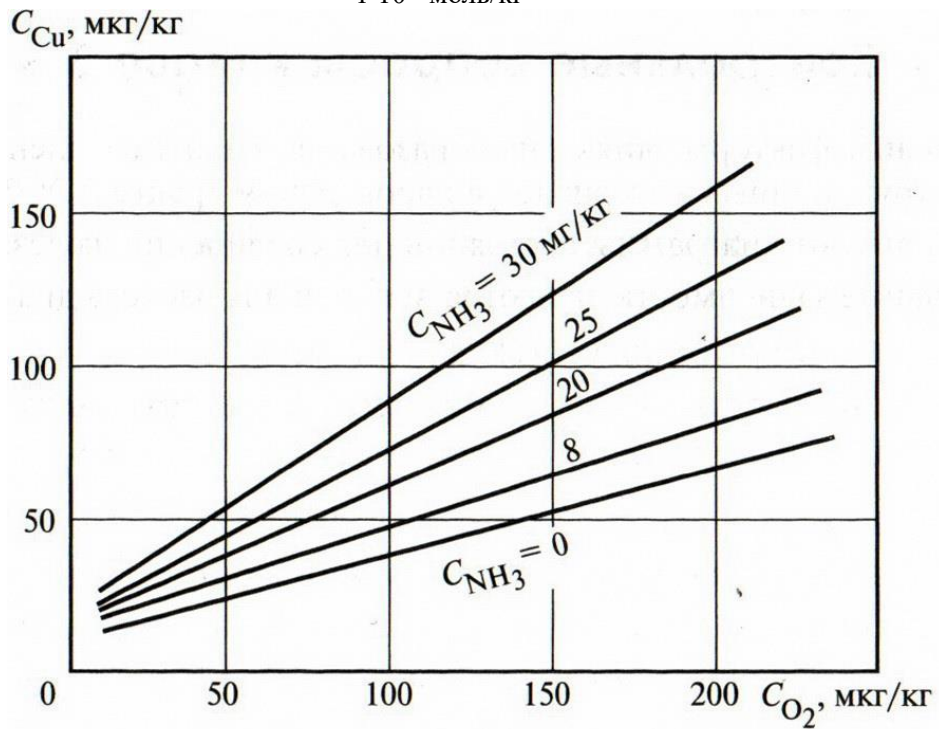


Рис. 1.10. Растворимость меди в воде в присутствии кислорода и аммиака при температуре 45°C

Зарубежом, как правило, существуют комплексные программы обработки охлаждающей воды ингибированием [38], которые позволяют одновременно защитить систему как от образования отложений, так и от коррозии. Чаще всего, эти программы включают в себя также использование биоцидов. Существует множество различных ингибиторов на основе хроматов, нитритов, бензоатов, боратов, фосфонатов и силикатов.

В работах Казанского государственного энергетического университета приняты разработки по совмещению схемы СОО со схемами водоподготовки на ТЭС [43,44] и разработки по использованию побочных продуктов ВПУ для очистки сточных вод [45,46]. Так, в работе [43] авторы приводят результаты исследований для условий Казанской ТЭЦ-3 при очистке продувки СОО по схеме, представленной на рис. 1.11 с возвратом умягченной воды в чашу градирни (рецикл), расходом до 100 т/ч.

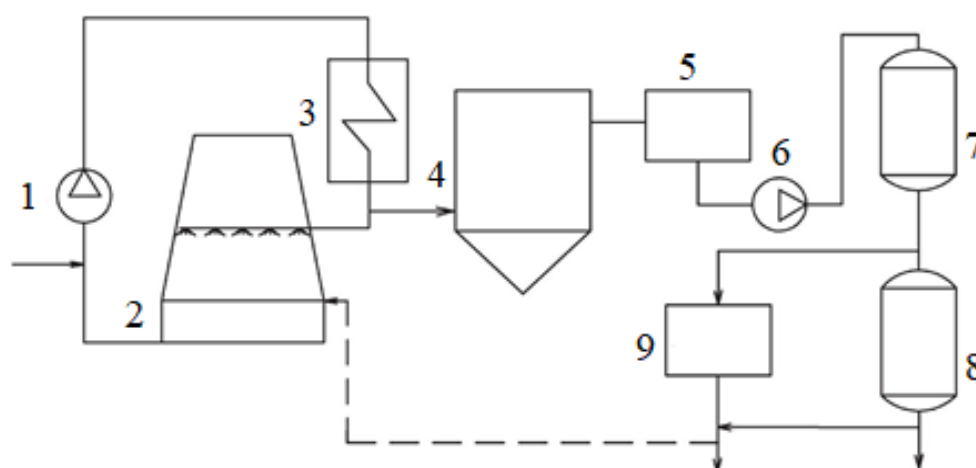


Рис. 1.11. Принципиальная схема организации рецикла СОО на Казанской ТЭЦ-3.  
1–циркуляционный насос; 2–башенная градирня; 3–конденсатор турбины; 4–осветлитель; 5–бак известкованной и коагулированной воды; 6–насос осветленной воды; 7–механический фильтр; 8–H-катионитный фильтр; 9 – бак химически очищенной воды

При подпитке СОО волжской водой расходом, равным потере воды с капельным уносом, достигаются условия отсутствия концентрирования примесей в циркуляционной воде при снижении карбонатного индекса с 9,5 до 6,5 ед. рН и практического отсутствия карбонатных отложений. В другой работе [44] подобный эффект достигается в условиях испытаний на лабораторной установке, представленной на рис. 1.12.



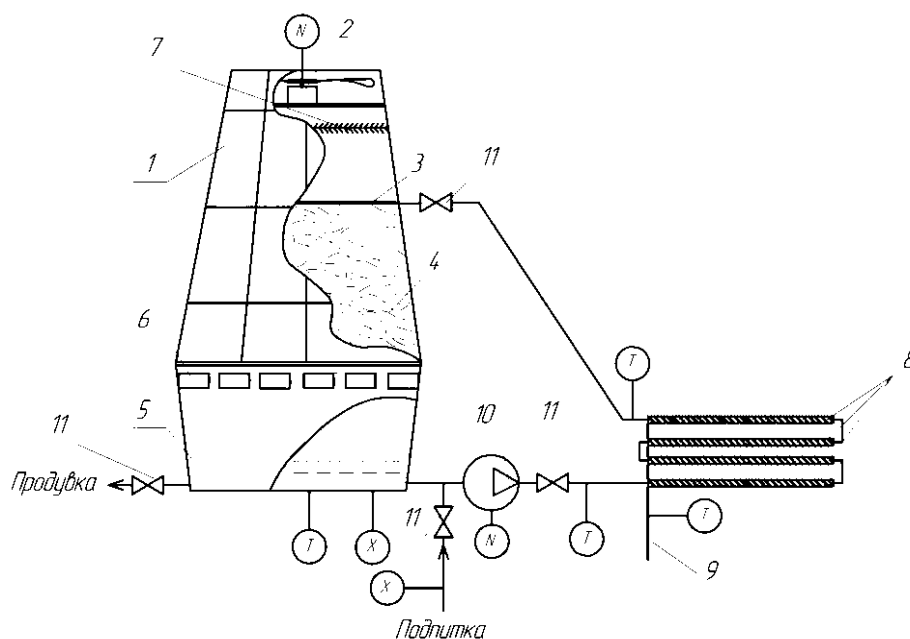


Рис. 1.12. Принципиальная схема лабораторной установки системы оборотного водоснабжения с башенной градирней с принудительной тягой:

- 1 – каркас вытяжной башни градирни; 2 – электровентилятор; 3 – водораспределительное устройство; 4 – насадочные элементы ПР-50; 5 – водосборной бассейн; 6 – воздухораспределительные жалюзи; 7 – пластинчатый каплеуловитель; 8 – оригинальные латунные трубки конденсатора марки Л-68; 9 – электрическая кабельная система подвода тепла с регулированием температуры; 10 – циркуляционный насос; 11 – кран-здвижка; N – регулируемый привод; X – кондуктометр/солемер; T – термостат.

В качестве подпиточной воды для СОО используется волжская вода с предварительным известкованием или подщелачиванием NaOH и отделением осадка в осветлителе. Таким образом, производится декарбонизация исходной воды путем осаждения карбоната кальция до поступления подпиточной воды в СОО.

Как в первом [43], так и во втором [44] случае эффект предотвращения карбонатных отложений в СОО достигается усложнением технологической схемы и может усилить коррозию конструкционных материалов за счет снижения рН в первом случае и значительного повышения рН во втором (до 10,0 и выше). Недостатком лабораторной установки является отсутствие ее мобильности: можно смоделировать процессы низкотемпературного теплообмена, но сложно приготовить модельный раствор подпиточной или циркуляционной воды, идентичной по качеству реальной воде. Опыты следует проводить на реальной воде теплоэнергетического объекта.

Таким образом, обобщая результаты научных исследований, можно заключить, что магистральным направлением решения проблем образования отложений и

коррозии в СОО на ТЭС является применение ингибиторов при всей совокупности методов, представленных в табл. 1.5 [47].

Таблица 1.5. Сравнительная характеристика химических и безреагентных методов борьбы с карбонатными солеотложениями

Метод	Механизм действия	Эффективность
Ионный обмен	Удаление накипеобразующих ионов – кальция и магния	Большой расход воды, поваренной соли, кислот и щелочей на регенерацию катионитов
Подкисление воды	Изменение растворимости карбоната за счет перевода карбоната в бикарбонат	Требует постоянной тонкой коррекции; не пригоден для сульфатных и фосфатных отложений
Введение ионов металлов	Блокировка роста кристаллов или связывание карбонат ионов	Уменьшение количества отложений на 80%
Магнитная обработка	Общепризнанных теорий действия нет, механизм не вполне ясен	Тоже
Ультразвук	Локальные изменения рН могут провоцировать образование отложений	Уменьшение количества отложений на 65%
Модифицирование поверхности оборудования	Получение поверхности, менее склонной к обрастанию кристаллами карбоната	Уменьшение количества отложений на 90%
Введение фосфонатных или полимерных ингибиторов солеотложений	Механизм не вполне ясен, но один из результатов – блокировка центров роста кристаллов карбоната или сульфата кальция	Уменьшение количества отложений на 90÷100%

Согласно прогнозам [48-49] мировой рынок ингибиторов солеотложений к концу 2019 года составил около 4,7 млрд. долларов США, при этом объем рынка ингибиторов коррозии и солеотложений в Европе [49] составил около 0,8 млрд. долларов США. Согласно [44] массовое производство ингибиторов на основе фосфоновых кислот было развернуто в 70-х годах прошлого века фирмой Monsanto Company (США). Основным недостатком таких ингибиторов является то, что они практически не поддаются биодеструкции и обладают эвтрофицирующим действием [45], создавая тем самым экологические проблемы.

Несмотря на обилие торговых марок, большинство представленных на мировом и отечественном рынках ингибиторов солеотложений мало различаются по химическому составу и являются производными либо алкилфосфоновых кислот, либо полиакриловой кислоты или сульфированными полимерами [12,14,15,22,24, 49,74,84]. Наиболее широко распространенными ингибиторами солеотложений являются органофосфоновые соединения: оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФК/НEDPA), нитрилотриметиленфосфоновая кислота (НТФ/НTP),

фосфонобутан-1,2,4-трикарбоновая кислота (PBTC) либо их соли. Так, например, ингибитор отложений NALCO 43-63 (Nalco) представляет собой жидкую смесь фосфорорганических соединений и поверхностноактивных веществ. Ингибитор отложений и коррозии NALSIL (Nalco) является смесью фосфатов и силикатов. Реагент Gilufer 422 («Гилуфер-422»), предлагаемый KURITA (Япония/Германия) как ингибитор солеотложений и коррозии, заявлен в виде смеси фосфонатов и поликарбоксилатов [85,89].

В настоящее время в России существует производство фосфорсодержащих ингибиторов. Однако из-за различий в сырьевой базе и технологиях предлагаемые на рынке российские ингибиторы отличаются друг от друга химическим составом, формой выпуска и, следовательно, эксплуатационными качествами. В результате часто, несмотря на заявленную и подтвержденную техническими условиями предприятия-производителя эффективность ингибирования солеотложений не менее 90%, на практике в конкретных условиях эксплуатации данного ингибитора этот показатель может оказаться значительно ниже.

Согласно [50] основной мировой тенденцией развития ингибиторов солеотложений является создание новых полимерных биоразлагаемых реагентов путем встраивания в матрицу полиакрилата различных мономерных фрагментов в целях повышения его способности к биоразложению, а также путем снижения содержания фосфора в ингибиторах на основе фосфоновых кислот.

Таблица 1.6. **Эффективность применения ингибиторов солеотложений для предотвращения образования отложений карбоната кальция**

Реагент	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Наблюдаемый эффект, исследовательская группа, год публикации результатов
Полималеиновая кислота	10	Снижение количества солеотложений на 56% (Harris and Marshall, 1981)
Трилон Б	20	Тоже на 20% (Harris and Marshall, 1981) Полное растворение уже имеющихся отложений кальция (Fred and Fogler, 1998)
Полиакрилаты	5	Снижение скорости нарастания солеотложений на 60% (Sankara Narayanan, 2002)
	10	Тоже, на 90% (Harris and Marshall, 1981)
Поликарбоновые кислоты	1	Снижение скорости нарастания солеотложений на 80% (Reddi and Hoch, 2001)
Фосфоновые кислоты	0,02	Ингибирование (Nancollas and Sawada, 1982)
Фосфат-ионы	2	Наблюдается ингибирование (Pland and House, 2002)
Полифосфат-ионы	10	Снижение количества солеотложений на 100% (Harris and Marshall, 1981)

Отмечается, что весьма перспективные новые ингибиторы солеотложений и коррозии могут быть получены на основе малеиновой кислоты. Предлагается и полималеиновая кислота, получаемая из малеинового ангидрида радикальной полимеризацией в растворе с применением различных инициаторов.

Вместе с тем нельзя не заметить, что новые «зеленые» ингибиторы, такие как полималеиновая кислота, далеко не всегда оказываются достаточно эффективными при подавлении накипеобразования (табл. 1.6) [43,42].

Таким образом, необходимо искать приемлемый баланс между способностью к ингибированию и к биодegradации [50].

### **1.5. Иные оборотные системы водопользования на ТЭС**

Наряду с системами охлаждения конденсаторов паровых турбин, увеличивается количество электростанций с градирнями [52], имеющими замкнутый контур охлаждения, заполняемый обессоленной водой и оснащенными замкнутыми контурами охлаждения вспомогательных систем (воздухо- и маслоохладители), например, у энергоблоков ПГУ.

Требования к качеству подпиточной и циркуляционной воды разных СОО могут быть близкими или существенно отличаться, но во всех случаях решаются идентичные задачи максимального уменьшения массы отложений на теплопередающих поверхностях и коррозии металлов по тракту. Подбор эффективной программы коррекционной обработки воды системы оборотного охлаждения позволяет повысить надежность, экономичность и ресурс работы водоохлаждаемого оборудования ТЭС [82,81].

Так, система охлаждения замкнутого контура (ЗКО) вспомогательных механизмов энергоблока с парогазовой установкой (ПГУ) является типичной закрытой системой водяного охлаждения с объемом среды до 300 м<sup>3</sup>, температурой среды до 40÷45°С, стальными конструкциями трубопроводов и некоторых теплообменников. Коррозионные повреждения теплотехнического оборудования и трубопроводов таких систем является большой и сложной проблемой, требующей постоянного внимания [16-18,52-58].

В 2004 году на подсекции водоподготовки и водного режима НТС РАО «ЕЭС России» обсуждались «Методические указания по применению антинакипинов и

ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А и ИОМС-1 на энергетических предприятиях»[63]. Применение антинакипинов – фосфонатов (органических соединений, содержащих фосфоновую группу  $\text{PO}_3\text{H}_2$ ) является относительно новым методом предотвращения накипеобразования. Отмечалось, что наиболее часто в настоящее время используются следующие фосфонаты: гидроксиэтилидендифосфовая кислота (ОЭДФК), гидроксиэтилидендифосфонат цинка, динатриевая соль (ОЭДФ – цинк), ингибитор отложений минеральных солей ИОМС-1 и реагент ПАФ-13А.

Очевидным является факт, что главными коррозионными агентами в оборотных системах и тепловых сетях выступают кислород и ионы водорода. В различных публикациях приводятся результаты некоторых исследований и промышленных испытаний по предотвращению коррозии оборотных систем с водным теплоносителем. Так, в статье [56] представлены результаты работы по улучшению ВХР Харьковских тепловых сетей в период пуска. В результате испытаний установлено, что не деаэрированная умягченная вода вследствие содержания в ней большого количества растворенного кислорода и малого значения величины рН ( $7,0 \div 7,8$ ) является сильной коррозионно-активной средой. При подаче в сеть не деаэрированной воды должны быть приняты меры, снижающие коррозионную активность не деаэрированной воды, а также удаление из воды образовавшихся в результате коррозии соединений железа. В данном случае пример с тепловой сетью может служить примером процессов, которые протекают и в СОО.

В работе [57] приводятся данные по изучению коррозионной активности природной воды, а также воды, прошедшей различные способы подготовки: ионообменную очистку на заводских сооружениях, коррекционную обработку щелочью или реагентом Гидро-Икс (Hydro-X), выпускаемым датской фирмой Hydro-X A/S.

Подземные воды Подмосковья обуславливают приблизительно одинаковую скорость коррозии для стали Ст. 3, соответствующую 5 баллам (ГОСТ 13819-68, «ГОСТ 9.502 82» ЕСЗКС) [10]. Скорость питтинговой коррозии различна и определяется анионным составом воды. Обессоливание воды влияет на её коррозионную активность. Глубокая ионнообменная очистка примерно в 2 раза снижает скорость коррозии.

Степень влияния реагентной обработки зависит от устанавливаемого значения pH. При  $\text{pH} \leq 9,2$  коррозионные активности исходной и обработанной воды соизмеримы. В этом случае нужно вводить в воду ингибиторы коррозии. При  $\text{pH} \geq 9,8$  общая скорость коррозии снижается в 15÷20 раз. Сталь Ст. 3 имеет в такой среде 2 балла коррозионной стойкости. Реагент Гидро-Икс (Hydro-X) обладает некоторым ингибирующим эффектом к питтинговой коррозии.

Характер коррозионного процесса стальных трубопроводов сетей оценивается в зависимости от линейной скорости коррозии (табл. 1.7).

Таблица 1.7. Зависимость характера коррозионного процесса от линейной скорости коррозии

Скорость коррозии, мм/год	0,0÷0,02	0,02÷0,04	0,04÷0,05	0,05÷0,2	>0,2
Характер коррозионного процесса	Практически отсутствует	Слабый	Средний	Сильный	Аварийный

Принципиальная технологическая схема замкнутого контура охлаждения (ЗКО) вспомогательных механизмов блока № 2 Ивановских ПГУ представлена на рис. 1.14 [53]. Вода из бака-аккумулятора (1) насосами охлаждающей воды (2) прокачивается через охлаждающие теплообменники (3), после которых температура воды становится менее (или равной) 25°C. Такая вода направляется для охлаждения воздуха, масла в соответствующие теплообменники (4-9), а также подается к другим механизмам для снятия избыточного тепла. Подогретая в воздухоохладителе, маслоохладителе, и др. охладителях охлаждающая вода возвращается в бак-аккумулятор или непосредственно в коллектор всаса насосов. Проектная температура охлаждающей воды на всасе насосов равна 28°C.

В теплообменниках (3) съём тепла от охлаждающей воды производится циркуляционной (внешней) водой (10), проектная температура которой перед теплообменниками не превышает 22÷24 °С, а после теплообменников (3) не превышает 26÷28 °С.

Потери охлаждающей воды в ЗКО восполняются подпиточной водой: умягченной (после Na-катионитных фильтров) или турбинным конденсатом в бак-аккумулятор с расходом 15–17 м<sup>3</sup>/ч 2 раза в смену. Общий расход подпиточной воды составляет 30÷35 м<sup>3</sup>/сут. Большой расход подпиточной воды в ЗКО связан с отклонениями от проекта по ряду позиций. Расход охлаждающей воды на напоре

насосов ЗКО равен  $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$  при работе полублока и  $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$  – при работе полного блока.

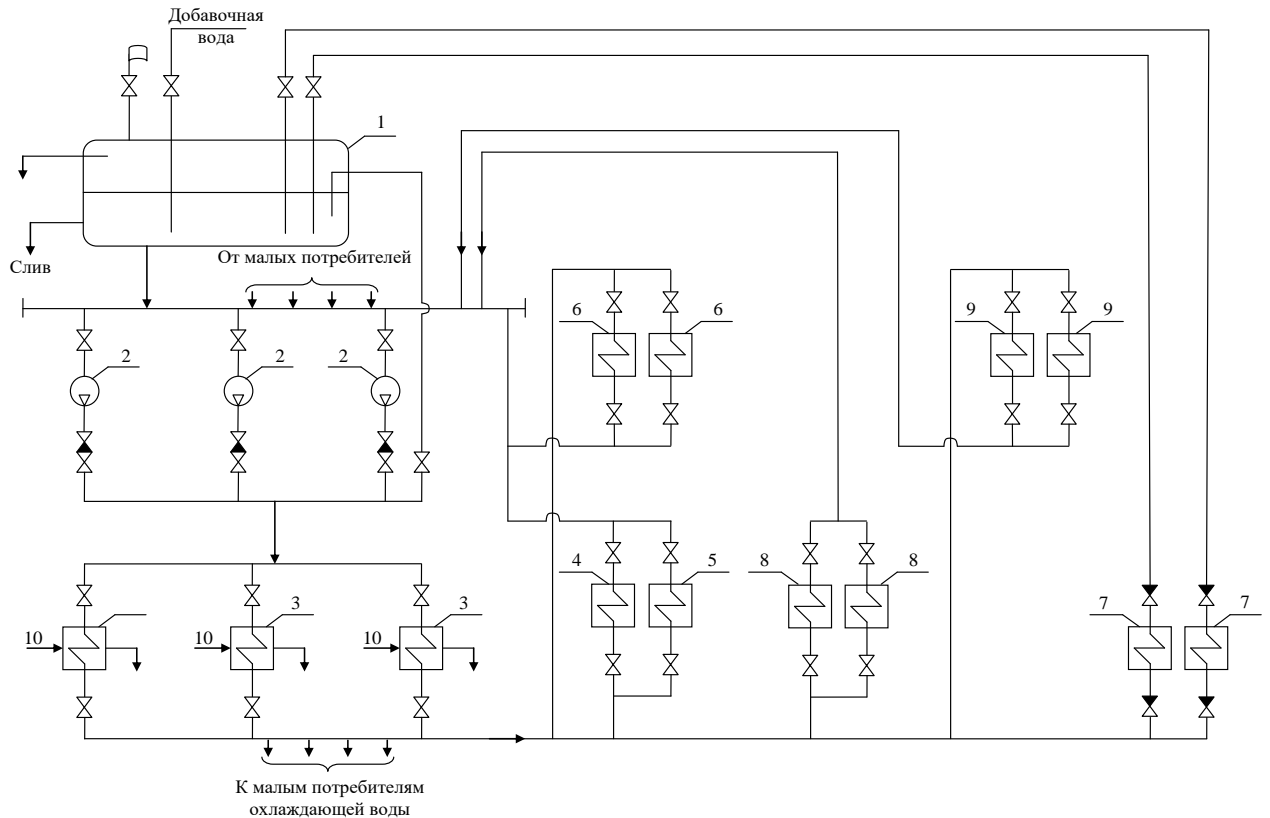


Рис. 1.14. Принципиальная технологическая схема ЗКО блока № 2 Ивановских ПГУ:  
 1 – бак охлаждающей воды ( $V=50 \text{ м}^3$ ); 2 – насос охлаждающей воды; 3 – теплообменник циркуляционной воды; 4 – маслоохладитель системы регулирования паровой турбины (2 шт.); 5 – маслоохладитель системы смазки паровой турбины (2 шт.); 6 – воздухоохладитель генератора паровой турбины (4 шт.); 7 – воздухоохладитель двигателя ГТД-110 (2 шт.); 8 – маслоохладитель газовой турбины (4 шт.); 9 – воздухоохладитель генератора газовой турбины (8 шт.); 10 – циркуляционная вода

Подобная технологическая схема ЗКО вспомогательных механизмов является типичной для современных энергоблоков ПГУ.

В результате исследований установлено, что ЗКО на блоке ПГУ, как и другие оборотные системы на ТЭС, нуждается в использовании ингибиторов коррозии и отложений. В приведенном примере был использован ингибитор коррозии «Аминат КО-2Н». В результате испытаний удалось снизить содержание кислорода и железа до значений, близких к нормативным, однако с течением времени наблюдалось повышение рН до значений  $9,1 \div 9,3$ , что вызывало выпадение осадка (предположительно состоящего из гидроксидов железа) и образование тонкодисперсного шлама, способного к осаждению на поверхностях контура.

## 1.6. Выводы по первой главе. Цель и задачи работы

### 1. Проведенный анализ литературных источников показал следующее:

Системы обратного охлаждения конденсаторов паровых турбин имеют проблемы организации водно-химического режима, связанные с отложениями минерального и органического (биологического) характера и с коррозией оборудования контуров.

2. Целью выполнения работы является повышение эффективности водно-химического режима систем обратного охлаждения ТЭС с использованием новых отечественных реагентов семейства ВТИАМИН для снижения интенсивности отложений и коррозии на теплопередающих поверхностях.

### 3. Задачи

- Разработка методик расчетного и экспериментального исследования эффективности новых ингибиторов отложений и коррозии для условий систем обратного охлаждения на ТЭС.

- Создание мобильной установки для исследований эффективности ингибиторов непосредственно в промышленных условиях с возможностью регулирования и контроля расхода и состава растворов, температурных режимов и степени концентрирования примесей.

- Исследование ВХР систем обратного охлаждения в условиях фактической эксплуатации и при дозировании новых комплексных реагентов семейства ВТИАМИН в качестве перспективных отечественных реагентов широкого спектра использования.



## ГЛАВА 2. КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС

Для оценки состояния водно-химического режима системы обратного охлаждения с выделением конденсатора паровой турбины как основного элемента теплообмена в тепловой схеме ТЭС, в данной работе разработана методика расчетно-экспериментального исследования.

В расчетной части методики оценивается возможность образования отложений путем расчета коэффициентов упаривания и коэффициента транспорта кальция по химическим анализам воды, в экспериментальной части – оценивается коррозионная агрессивность воды, величина отложений на поверхностях теплообмена и биологическая загрязненность циркуляционной воды с использованием специального стенда. Такая методика позволяет дать объективную оценку состояния ВХР как при существующей, так и при новой технологии реагентной обработки циркуляционной воды. Структурная схема методики исследований представлена на рис. 2.1.

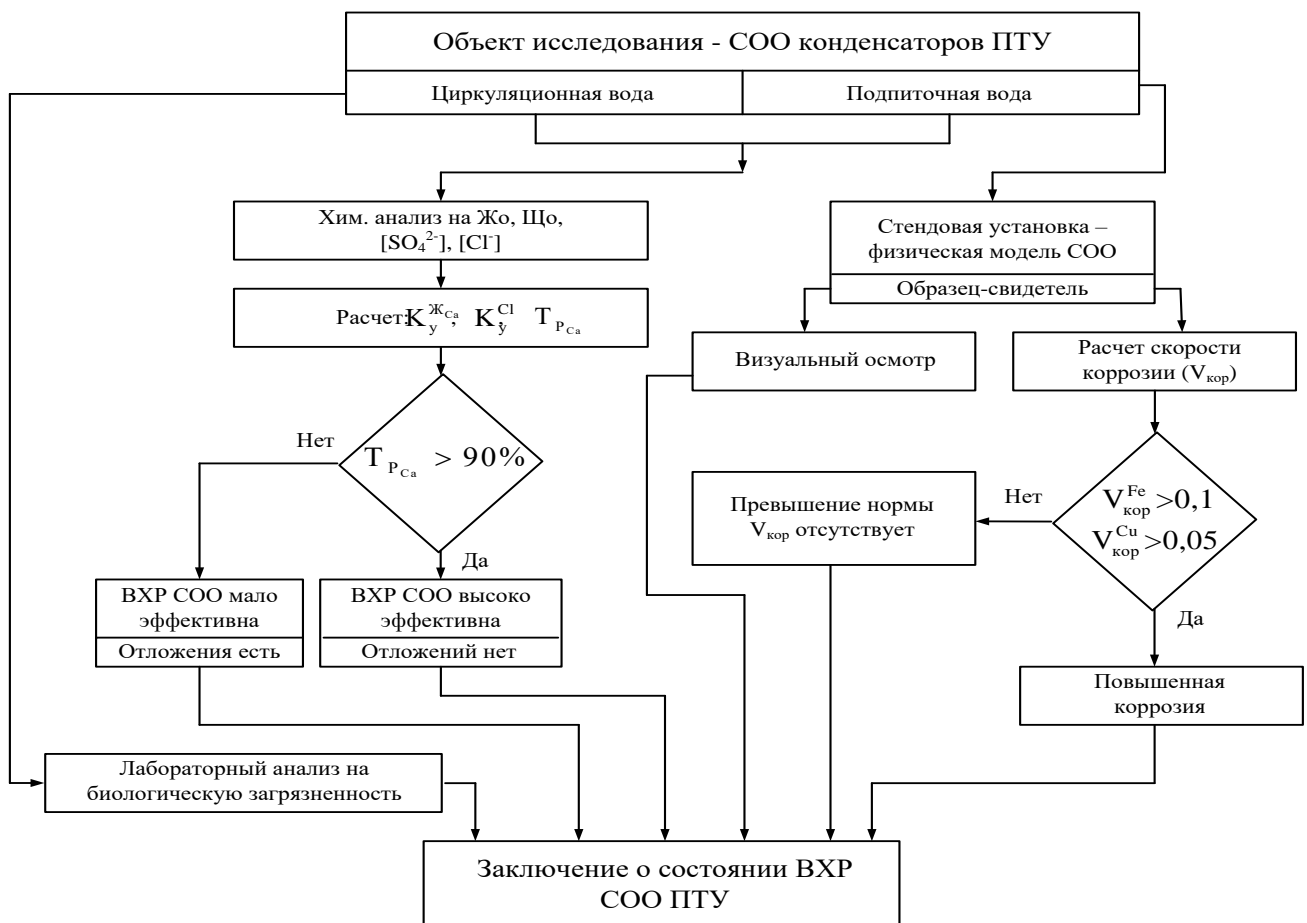


Рис. 2.1. Структурная схема методики промышленных исследований состояния

## 2.1. Расчетно-экспериментальная оценка состояния ВХР СОО

С развитием систем оборотного охлаждения в энергетике во второй половине прошлого века активно развивались и различные методики расчетной оценки накипеобразующей и коррозионно-агрессивной способности циркуляционной воды [59-69].

Задача ставилась следующим образом: какова должна быть предельная величина карбонатной жесткости ( $J_k^{np}$ ) оборотной или циркуляционной воды, а при известном коэффициенте (кратности) упаривания ( $K_y$ ) - карбонатная жесткость подпиточной воды ( $J_k^{доб}$ ), чтобы вероятность образования отложений в СОО была минимальной.

Задача решалась как в условиях бескоррекционного режима, так и при организации кислотного или фосфатного водно-химического режима.

Вероятность карбонатного накипеобразования определялась по методу Ланжелье и формуле Крушеля:

Индекс Ланжелье можно определить как разность рН воды и рНs равновесного насыщения воды карбонатом кальция.

Величина рНs определяется по следующей формуле:

$$pHs = pK_2 - pPP_{CaCO_3} - \lg[Ca^{2+}] - lgЩ + 2,5 \cdot \sqrt{\mu} + 7,6 \quad (2.1)$$

где  $\mu$  – ионная сила раствора.

Данная формула получена из уравнений диссоциации угольной кислоты I и II ступеней и уравнения произведения растворимости карбоната кальция.

$$f_{Ca} \cdot [Ca^{2+}] \cdot f_{CO_3} \cdot [CO_3^{2-}] = PP_{CaCO_3} \quad (2.2)$$

$$K1 = \frac{f_H \cdot [H^+] \cdot f_{CO_3} \cdot [CO_3^-]}{[H_2CO_3]}, \quad (2.3)$$

где K1- константа диссоциации I ступени  $CO_2$

$$K2 = \frac{f_H \cdot [H^+] \cdot f_{CO_3} \cdot [CO_3^{2-}]}{f_{HCO_3} \cdot [HCO_3^-]}, \quad (2.4)$$

где K2 - константа диссоциации II ступени  $CO_2$

Если расчетная величина индекса Ланжелье:

<0 – вода склонна к коррозии;

>0 – вода склонна к осаждению солей жесткости;

=0 – вода является в равновесном состоянии.

$$2,8 \cdot \mathcal{J}_k^{\text{пр}} = 8 + \frac{t-40}{5,5-\frac{\text{ПО}}{7}} - \frac{2,8 \cdot \mathcal{J}_{\text{нк}}}{6-\frac{\text{ПО}}{7} + \left(\frac{t-40}{10}\right)^3} \quad (2.5)$$

Формула Крушеля (2.5) получена эмпирически для вод с перманганатной окисляемостью (ПО) не более 25 мгО/дм<sup>3</sup> для температур  $t=30\div 50^\circ\text{C}$  с учетом фактической некарбонатной жесткости ( $\mathcal{J}_{\text{нк}}$ ). При карбонатной жесткости циркуляционной воды больше значения  $\mathcal{J}_k^{\text{пр}}$ -накипеобразование на элементах СОО возможно. В условиях безкоррекционного водного режима предельная карбонатная жесткость подпиточной воды может быть определена по формуле:

$$(\mathcal{J}_k^{\text{пр}})_d = \frac{\mathcal{J}_k^{\text{пр}}}{K_y} \quad (2.6)$$

где –коэффициент упаривания воды в СОО по хлоридам.

При подкислении оборотной воды серной кислотой или при фосфатной обработке производилось уточнение допустимых значений  $(\mathcal{J}_k^{\text{пр}})_d$ , больших по сравнению с выражением (2.6), обеспечивающих безнакипный режим работы СОО и расчет необходимых дозировок реагентов [5-31].

В дальнейшем допустимые значения карбонатной жесткости (или щелочности общей), концентрации катионов кальция и другие показатели формировались в численные значения для конкретных ВХР СОО [62,63]. В результате появились новые показатели, применимые для оперативной оценки состояния ВХР.

Так на основании данных аналитического контроля оборотной и подпиточной воды рассчитывались коэффициенты упаривания (концентрирования) по значению кальциевой жесткости и содержанию хлоридов. Расчет коэффициентов упаривания проводился по следующим формулам:

$$K_y^{\mathcal{J}_{\text{Ca}}} = \frac{\mathcal{J}_{\text{Caоб}}}{\mathcal{J}_{\text{Caподп}}} \quad (2.7)$$

$$K_y^{\text{Cl}} = \frac{[\text{Cl}^-]_{\text{об}}}{[\text{Cl}^-]_{\text{подп}}} \quad (2.8)$$

где  $J_{Ca_{об}}$ ,  $J_{Ca_{подп}}$ ,  $[Cl^-]_{об}$ ,  $[Cl^-]_{подп}$  – соответственно кальциевая жесткость и содержание хлоридов в оборотной и подпиточной воде.

С целью оценки вероятности протекания процессов образования отложений карбонатных солей на теплообменном оборудовании и трубопроводах, на основании данных аналитического контроля качества оборотной (циркуляционной) и подпиточной воды рассчитывались значения существующих коэффициентов транспорта кальция. Данный параметр позволяет оценить, какое количество солей из подпиточной воды выделяется в виде отложений (накипи) на теплообменном оборудовании, а какое – остается в объеме оборотной воды. Расчет коэффициента транспорта кальция ( $T_{рCa}$ ) основан на сравнении коэффициентов упаривания, рассчитанных по значениям кальциевой жесткости и содержанию хлоридов, и рассчитывался по формуле:

$$T_{рCa} = \frac{K_y^{J_{Ca}}}{K_y^{Cl}} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

Расчет коэффициента транспорта кальция напрямую связан и следует из оценки эффективности реагентной (коррекционной) обработки оборотной воды [104]. По СО 34.37.536-2004 [63] эффективность реагентной обработки оценивается путем сравнения общей жесткости циркуляционной (оборотной) воды  $J_{ц.в.}$  с расчетным значением  $(J_{ц.в.})_{расч.}$ :

$$(J_{ц.в.})_{расч.} = K_y^{Cl} \cdot J_{доб} \quad (2.10)$$

Выполнение условия  $\Delta J = (J_{цв})_{расч} - J_{цв} < 0,3$  мг-экв/дм<sup>3</sup> свидетельствует об отсутствии накипеобразования в трубках теплообменников циркуляционной системы.

При эффективной реагентной обработке коэффициент упаривания по общей или кальциевой жесткости должен быть практически равен коэффициенту упаривания по хлоридам или их отношение (коэффициент транспорта кальция) должно стремиться к 100%. Из практики реагентной обработки СОО допустимое значение коэффициента транспорта кальция должно составлять не менее 85 %.

По мере накопления опыта работы конденсаторов СОО паровых турбин на ТЭС все острее возникали вопросы защиты от коррозии металлов контура и разработки методов коррозионных испытаний [64,65]. С использованием образцов-свидетелей в

ходе коррозионных испытаний расчет скорости коррозии выполняется по формуле (2.11):

$$V_{\text{кор}} = \frac{8760 \cdot 10 \cdot (m_0 - m)}{S \cdot t \cdot \rho}, \text{ мм/Г}, \quad (2.11)$$

где 8760 – число часов работы оборудования в год (ч/год),  $m_0$ ,  $m$  – масса образца до и после экспозиции, г;  $S$  – площадь образца,  $\text{см}^2$ ;  $t$  – время экспозиции образца, час;  $\rho$  – плотность материала образца,  $\text{г/см}^3$ , 10 мм/см – пересчет в мм.

Подбор эффективной программы коррекционной обработки воды позволяет повысить надежность, экономичность и ресурс оборудования [67,68]. Расчетные методы позволяют оперативно оценивать эффективность ВХР.

Реализация изложенной выше расчетно-экспериментальной методики требует большого объема химических анализов проб циркуляционной и подпиточной воды. Необходимы измерения общей и кальциевой жесткости, щелочности, концентраций хлоридов, сульфатов, окисляемости воды, а также значений рН, и удельной электропроводности.

Методики выполнения химических анализов известны [60,61], однако требуют больших затрат времени и средств, и должны сочетаться с другими физико-химическими методами контроля качества воды и отложений, а также с определением скорости коррозии конструкционных материалов.

## 2.2. Методика стендовых исследований водно-химического режима СОО ТЭС

При разработке наиболее оптимального водно-химического режима необходимо предварительно выполнить стендовые испытания в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации СОО. Предварительные стендовые испытания обеспечивают необходимую оценку эффективности того или иного типа водного режима СОО, а также позволяют избежать неверных технических решений, приводящих к снижению эффективности работы оборудования или аварийным ситуациям [69-71].

Зачастую на некоторых ТЭС отмечается тенденция к снижению продувки СОО для сокращения технологических потерь воды, что приводит к увеличению значения коэффициента упаривания воды в системе и увеличивает вероятность образования карбонатных отложений. Увеличение концентрации серной кислоты для снижения рН

усиливает коррозию оборудования. Увеличение концентрации фосфонатов или других ингибиторов ограничивается экологическими и экономическими требованиями, что особенно существенно при больших расходах циркуляционной воды (от 10000 до 30000 м<sup>3</sup>/ч и более). Помимо отмеченных выше существуют и другие факторы, значительно влияющие на эксплуатационные характеристики паротурбинной установки в целом.

Сложность разработки методики определяется большим диапазоном качества подпиточной воды: от маломинерализованной воды с высоким содержанием органики (например, на Псковской ГРЭС и др.) до природных вод повышенной минерализации и соленых вод (например, Калининградская ТЭЦ-2, Северодвинская ТЭЦ-2 и др.). В таких условиях выбор реагентов для предотвращения минеральных отложений и органических обрастаний становится значительной проблемой организации работы СОО [70,71], требующей индивидуального решения для конкретной ТЭС. В этой связи требуется разработка комплексной методики, обеспечивающей всестороннее исследование состояния ВХР СОО, выбор композиций реагентов и уточнение их концентрации для поддержания наиболее эффективных условий эксплуатации системы.

### **2.2.1. Стенд для исследования состояния ВХР СОО**

С целью выполнения стендовых исследований различных реагентных технологий для коррекционной обработки воды СОО с участием автора испытана мобильная стендовая установка для исследования состояния ВХР СОО электростанции [72,73,99].

Использованный для испытаний стенд является действующей моделью вентиляторной градирни. В состав стенда входят градирня, циркуляционный насос, ротаметр, ТЭН, система определения скорости коррозии. Принципиальная схема стенда представлена на рис. 2.2.

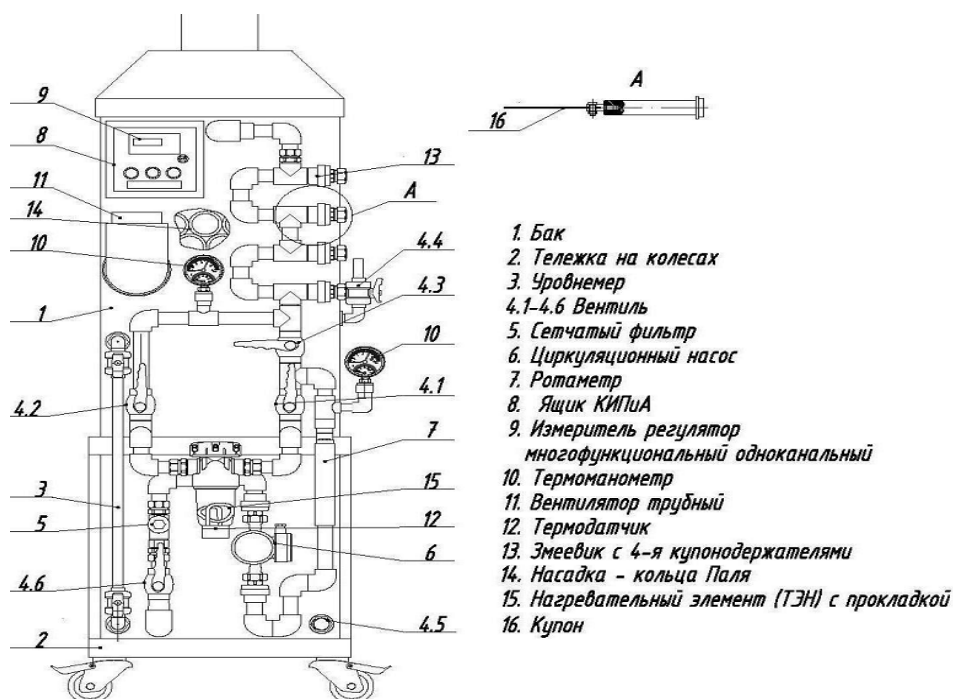


Рис. 2.2. Схема стенда для определения скорости коррозии и накипеобразования.

### 2.2.2. Принцип работы испытательного стенда

Бак (1) объем 105 литров заполняется подпиточной водой, содержащей необходимое количество испытуемого реагента, до рабочего уровня.

Вода из основной ёмкости подается через открытый кран, сетчатый фильтр грубой очистки (5) циркуляционным насосом (6) проходит регулирующий кран далее подаётся на ротаметр (7) в количестве  $1,2 \div 1,3$  м<sup>3</sup>/час. После ротаметра вода проходит пробоотборник, термометры и ТЭН.

Нагрев ТЭН (15) регулируется при помощи терморегулирующего прибора, включенного последовательно ТЭНу. При прохождении воды через ТЭН она соприкасается с нагревательным элементом последнего, в результате чего на тёплой стенке ТЭНа образуется накипь, а вода нагревается. Далее тёплая вода проходит через систему контроля коррозии и накипеобразования (гнезда купонов - 13), через ороситель попадает на орошение пластиковой насадки. Насадка орошается водой и продувается воздухом, нагнетаемым вентилятором (11). При контакте тёплой воды и воздуха на поверхности насадки (14) происходит охлаждение воды за счёт испарения ее части. При этом одновременно происходит упаривание воды. Охлаждённая вода сливается в бак, далее цикл повторяется.

Для определения накипеобразующих свойств воды используется свойство карбонатов кальция откладываться из раствора на нагретую поверхность. В качестве такой поверхности выступает нагревательный элемент ТЭН.

Перед запуском установки в работу ТЭН взвешивается с точностью до 0,0001 г. После запуска установки и работы в течение установленного времени ТЭН снимается, на его место ставится другой ТЭН, таким же образом взвешенный, и установка снова запускается в работу.

В ходе испытаний один раз в сутки проводится типовой анализ циркуляционной и подпиточной воды, рассчитывается коэффициент упаривания ( $K_y^{ЖCa}; K_y^{Cl}$ ), транспорт кальция ( $T_{P_{Ca}}$ ). После определения удельной загрязнённости и скорости коррозии производится сравнение результатов с данными, полученными при другой реагентной обработке.

### 2.2.3. Порядок проведения испытаний

Перед началом испытаний необходимо собрать и установить стенд для испытаний в специально отведенном помещении. Закрывать (проверить закрытие) арматуры. Установить предварительно взвешенные и помеченные купоны в змеевик стенда. Собрать электрическую схему насосного агрегата. Заполнить бак стенда подпиточной водой, содержащей необходимое количество испытуемого реагента. Открыть вентили, стравить воздух из насоса через вывинчивающуюся пробку, включить насосный агрегат в работу, отрегулировать расход воды через змеевик на уровне  $1,2 \div 1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Включить вентилятор градирни. Установить на датчике терморегулятора температуру  $45^\circ\text{C}$ .

В процессе работы стенда-градирни поддерживается заданный  $K_y^{Cl}$  путём дренирования и добавления заданных количеств воды, выполняются текущие анализы воды, производится расчет величины транспорта кальция.

После 360 часов работы стенд останавливается, изымаются образцы-свидетели. Образцы после испытаний в соответствии с программой подвергаются механической и химической очистке по ГОСТ Р 9.907-2007 [69].

ТЭН снимается, на его место ставится новый ТЭН, таким же образом взвешенный, и установка снова запускается в работу. Определяется привес ТЭНа,



производится расчет удельной загрязнённости ТЭНа. Определяется потеря массы купонов, вычисляется скорость коррозии.

Результаты проведенных опытов заносятся в таблицы, производится сравнительный анализ полученных данных.

Ежесуточно производится отбор проб воды из бака стенда и выполняются анализы. По истечении одной недели частота выполнения анализов может быть уменьшена решением руководителя работ по программе. По результатам анализов производится корректировка концентрации реагентов в баке. Все операции, выполняемые на стенде, фиксируются в журнале испытаний.

После определения накипеобразующих свойств воды сравниваются разные реагентные программы. Все данные заносятся в таблицу. После окончания сравнительных испытаний делается заключение об эффективности каждого реагента.

В процессе работы стенда поддерживается постоянный уровень воды в баке, периодически подпитываемый водой, содержащей необходимое количество испытуемого реагента с помощью мерной емкости. Таким образом поддерживается коэффициент упаривания, аналогичный существующему в системе оборотного охлаждения ТЭС.

Работы по испытаниям корректирующих реагентов проводятся в соответствии с нормативной литературой [63 - 65], в том числе, согласно ГОСТ 9.905-2007 [64]. Нормы контролируемых параметров представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. **Нормы контролируемых параметров**

№	Наименование показателя	Норма
1	Транспорт кальция	Не менее 90%
2	Скорость накипеобразования	Не более 0,25 г/(м <sup>2</sup> *ч)
3	Скорость коррозии для стали 20 (ГОСТ 9.908-85 «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Метод определения показателей коррозии и коррозионной стойкости (с Изменением №1)»)	Не более 0,1 мм/год

Таким образом, представленная стендовая установка может транспортироваться на конкретную ТЭС, где в режиме физического (и химического) моделирования могут проводиться исследования состояния как принятого, так и другого типа ВХР СОО, основанного на дозировании иных (новых) реагентов.

## 2.3. Методика лабораторных исследований

### 2.3.1. Методика определения скорости протекания коррозии по образцам-свидетелям

Контроль за проведенными исследованиями на стенде выполняется путем оценки скорости коррозии в следующей последовательности:

1) Образцы-свидетели изготавливают согласно ГОСТ 9.908-82«ЕСЗКС. Методы коррозионных испытаний. Общие требования»[30].

2) Образцы (купоны) обычно изготавливаются из металла, присутствующего в системе (Сталь 20, и т.п.) в виде цилиндров диаметром 1 см и металлических пластин.

Металлические купоны шлифуют, пассивируют, обрабатывают дистиллированной водой, после высушивания - взвешивают. В случае использования стандартных купонов, их пассивация не требуется. Перед помещением в поток купоны необходимо обезжирить спиртом или ацетоном и взвесить. Скорость потока должна быть на уровне 1,5 м/с.

3) Отмечают время экспозиции купона.

4) После извлечения, при наличии на образцах отложений или продуктов коррозии, их необходимо очистить ластиком и щётками. Промыть дистиллированной водой, высушить и вновь взвесить на тех же весах.

5) Формулы для расчета скорости коррозии:

Скорость коррозии металлов оценивают количественно по убыли массы единицы поверхности металла в единицу времени – весовой показатель скорости коррозии (К) – или по глубине коррозионных повреждений – глубинный показатель или проницаемость (П). Оба показателя связаны следующими зависимостями:

$$K = \frac{\Delta m}{S \tau} \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \quad (2.12)$$

$$П = K \cdot \frac{8,76}{d} \text{ мм}/\text{год} \quad (2.13)$$

где  $\Delta m$  – убыль (или прибыль) массы металла за время испытания (S – общая поверхность испытуемого образца ( $\text{м}^2$ );  $\Delta t$  – продолжительность испытания (часы); d – диаметр купона в метрах. Норма скорости протекания коррозии для стали составляет  $< 0,1$  мм/год.

В табл. 2.2 показаны значения для подсчета скорости коррозии на образцах свидетелях (купонах).

Таблица 2.2. Значения для подсчета скорости коррозии на образцах свидетелях (купонах)

№	$\Delta t$ (час)	$m_n$ (г)	$m_k$ (г)	$\Delta m$ (г)	$d$ (м)	$H$ (м)	$S$ м <sup>2</sup>	$K$ (г/м <sup>2</sup> *ч)	$P$ (мм/год)
1	800	62,5958	62,52840	0,06740	0,03	0,075	0,007772	0,010841	0,012067
2	76	61,395	61,2994	0,09560	0,01	0,098	0,003156	0,39861	0,443688
3	1200	61,9985	62,0671	-0,06860	0,01	0,098	0,003156	-0,01812	-0,02016
4	76	62,1815	62,057	0,1245	0,01	0,09	0,002905	0,564007	0,555135

### 2.3.2. Методика оценки интенсивности биологических обрастаний

С участием автора были выполнены лабораторные и промышленные испытания биоцидов, применяемых в настоящее время для обработки воды.

Целью лабораторных испытаний биоцидов является проверка и оценка эффективности работы реагентов для биоцидной обработки воды оборотных циклов и установок обратного осмоса, а также проведение сравнительного анализа эффективности работы разных марок биоцидов при равных условиях.

Для оценки эффективности применения биоцида с заданными дозами выполнялся контроль по следующим показателям:

- Бихроматная окисляемость;
- Перманганатная окисляемость;
- Контроль по определению низших форм биообрастаний с применением тестов (ОМЧ). Методика определения микробного числа с использованием био-теста приведена в Приложении 2.

### 2.4. Пример реализации расчетно-экспериментальной методики оценки состояния ВХР СОО ТЭЦ

Для предотвращения процессов накипеобразования на внутренних поверхностях конденсатора и теплообменного оборудования на ТЭЦ с блоками ПГУ-450 МВт в настоящее время применяется коррекционная обработка с добавлением серной кислоты для подкисления подпиточной воды и снижения ее щелочности и щелочности оборотной воды, а также дозирование оксиэтилидендифосфоновой кислоты (ОЭДФК) для предотвращения образования накипных отложений.

Некоторые показатели качества подпиточной и циркуляционной воды приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Среднегодовые (2018 г.) показатели качества подпиточной и циркуляционной воды СОО ТЭЦ с блоками ПГУ-450 МВт

Показатель	Размерность	Подпиточная вода	Циркуляционная вода
Жесткость общая (Ж <sub>о</sub> )	мг-экв/дм <sup>3</sup>	4,6	9,7
Щелочность общая (Щ <sub>о</sub> )	мг-экв/дм <sup>3</sup>	3,8	9,5
Концентрация хлоридов	мг/дм <sup>3</sup>	18,8	51,9
Концентрация сульфатов	мг/дм <sup>3</sup>	31,7	165,5
Концентрация фосфатов	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	2,1

Высокая щелочность подпиточной (речной) воды обуславливает значительный расход серной кислоты (не менее 36 тонн в год) для снижения щелочности исходной воды. Из-за большого расхода серной кислоты наблюдаются интенсивные коррозионные процессы для отдельных элементов системы оборотного охлаждения, а в продувочной (сточной) воде периодически наблюдаются превышения допустимых показателей по некоторым веществам (в том числе и производным серной кислоты), что влечет за собой штрафные санкции на ТЭЦ.

По результатам расчетов было выявлено, что в 2017-2018 годах система оборотного охлаждения конденсаторов паровых турбин ПГУ-450 МВт работала с коэффициентами упаривания  $2,11 \div 3,43$  ед., рассчитанным по содержанию хлоридов, а среднее значение коэффициента упаривания составило 2,8 ед.

Установлено, что среднее значение коэффициента транспорта кальция для СОО ПГУ-450 составляет 74%. Высокие накипеобразующие свойства оборотной воды системы охлаждения ПГУ-450 и недостаточная эффективность существующей коррекционной обработки подтверждены результатами осмотра трубок конденсатора и вспомогательного теплообменного оборудования, а также результатами качественного анализа отложений.

Образцы-свидетели скорости коррозии из углеродистой стали и латуни устанавливались в период с 31 июля по 18 сентября, а также с 19 сентября по 30 октября 2018 года. Установка и съём образцов-свидетелей производились в присутствии персонала ТЭЦ. Обработка образцов и их анализ проводился в лаборатории химического цеха ТЭЦ.

Расчет скорости коррозии проводили по формуле (2.11).

Нормативное значение скорости коррозии в соответствии с ГОСТ Р 9.502-82 для углеродистой стали составляет не более 0,1 мм/год, а для латуни – не более 0,05 мм/год.

В табл. 2.4 представлены расчетные значения скорости коррозии после экспозиции при существующих условиях работы системы оборотного охлаждения ПГУ-450, показавшие повышенные скорости коррозии стали на двух из трех образцов.

Таблица 2.4. Величины скорости коррозии образцов-свидетелей после экспозиции в системе оборотного охлаждения ТЭЦ с блоками ПГУ-450 МВт

Период экспозиции	31 июля – 18 сентября 2018 г.			19 сентября – 30 октября 2018 г.	
	Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Латунь
Скорость коррозии, мм/год	0,1064	0,0993	0,0037	0,1219	0,0142

Визуальный осмотр образцов-свидетелей из углеродистой стали (Ст. 20) после экспозиции в системе оборотного охлаждения ПГУ-450 показал, что коррозионные поражения образцов значительные, коррозия носит местный (неравномерный) характер. Полученные данные и визуальный осмотр трубок конденсатора указывают на то, что действующий водно-химический режим с применением ОЭДФ и подкислением серной кислотой неэффективен.

В процессе выполнения исследований принятого водно-химического режима было установлено, что помимо коррозионных процессов в СОО наблюдается повышенное накипеобразование. Это обусловлено составом исходной (природной) воды, обладающей повышенной накипеобразующей и коррозионной активностью из-за высокого содержания сульфатов и хлоридов. В связи с этим остро назрела необходимость корректировки водно-химического режима СОО для обеспечения необходимой степени надежности и экономичности работы оборудования.

## 2.5. Обоснование выбора комплексного реагента

Как отмечено в первой главе, эффективный водно-химический режим СОО обеспечивается подбором реагентов для предотвращения отложений, коррозии и биообрастаний. В настоящее время на рынке реагентов предлагаются комплексные реагенты, как правило, импортного производства, способные решать несколько задач (т.е. являющиеся ингибиторами отложений и коррозии, ингибиторами коррозии и биообрастаний и др.) в зависимости от преобладающих факторов вредного воздействия и ограничений в СОО [9, 27].

Однако зачастую предлагаемый выбор того или иного реагента базируется на малоэффективных составах, которые устарели по причине изменившихся технических требований к эксплуатации оборудования, а также по причине ужесточения экологических норм на природопользование.

Поэтому, как уже отмечалось выше, в современных условиях особо остро назрел вопрос о разработке и промышленном внедрении современных реагентов категории «smart» (многозадачных), которые по своей сути обладали бы матрицей свойств, проявляющихся в тех или иных условиях эксплуатации оборудования. Для этого необходимо найти современное решение в организации многозадачного водно-химического режима СОО на основе реагентов с другими свойствами.

Также существенным моментом в разработке реагента является способ утилизации продувки системы оборотного охлаждения: при сбросе в природный водоем ограничивающим фактором являются нормы СанПиН, при сбросе в теплосеть – нормы качества сетевой воды [4].

По сложившейся за годы эксплуатации традиции предлагаемые реагенты называются «торговыми марками» (Налко, Джурби, Активфос и т.д) и рекомендуются для определенного набора факторов, характеризующих работу СОО и требования к качеству циркуляционной воды. Однако большинство реагентов, обладающих более широким спектром свойств, разработаны и производятся за рубежом, что приводит к зависимости отечественных стратегических отраслей промышленности от зарубежных производителей.

В данной работе, не нарушая принятой традиции, принимаются к исследованию новые современные отечественные комплексные реагенты с общим названием ВТИАМИН.

Разработка реагентов марки ВТИАМИН была выполнена и продолжается в настоящее время на основании анализа многолетнего опыта эксплуатации различных СОО. По своим составам и свойствам реагенты марки ВТИАМИН можно назвать аналогами зарубежных, однако по своей сути это новое направление в организации водно-химического режима СОО, обеспечивающее многозадачное решение.

Разработчиком «линейки» реагентов марки «ВТИАМИН» является компания ООО «Водные Технологии Инжиниринг» г. Москва, производителем – производственное объединение ООО «Техно Хим Реагент Бел», республика Беларусь,

г. Гродно. Перечень и характеристики реагентов, показавших свою эффективность при ведении водного режима СОО приведены в Приложении 3.

## **2.6. Выводы по второй главе**

Представленная во второй главе комплексная методика исследования реагентов для ведения водного режима СОО на ТЭС позволяет непосредственно в условиях работы электростанции выполнять оценку эффективности как применяемых реагентов, так и вновь созданных композиций.

На основании применения разработанной методики испытаний и установки, моделирующей условия реальной эксплуатации СОО, необходимо отметить:

1. В работе использована уникальная стендовая установка, обеспечивающая физико-химическое моделирование процессов в условиях реальной эксплуатации СОО ТЭС.

2. Методика обеспечивает возможность одновременного исследования образования отложений, скорости коррозии конструкционных материалов и интенсивности биологических обрастаний в системах оборотного охлаждения на ТЭС.

3. Оценка накипеобразующей способности системы может быть выполнена расчетным (по результатам химического анализа подпиточной и циркуляционной воды), а также гравиметрическим методом контрольных образцов в стендовых условиях.

4. Принятые к исследованию реагенты позволяют решать важную задачу импортозамещения в теплоэнергетике.

Материалы главы 2 опубликованы в работах автора [32, 72, 97, 103].

### ГЛАВА 3. СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ВХР СОО

Исследования проводились с целью отработки комплексной методики оценки качества водно-химического режима ВХР СОО при дозировках в циркуляционную воду различных реагентов. В качестве испытуемых использовались известные реагенты и реагенты семейства «ВТИАМИН» (Приложение 3).

#### 3.1. Результаты стендовых исследований на воде реки Москва

##### 3.1.1. Первый этап испытаний на стенде (вода без реагента)

С целью получения данных исследований, максимально приближенных к реальному качеству воды, испытания проводились на воде реки Москва. Показатели качества воды реки Москва за период испытаний представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Показатели качества воды реки Москвы в период 30.03.17-13.04.17

№	pH	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>
1	7,82	457	4,0	2,8	3,6	16,2	-	-
2	7,80	410	3,8	2,6	3,6	19,5	0,114	17
3	7,79	425	3,9	2,8	3,5	17,3	-	-
4	7,71	405	3,8	2,7	3,6	15,5	0,299	15
Среднее значение	7,78	424	3,9	2,7	3,6	17,1	0,207	16

В процессе выполнения исследований на модельном стенде градирни был установлен режим упаривания воды при температуре 45°C. В установке коэффициент упаривания поддерживался до значения 2,5. Регулирование коэффициента упаривания производилось с помощью продувки системы. В период стендовых испытаний по коррекционной обработке оборотной воды системы скорость коррозии конструкционных материалов контролировалась по образцам-свидетелям.

30 марта 2017 был начат первый этап стендовых испытаний (этап без обработки охлаждающей воды коррекционным реагентом): в бак стенда (представленного на рис. 2.1) залито 105 литров воды реки Москва, установлены образцы-свидетели коррозии, включён циркуляционный насос, подано напряжение на ТЭН. С помощью терморегулятора задана температура поверхности ТЭНа – 45 °С.



В ходе испытаний проводилась продувка стендовой установки и ее подпитка, выполнялся отбор проб для выполнения химических анализов, контролировалась температура воды в стенде.

Среднее количество подпитки системы за одни сутки составляло 23 дм<sup>3</sup>.

Результаты химического анализа оборотной воды представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Результаты химического анализа оборотной воды (среднесуточные)

№	pH	Электро- проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Органи- ческие фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Гр <sub>Ca</sub> , %
1	8,65	480	5,6	2,6	3,8	20,7	0,152	0,32	80,9
2	8,78	576	5,5	2,8	4,0	27,8	0,147	0,34	64,8
3	8,71	643	5,64	2,6	4,2	31,3	0,158	0,37	53,5
4	8,78	790	5,7	3,0	4,2	31,7	0,048	0,31	61,1
5	8,71	875	5,8	3,3	4,3	35,8	0,048	0,24	59,3
6	8,69	892	5,9	3,0	3,9	43,2	0,041	0,42	44,8
7	8,72	973	6,2	2,8	4,0	45,2	0,44	0,36	39,9
8	8,7	1025	6,8	3,1	4,4	44,4	0,047	0,40	45,0
9	8,75	1047	7,1	2,8	4,2	42,6	0,038	0,34	42,3

В процессе выполнения испытаний на первом этапе на основании контроля качества воды, циркулирующей в стенде, на одиннадцатые сутки стенд был остановлен, были изъяты образцы-свидетели коррозии и ТЭН.

На рис.3.1 (а и б), 3.2 представлены фотографии ТЭНа и образцов-свидетелей до и после испытаний.



Рис. 3.1. Фотографии ТЭНа до и после испытаний



Рис. 3.2. Фотографии образцов-свидетелей до и после испытаний

Результаты испытаний образцов свидетелей представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Результаты испытаний образцов свидетелей

Наименование	Образец-свидетель выполненный из меди	Образец-свидетель выполненный из нержавеющей стали	Образец-свидетель выполненный из углеродистой стали	ТЭН
Скорость коррозии, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	0,0115	0,0007	0,293	-
Скорость коррозии, мм/год	0,0113	0,0008	0,304	-
Скорость накипеобразования, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	-	-	-	0,5481

Извлечённые из стендовой установки образцы-свидетели, выполненные из углеродистой стали, были покрыты твердыми отложениями темно-коричневого цвета. Отложения расположены практически равномерно по всей поверхности.

После обработки образцов-свидетелей согласно методике [10], на поверхности металла были ярко выражены очаги коррозии, расположенные по всей поверхности образца. Скорость коррозии углеродистой стали составила 0,3 мм/год, что в три раза превышает норму в 0,1 мм/год [78].

Образцы-свидетели, выполненные из меди и нержавеющей стали, также были покрыты твердыми отложениями темно-коричневого цвета. После обработки образцов они выглядели чистыми без явных признаков очагов коррозии.

Полученный расчетным путем показатель «Tr<sub>Ca</sub>» в системе колеблется в пределах 40-65%, что свидетельствует о стабильном процессе образования кальциевых отложений. Это подтверждает и количественный результат скорости накипеобразования, равный 0,55 г/(м<sup>2</sup>\*ч), превышающий норму в два раза.

### 3.1.2. Второй этап испытаний с применением реагента ВТИАМИН ТС-4 с дозой 10 г/м<sup>3</sup> подпиточной воды

На втором этапе проведения стендовых исследований по разработке наиболее эффективной технологии ведения водного режима СОО применялся реагент ВТИАМИН ТС-4 (ООО «Водные Технологии Инжиниринг» г. Москва, производится согласно ТУ 2599-002-17875808-16 «Реагенты торговой марки «ВТИАМИН» для обработки открытых и закрытых оборотных систем»).

ВТИАМИН ТС-4 - высокоэффективный цинк-содержащий ингибитор коррозии и накипеобразования для воды как мягкой, так и для вод с высокой жесткостью до 16 мг-экв/дм<sup>3</sup> и щелочностью до 6 мг-экв/дм<sup>3</sup>; предотвращает питтинговую и гальваническую коррозию в системах, конструкционные элементы которых представлены различными материалами. Характеристика химического реагента ВТИАМИН ТС-4 представлена в Приложении № 3.

Испытания проводились на воде реки Москва. Показатели качества воды реки Москва за период испытания представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Результаты химического анализа р. Москва

№	рН	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>
1	7,82	457	4,0	2,8	3,6	16,2	-	-
2	7,80	410	3,8	2,6	3,6	19,5	0,114	17
3	7,79	425	3,9	2,8	3,5	17,3	-	-
4	7,71	405	3,8	2,7	3,6	15,5	0,299	15
Среднее значение	7,78	424	3,9	2,7	3,6	17,1	0,207	16

На втором этапе выполнения стендовых исследований упаривание воды в стенде проводилось так же, как и на первом этапе при температуре 45°С.

Коэффициент упаривания в стендовой установке также поддерживался до 2,5. Регулирование коэффициента упаривания на стендовой установке выполнялось с помощью продувки системы. В бак стенда было залито 105 литров воды реки Москва, установлены образцы-свидетели коррозии, включён циркуляционный насос, подано напряжение на ТЭН. С помощью терморегулятора задана температура поверхности ТЭНа – 45°C.

В ходе испытаний проводилась продувка/подпитка стенда, выполнялся отбор проб для выполнения химических анализов, контролировалась температура воды в стенде. Среднее количество подпитки системы за одни сутки составило 21 дм<sup>3</sup>. Результаты химического анализа оборотной воды представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Результаты химического анализа оборотной воды на втором этапе испытаний с дозировкой реагента ВТИАМИН ТС-4

№	pH	Электропроводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Органические фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Tr <sub>Ca</sub> , %
1	8,57	450	5,2	3,3	3,8	21,64	0,054	0,62	96,6
2	8,24	487	5,8	4,2	4	27,05	-	-	98,3
3	8,61	576	7,4	4,6	4,2	29,2	-	0,75	99,8
4	8,68	639	7,8	4,9	4	31,4	0,035	1,32	98,8
5	8,78	792	8,4	5,2	4,2	33,54	0,017	-	98,2
6	8,69	875	9,4	5,8	4,2	36,78	0,022	1,7	99,9
7	8,75	937	10,5	6,5	4,2	42,2	-	-	97,6
8	8,84	1014	10,6	6,6	4,6	42,2	-	1,84	99,1
9	8,75	1089	10,8	6,8	4,8	43,3	0,024	1,79	99,5

Для получения сравнимых условий проведения исследований на одиннадцатые сутки стенд был остановлен, изъяты образцы-свидетели коррозии и ТЭН. На рис. 3.3 (а,б), 3.4 (а,б,в) представлены фотографии ТЭНа и образцов-свидетелей до и после испытаний.



Рис.3.3. Фотографии ТЭНа до и после испытаний



Рис.3.4. Фотографии образцов-свидетелей до и после испытаний

Результаты испытаний образцов-свидетелей представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Результаты испытаний образцов-свидетелей при дозировании ВТИАМИН ТС-4

Параметр	Образец-свидетель выполненный из меди	Образец-свидетель выполненный из нержавеющей стали	Образец-свидетель выполненный из углеродистой стали	ТЭН
Скорость коррозии, г/(м <sup>2</sup> *ч)	0,0013	0,0001	0,038	-
Скорость коррозии, мм/год	0,0013	0,0001	0,028	-
Скорость накипеобразования, г/(м <sup>2</sup> *ч)	-	-	-	0,084

По результатам второго этапа испытаний скорость накипеобразования составила 0,084 г/(м<sup>2</sup>\*ч), что не превышает нормируемое значение 0,25 г/(м<sup>2</sup>\*ч).

По истечении 360 часов образцы были извлечены из установки и подвергнуты обработке [10] для определения скорости коррозии.

На поверхности образцов-свидетелей, выполненных из углеродистой стали, сразу после извлечения отложения не обнаружены. Следов коррозионного износа также не наблюдается. Образцы-свидетели имеют характерный для углеродистой стали серо-стальной цвет. Скорость коррозии углеродистой стали составила 0,028 мм/год, что не превышает нормы 0,1 мм/год и соответствует 4 баллам [78]. Внешний вид образцов-свидетелей до и после установки в змеевик представлен на рис. 3.4. Полученный расчетным путем показателя «Тр<sub>са</sub>» в системе, при обработке реагентом ВТИАМИН ТС-4 с дозой 10 г/дм<sup>3</sup> находится в пределах 98-100%.

Полученный результат указывает на то, что большая часть поступающих в систему кальциевых отложений связывается с последующим удержанием их в водном растворе и не приводит к образованию минеральных отложений.

### 3.1.3. Третий этап испытания с применением реагента ВТИАМИН ТС-6 с дозой 10 г/м<sup>3</sup> подпиточной воды

На третьем этапе исследований эффективности реагентов, разрабатываемых для организации водного режима СОО, был применен реагент ВТИАМИН ТС-6 (ООО «Водные Технологии Инжиниринг» г. Москва, производится согласно ТУ 2599-002-17875808-16 «Реагенты торговой марки «ВТИАМИН» для обработки открытых и закрытых оборотных систем»).

ВТИАМИН ТС-6 по своему составу и свойствам - эффективный ингибитор коррозии и накипеобразования. Характеристики химического реагента ВТИАМИН ТС-6 представлены в Приложении №3.

Испытания проводились на воде реки Москва. Показатели качества воды реки Москва за период испытания представлены в табл.3.7.

Таблица 3.7. Результаты химического анализа качества воды р. Москва в период испытаний

№	рН	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>
1	7,75	410	3,8	2,5	3,6	18,4	-	-
2	7,80	421	4	2,6	3,5	15,5	0,559	16
3	7,81	462	3,9	2,9	3,5	18,4	0,132	17
4	7,77	440	3,9	2,7	3,6	17,3	-	-
Среднее значение	7,79	431	3,9	2,7	3,6	17,4	0,346	16,5

Условия проведения испытаний на третьем этапе аналогичны этапам 1 и 2.

Результаты химического анализа оборотной воды представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8. Результаты химического анализа оборотной воды

№	рН	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Органические фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	ГрСа, %
1	8,47	475	5,2	2,9	4,0	18,297	0,054	0,47	100,4
2	8,39	486	5,2	3,4	4,0	22,23	-	-	96,9
3	8,65	530	5,8	4,2	4,2	27,36	-	0,65	97,2
4	8,72	578	6,2	4,6	4,2	29,925	0,035	-	97,4
5	8,68	640	8,0	5	4,2	32,49	0,017	1,13	97,5
6	8,74	845	9,8	6,4	4,2	41,04	0,022	-	98,8
7	8,83	973	10,5	6,5	4,4	42,75	-	1,28	96,3
8	8,87	1027	10,6	6,8	4,6	44,46	-	-	96,9



Для оценки эффективности работы реагента на одиннадцатые сутки стенд был остановлен, изъяты образцы-свидетели коррозии и ТЭН. На рис. 3.5 и 3.6 представлены фотографии ТЭНа и образцов-свидетелей до и после испытаний.



Рис. 3.5. Фотографии ТЭНа до и после испытаний



Рис. 3.6. Фотографии образцов-свидетелей до и после испытаний

Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9. Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа при дозировании реагента ВТИАМИН ТС-6

Параметр	Образец-свидетель выполненный из меди	Образец-свидетель выполненный из нержавеющей стали	Образец-свидетель выполненный из углеродистой стали	ТЭН
Скорость коррозии, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	0,0006	0,0002	0,027	-
Скорость коррозии, мм/год	0,0006	0,0002	0,028	-
Скорость накипеобразования, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	-	-	-	0,015

По истечении 360 часов образцы были извлечены из установки и подвергнуты обработке [10] для определения скорости коррозии.

На поверхности образцов-свидетелей, выполненных из углеродистой стали, сразу после извлечения отложения не обнаружены. Следов коррозионного износа также не наблюдается. Образцы-свидетели имеют характерный для углеродистой стали серо-стальной цвет. Скорость коррозии углеродистой стали составила 0,028 мм/год, что не превышает нормы 0,1 мм/год и соответствует 4 баллам [78]. Скорость накипеобразования составила 0,015 г/(м<sup>2</sup>·ч), что не превышает нормируемое значение 0,25 г/(м<sup>2</sup>·ч).

Внешний вид образцов-свидетелей до и после установки в змеевик представлен на рис. 3.6. Полученный расчетным путем показатель «Тр<sub>Ca</sub>» в системе при обработке реагентом ВТИАМИН ТС-6 с дозой 10 г/дм<sup>3</sup> находился в пределах 96-100%. Полученный результат свидетельствует о том, что большая часть поступающего в систему кальция связывается и удерживается в водном растворе, предотвращая тем самым образование минеральных отложений.

#### 3.1.4. Четвертый этап испытания с применением реагента ВТИАМИН ТС-34 с дозой 5 г/м<sup>3</sup> в подпиточную воду

На четвертом этапе исследований эффективности реагентов, разрабатываемых для организации водного режима СОО, был применен реагент ВТИАМИН ТС-34 (ООО «Водные Технологии Инжиниринг» г. Москва, производится согласно ТУ 2599-002-17875808-16 «Реагенты торговой марки «ВТИАМИН» для обработки открытых и закрытых оборотных систем»).



ВТИАМИН ТС-34 - сбалансированная смесь ингибиторов коррозии и накипеобразования для открытых и закрытых оборотных систем, где вода имеет контакт с медью и медьсодержащими сплавами. Свойства химического реагента ВТИАМИН ТС-34 представлены в Приложении №3.

Испытания проводились на воде р. Москва. Показатели качества воды реки Москва в период испытания приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10. Результаты химического анализа качества воды р. Москва в период испытаний

№	рН	Электро- проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>
1	7,75	410	3,8		3,6	18,4		
2	7,80	421	4	2,6	3,5	15,5	0,559	16
3	7,81	462	3,9	2,9	3,5	18,4	0,132	17
4			3,9	2,7	3,6	17,3		
Среднее значение	7,79	431	3,9	2,7	3,6	17,4	0,346	16,5

Условия испытаний аналогичны предыдущим этапам. Результаты химического анализа оборотной воды представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11. Результаты химического анализа оборотной воды

№	рН	Электро- проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Органические фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	TrCa, %
1	8,42	460	5,5	2,8	4,2	18,4	0,038	0,47	98,1
2	8,4	550	5,8	3,4	4,2	22,7	0,002	0,52	96,5
3	8,68	687	6,5	3,8	4,6	26	-	0,75	94,2
4	8,52	820	7,6	4,6	5	30,3	0,04	0,77	97,8
5	8,7	825	7,6	4,8	4,6	31,3	-	0,89	98,8
6	8,59	895	9,6	5,6	5	37,9	-	1,05	95,2
7	8,71	980	10	6,2	5,2	41,1	0,02	1,34	97,2
8	8,67	1012	10,2	6,8	5	45,4	-	1,38	96,5

По окончании четвертого этап испытаний стенд был остановлен, изъяты образцы-свидетели коррозии и ТЭН. Фотографии ТЭНа и образцов-свидетелей до и после испытаний представлены на рис. 3.7 и 3.8.



Рис. 3.7. Фотографии ТЭНа до и после испытаний



Рис. 3.8. Фотографии образцов-свидетелей до и после испытаний

Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа представлены в табл. 3.12.

Таблица 3.12. Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа при дозировании реагента **ВТИАМИН ТС-34**

Параметр	Образец-свидетель выполненный из меди	Образец-свидетель выполненный из нержавеющей стали	Образец-свидетель выполненный из углеродистой стали	ТЭН
Скорость коррозии, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	0,0014	0,0002	0,077	-
Скорость коррозии, мм/год	0,0014	0,0002	0,08	-
Скорость накипеобразования, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	-	-	-	0,063

Несмотря на то, что эффективность работы всех рассматриваемых марок ингибиторов коррозии и накипеобразования находилась в пределах нормы и составила 0,063 г/(м<sup>2</sup>·ч), что не превышает нормируемое значение 0,25 г/(м<sup>2</sup>·ч), среди

них особенно выделяется реагент ВТИАМИН ТС-34, который показал нормируемые результаты не только в равных условиях, но с дозой в два раза меньшей, чем другие испытываемые реагенты.

Остальные рассматриваемые ингибиторы коррозии и накипеобразования для обработки оборотных систем охлаждения имеют сопоставимые значения показателей и не уступают уровню качества импортных аналогов, применяемых на энергообъектах.

При использовании реагента ВТИАМИН ТС-34 на поверхности образцов-свидетелей, выполненных из углеродистой стали, сразу после извлечения отложения не обнаружены. Следов коррозионного износа также не наблюдается. Образцы-свидетели имеют характерный для углеродистой стали серо-стальной цвет. Скорость коррозии углеродистой стали составила 0,08 мм/год, что не превышает нормы 0,1 мм/год и согласно ГОСТ 9.907-2007 соответствует 4 баллам [78]. Внешний вид образцов-свидетелей до и после установки в змеевик представлен на рис. 3.8.

Полученный расчетным путем показатель «Тр<sub>Ca</sub>» в системе, при обработке реагентом ВТИАМИН ТС-34 с дозой 5 г/дм<sup>3</sup> находится в пределах 94÷100%.

### **3.1.5. Пятый этап испытания с применением реагента PuroTech 110 с дозой 10 г/м<sup>3</sup> в подпиточной воде**

При выполнении дальнейших исследований по выбору наиболее эффективного реагента для ведения водного режима СОО на этом этапе был применен реагент PuroTech 110 (ООО «ТехноХимРеагентБел» Республика Беларусь, г. Гродно, производится согласно ТУ ВУ 590831274.002-2014 «Реагенты для обработки оборотных систем торговой марки PuroTech»).

PuroTech 110 - ингибитор коррозии и накипеобразования. Применяется для предотвращения процессов накипеобразования и коррозии в трубопроводах и теплообменном оборудовании систем теплоснабжения, СОО. Свойства ингибитора коррозии и накипеобразования PuroTech 110 представлены в Приложении №3.

Испытания проводились на воде р. Москва. Показатели качества воды р. Москва за период испытания представлены в табл. 3.13.

Таблица 3.13. Показатели качества воды р. Москва за период испытания

№	pH	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>
1	7,82	437	3,8	2,6	3,6	15,15	-	-
2	7,86	412	3,8	2,6	3,5	17,3	0,335	17
3	7,78	440	3,8	2,9	3,5	15,15	-	-
4	7,69	458	3,7	2,8	3,6	19,5	0,102	15
Среднее значение	7,79	437	3,8	2,7	3,6	16,8	0,219	16

Условия выполнения испытаний на пятом этапе аналогичны предыдущим этапам. Результаты химического анализа оборотной воды представлены в табл. 3.14.

Таблица 3.14. Результаты химического анализа оборотной воды при дозировании реагента PuroTech 110

№	pH	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Органические фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Гр <sub>Ca</sub> , %
1	8,86	472	5,8	3,2	5,1	20,16	0,09	0,63	98,8
2	8,79	567	6,6	4,2	5,4	27,048	0,06	-	96,6
3	8,84	946	10	6,2	4,7	41,328	-	1,82	93,3
4	8,78	860	10,4	6,7	4,7	42,168	0,07	1,71	98,9
5	8,8	857	10,4	6,8	5,7	43,68	-	2,17	96,9
6	8,82	997	10,2	6,6	5,6	41,496	0,08	1,58	99,0

Через одиннадцать суток стенд был остановлен, изъяты образцы-свидетели коррозии и ТЭН. На рис. 3.9 и 3.10 представлены фотографии ТЭНа и образцов-свидетелей до и после испытаний.



Рис. 3.9. Фотографии ТЭНа до и после испытаний



Рис.3.10. Фотографии образцов-свидетелей до и после испытаний

Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа представлены в табл. 3.15.

Таблица 3.15. Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа при дозировании реагента **PuroTech 110**

Параметр	Образец-свидетель выполненный из меди	Образец-свидетель выполненный из нержавеющей стали	Образец-свидетель выполненный из углеродистой стали	ТЭН
Скорость коррозии, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	0,0015	0,0001	0,041	-
Скорость коррозии, мм/год	0,0015	0,0001	0,043	-
Скорость накипеобразования, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	-	-	-	0,093

По истечении 360 часов образцы, также как и на всех предыдущих этапах, были извлечены из установки и подвергнуты обработке [10] для определения скорости коррозии. Скорость накипеобразования составила 0,093 г/(м<sup>2</sup>·ч), что не превышает нормируемое значение 0,25 г/(м<sup>2</sup>·ч).

На поверхности образцов-свидетелей, выполненных из углеродистой стали, сразу после извлечения отложения не обнаружены. Следов коррозионного износа также не наблюдается. Образцы-свидетели имеют характерный для углеродистой стали серо-стальной цвет. Скорость коррозии углеродистой стали составила 0,043 мм/год, что не превышает нормы 0,1 мм/год и согласно ГОСТ 9.907-2007 соответствует 4 баллам [78]. Внешний вид образцов-свидетелей до и после установки

в змеевик представлен на рис. 3.10. Полученный расчетным путем показатель «ТрСа» в системе при обработке реагентом PuroTech 110 с дозой 10 г/дм<sup>3</sup> находился в пределах 98÷100%.

### 3.1.6. Шестой этап испытания с применением реагента PuroTech iChem 1032A с дозой 10 г/м<sup>3</sup> в подпиточную воду

На данном этапе для проведения исследований в стендовых условиях был выбран реагент PuroTech iChem 1032A (ООО «ТехноХимРеагентБел» Республика Беларусь, г. Гродно, производится согласно ТУ ВУ 590831274.002-2014 «Реагенты для обработки оборотных систем торговой марки PuroTech»).

PuroTech iChem 1032A - предназначен для работы при высокой щелочности, для минимизации или устранения потребности в подкислении. Свойства реагента PuroTech iChem 1032A представлены в Приложении №3.

Испытания проводились на воде р. Москва. Показатели качества воды реки Москва за период испытания представлены в табл. 3.16.

Таблица 3.16. Показатели качества воды р. Москва за период испытания

№	рН	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>
1	7,82	437	3,8	2,6	3,6	15,15	-	-
2	7,86	412	3,8	2,6	3,5	17,3	0,335	17
3	7,78	440	3,8	2,9	3,5	15,15	-	-
4	7,69	458	3,7	2,8	3,6	19,5	0,102	15
Среднее значение	7,79	437	3,8	2,7	3,6	16,8	0,219	16

Условия проведения испытаний аналогичны предыдущим этапам. Результаты химического анализа оборотной воды представлены в табл. 3.17.

Таблица 3.17. Результаты химического анализа оборотной воды при дозировании реагента PuroTech iChem 1032A

№	рН	Электро-проводность, мкСм/см	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Органические фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	ТрСа, %
1	8,83	450	5,7	3	4,8	19,5	-	0,43	95,7
2	8,86	570	6,2	4	5,2	25,9	0,035	0,65	96,1
3	8,61	918	10	6,2	5,4	40	-	1,34	96,4
4	8,87	985	10,4	6,8	4,9	43,28	0,063	1,30	97,8
5	8,83	882	10,2	6,6	5,9	41,1	-	1,27	99,9
6	8,65	901	10,2	6,5	6,8	42,2	0,047	1,01	95,8

Для оценки и получения результатов исследований через двенадцать суток стенд был остановлен, изъяты образцы-свидетели коррозии и ТЭН. Фотографии ТЭНа и образцов-свидетелей до и после испытаний представлены на рис. 3.11 и 3.12.



Рис. 3.11. Фотографии ТЭНа до и после испытаний



Рис. 3.12. Фотографии образцов-свидетелей до и после испытаний

Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа представлены в табл.3.18.

Таблица 3.18. Результаты испытаний образцов-свидетелей и ТЭНа

Параметр	Образец-свидетель выполненный из меди	Образец-свидетель выполненный из нержавеющей стали	Образец-свидетель выполненный из углеродистой стали	ТЭН
Скорость коррозии, $г/(м^2 \cdot ч)$	0,0005	0,0001	0,013	-
Скорость коррозии, мм/год	0,0005	0,0001	0,013	-
Скорость накипеобразования, $г/(м^2 \cdot ч)$	-	-	-	0,024

По истечении 360 часов образцы были извлечены из установки и подвергнуты обработке [10] для определения скорости коррозии.



На поверхности образцов-свидетелей, выполненных из углеродистой стали, сразу после извлечения отложения не обнаружены. Скорость накипеобразования составила  $0,024 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , что не превышает нормируемое значение  $0,25 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Следов коррозионных повреждений также не наблюдается. Образцы-свидетели имеют характерный для углеродистой стали серо-стальной цвет. Скорость коррозии углеродистой стали составила  $0,013 \text{ мм}/\text{год}$ , что не превышает нормы  $0,1 \text{ мм}/\text{год}$  и согласно ГОСТ 13819-68 соответствует 4 баллам [78]. Внешний вид образцов-свидетелей до и после установки в змеевик представлен на рис.3.12. Полученный расчетным путем показателя «ТрСа» в системе при обработке реагентом Риготех 110 с дозой  $10 \text{ г}/\text{дм}^3$  находился в пределах  $98 \div 100\%$ .

### **3.2. Исследование эффективности биоцидной обработки московской воды**

Наряду с оценкой накипеобразующей и коррозионной составляющей, комплексная методика оценки состояния ВХР СОО предполагает определение эффективности биоцидной обработки воды.

Для определения эффективности обработки биоцидами выполнены лабораторные испытания биоцидов на воде р. Москва. Для испытаний соискателем в составе коллектива ООО «Водные Технологии» были выбраны следующие реагенты:

ВТИАМИН Б-1 (аналог Роцид ДБ-5) - жидкий стабилизированный микробиоцидный продукт на основе органических соединений брома. Используется для контроля роста бактерий, грибков, водорослей на поверхностях теплообменников, конденсаторов и градирен. Разрушает и удаляет биопленку, что помогает сохранять теплопередающие поверхности чистыми. Свойства реагента ВТИАМИН Б-1 представлены в Приложении 3.

ВТИАМИН Б-2 (аналог Турбанион М101) - жидкий органический продукт на основе четвертичных аммониевых солей. Используется для разрушения биологической слизистой плёнки на поверхностях теплообменников, конденсаторов и градирен, усиления действия биоцидов, для подавления роста бактерий, грибков, водорослей, что помогает сохранять теплопередающие поверхности чистыми. Свойства реагента ВТИАМИН Б-2 представлены в Приложении 3.

ВТИАМИН Б-6 (аналог Турбанион М104) - жидкий стабилизированный микробиоцидный продукт на основе производных изотиазолинонов (изотиазолина).



Используется для предотвращения биологического загрязнения СОО. ВТИАМИН Б-6 – стабильный, не вспенивающийся микробицид, отличается низкой летучестью, тем самым гарантируется высокая эффективность и постоянство рабочей дозы. ВТИАМИН Б-6 может применяться в режимах постоянного дозирования, режиме периодических шоковых дозировок. Свойства реагента ВТИАМИН Б-6 представлены в Приложении 3.

ВТИАМИН МО-29 (аналог ROCide SC, Налко 77352) - эффективный, стабильный, нелетучий, не образующий пены неоксидирующий биоцид широкого спектра действия для дезинфекции мембран всех типов и контроля роста бактерий, грибков, водорослей и других типов микроорганизмов в системах ОС. Работает в широком диапазоне рН, не вызывает коррозию, не реагирует с металлами, резиной и другими материалами, из которых изготовлено оборудование систем обратного осмоса. Препятствует разрушающему биохимическому воздействию микроорганизмов, появлению неприятного привкуса и запаха фильтрата, обеспечивает продление срока службы мембран. Свойства реагента ВТИАМИН МО-29 представлены в Приложении 3.

ВТИАМИН Б-8 (аналог Налко 73500) – биоцид, применяемый для контроля роста бактерий, плесени, грибков, водорослей и других типов микроорганизмов в открытых и закрытых промышленных охлаждающих системах. Может дозироваться совместно с другими биоцидами. Свойства реагента ВТИАМИН Б-8 представлены в Приложении 3.

ВТИАМИН Б-11 (аналог Налко ST40) - оксидирующий биоцид широкого спектра действия для дезинфекции, контроля роста бактерий, грибков, водорослей и других типов микроорганизмов в закрытых и открытых промышленных охлаждающих системах. Применяется совместно с гипохлоритом натрия. Реагирует с растворами гипохлорита, образуя гипобромистую кислоту. Свойства реагента ВТИАМИН Б-11 представлены в Приложении 3.

В процессе проведения испытаний выбранных биоцидов воду для испытания выдержали десять суток в теплом (не ниже 36°C) светлом месте. В идентичные лабораторные стаканы налили заранее подготовленную воду объемом 2 дм<sup>3</sup>, добавили необходимое количество биоцидов. Дозировки реагентов были выбраны согласно рекомендациям фирмы-производителя:

Образец №1 – биоцид ВТИАМИН Б-1 с дозой 5 мг/дм<sup>3</sup>

Образец №2 – биоцид ВТИАМИН Б-2 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>

Образец №3 – биоцид ВТИАМИН МО-29 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>

Образец №4 – биоцид ВТИАМИН Б-6 с дозой 15 мг/дм<sup>3</sup>

Образец №5 – биоцид ВТИАМИН Б-8 с дозой 30 мг/дм<sup>3</sup>

Образец №6 – биоцид ВТИАМИН Б-11 с дозой 7,5 мг/дм<sup>3</sup> + гипохлорит натрия с дозой 150 мг/дм<sup>3</sup>

Образец №7 – исходная вода без биоцидной обработки

В ходе проведения испытаний один раз в сутки отбирались пробы и проводился анализ воды на определение перманганатной окисляемости ГОСТ Р 55684-2013 [93], бихроматной окисляемости ГОСТ 31859-2012[92].

С помощью контактных слайдов Envirocheck®, 1 раз в сутки определялись общее микробное число, КОЕ/мл.

В результате лабораторных испытаний биоцидов получены следующие результаты:

При обработке воды биоцидом ВТИАМИН Б-1 с дозой 5 мг/дм<sup>3</sup>:

- Перманганатная окисляемость воды в первые дни после обработки резко увеличилась;
- Изменения бихроматной окисляемости не произошло;
- Угнетение биологии по ОМЧ отмечено на 3-и сутки, на 10-е сутки не отмечено начало роста биологии.

При обработке воды биоцидом ВТИАМИН Б-2 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>:

- Перманганатная окисляемость воды в первые дни после обработки резко увеличилась;
- Изменения бихроматной окисляемости не произошло;
- Угнетение биологии по ОМЧ отмечено через сутки, на 10-е сутки не отмечено начало роста биологии.

При обработке воды биоцидом ВТИАМИН МО-29 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>:

- Перманганатная окисляемость воды в первые дни после обработки резко увеличилась;
- Изменения бихроматной окисляемости не произошло;

- Угнетение биологии по ОМЧ отмечено через сутки, на 10-е сутки не отмечено начало роста биологии.

При обработке воды биоцидом ВТИАМИН Б-6 с дозой 15 мг/дм<sup>3</sup>:

- Перманганатная окисляемость воды в первые дни после обработки резко увеличилась;
- Изменения бихроматной окисляемости не произошло;
- Угнетение биологии по ОМЧ отмечено через сутки, на 10-е сутки не отмечено начало роста биологии.

При обработке воды биоцидом ВТИАМИН Б-8 с дозой 30 мг/дм<sup>3</sup>:

- Перманганатная окисляемость воды в первые дни после обработки резко увеличилась;
- Изменения бихроматной окисляемости не произошло;
- Угнетение биологии по ОМЧ отмечено через сутки, на 10-е сутки отмечено начало роста биологии.


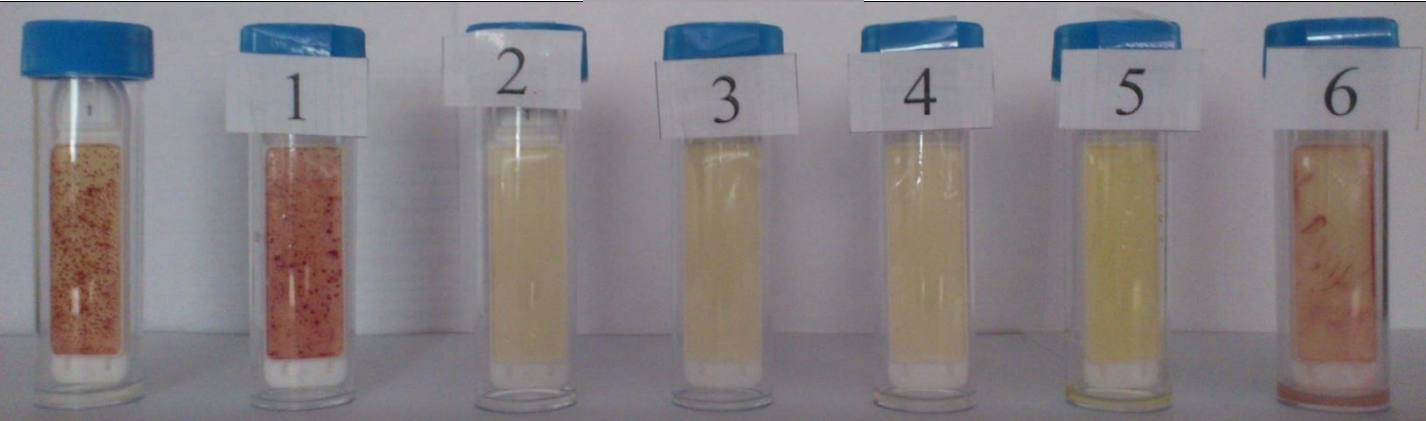
При обработке воды биоцидом ВТИАМИН Б-11 с дозой 7,5 мг/дм<sup>3</sup> + гипохлорит натрия с дозой 150 мг/дм<sup>3</sup>:

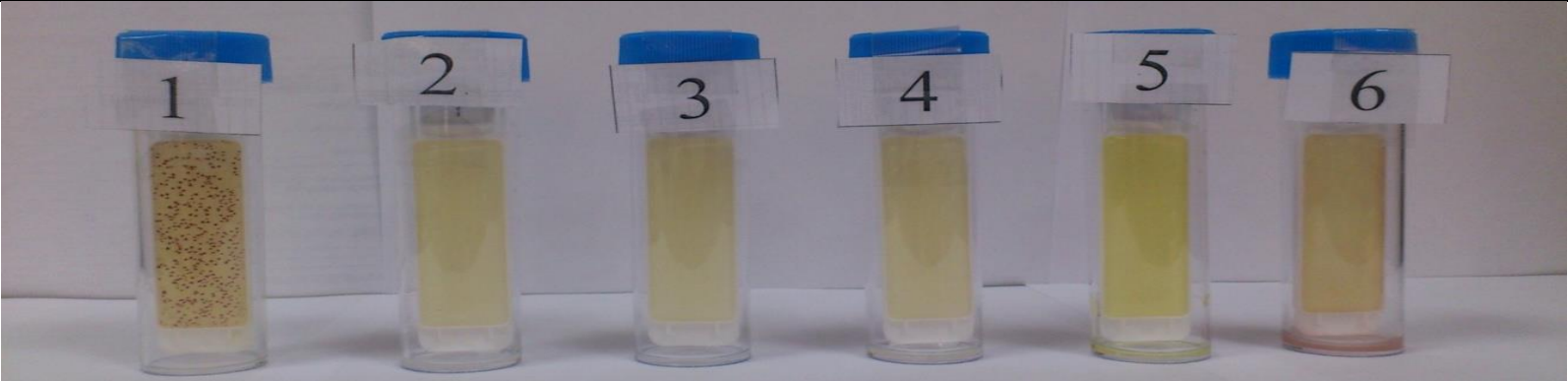
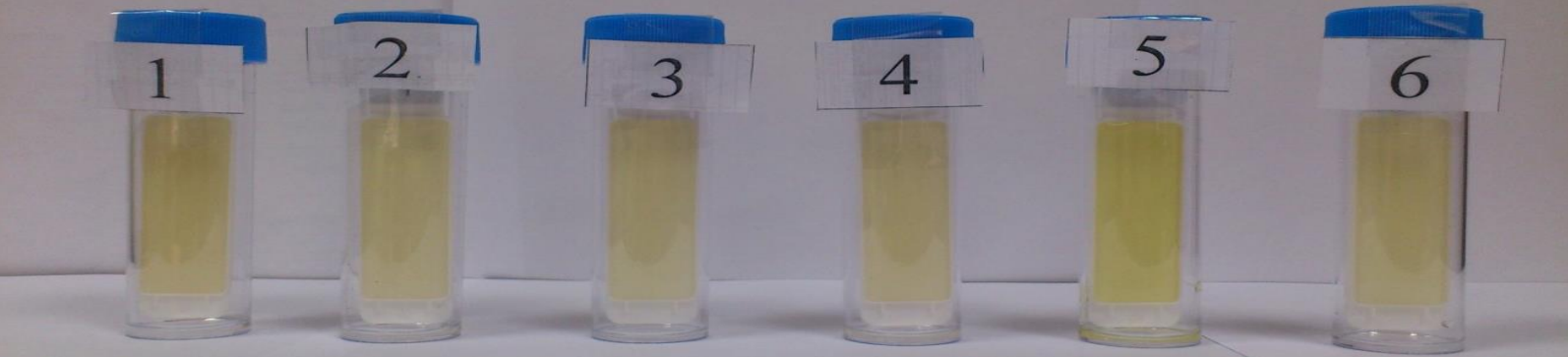
- Перманганатная окисляемость воды в первые дни после обработки резко увеличилась;
- Изменения бихроматной окисляемости не произошло;
- Тест по ОМЧ через сутки не показал объективные результаты, через два дня произошло угнетение биологии, на десятые сутки отмечено начало роста биологии.

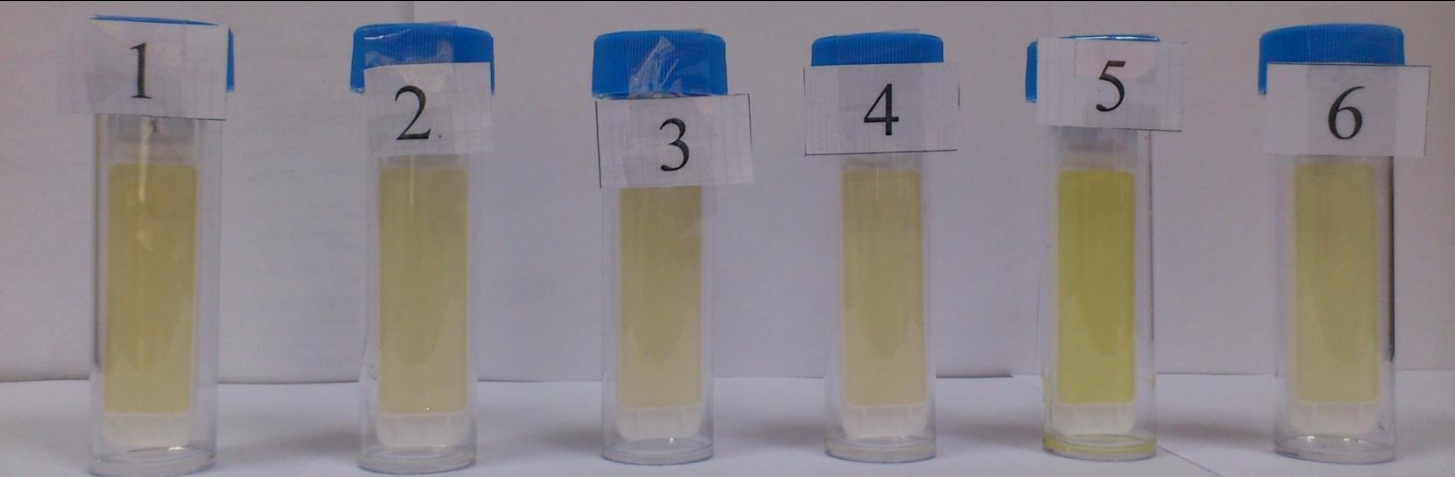
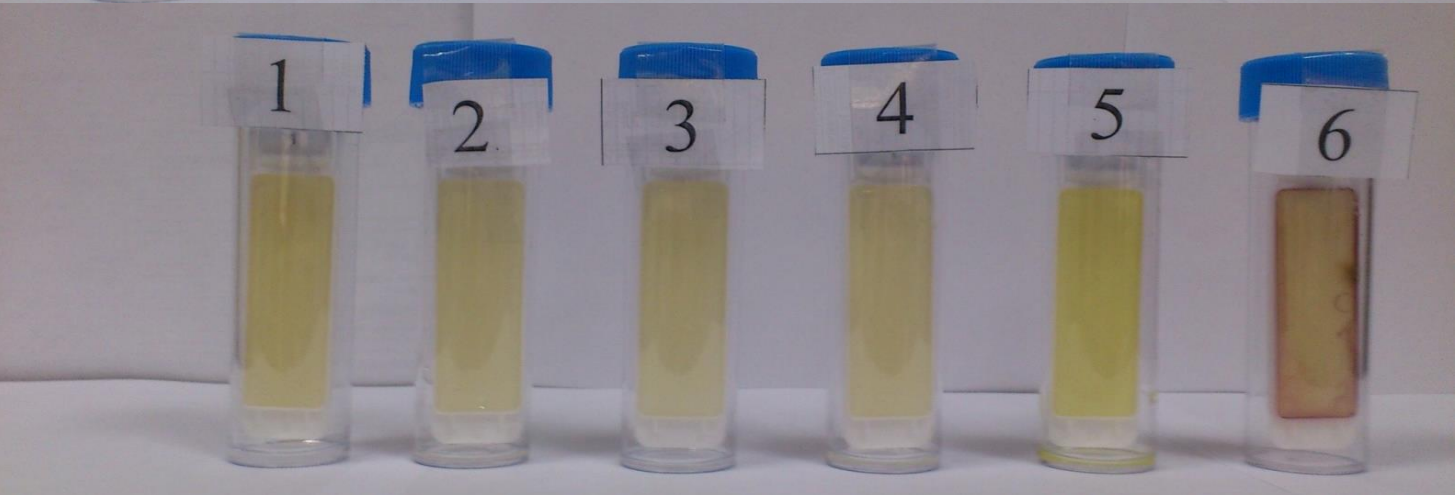
Наблюдаемый всплеск окисляемости воды в первые дни после проведения обработки биоцидами объясняется двумя причинами: разрушение плотных сплошных биопленок, их диспергирование и смывание с теплообменных поверхностей в объем воды; Био-тесты могут зафиксировать «увеличение» биологического загрязнения системы в сравнении с необработанной водой.

В составе реагентов ВТИАМИН имеется окисляющий органический соразтворитель, обеспечивающий ввод активного вещества в воду, так как активное вещество в воде нерастворимо. Результаты тестов на ОМЧ при лабораторных испытаниях биоцидов представлены в табл.3.19. Результаты лабораторных испытаний биоцидов представлены в табл. 3.20.

Таблица 3.19. Результаты тестов на ОМЧ

Время, через которое производился контроль после ввода биоцидов	Состояние тестов на ОМЧ	
До ввода биоцидов	<p>Образец №1 – биоцид ВТИАМИН Б-1 с дозой 5 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №2 – биоцид ВТИАМИН Б-2 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №3 – биоцид ВТИАМИН МО-29 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №4 – биоцид ВТИАМИН Б-6 с дозой 15 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №5 – биоцид ВТИАМИН Б-8 с дозой 30 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №6 – биоцид ВТИАМИН Б-11 с дозой 7,5 мг/дм<sup>3</sup> + гипохлорит натрия с дозой 150 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №7 – исходная вода без биоцидной обработки</p>	
Через один день		

<p>Время, через которое производился контроль после ввода биоцидов</p>	<p>Состояние тестов на ОМЧ</p> <p>Образец №1 – биоцид ВТИАМИН Б-1 с дозой 5 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №2 – биоцид ВТИАМИН Б-2 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №3 – биоцид ВТИАМИН МО-29 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №4 – биоцид ВТИАМИН Б-6 с дозой 15 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №5 – биоцид ВТИАМИН Б-8 с дозой 30 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №6 – биоцид ВТИАМИН Б-11 с дозой 7,5 мг/дм<sup>3</sup> + гипохлорит натрия с дозой 150 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №7 – исходная вода без биоцидной обработки</p>
<p>Через два дня</p>	
<p>Через три дня</p>	

<p>Время, через которое производился контроль после ввода биоцидов</p>	<p>Состояние тестов на ОМЧ</p> <p>Образец №1 – биоцид ВТИАМИН Б-1 с дозой 5 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №2 – биоцид ВТИАМИН Б-2 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №3 – биоцид ВТИАМИН МО-29 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №4 – биоцид ВТИАМИН Б-6 с дозой 15 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №5 – биоцид ВТИАМИН Б-8 с дозой 30 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №6 – биоцид ВТИАМИН Б-11 с дозой 7,5 мг/дм<sup>3</sup> + гипохлорит натрия с дозой 150 мг/дм<sup>3</sup></p> <p>Образец №7 – исходная вода без биоцидной обработки</p>
<p>Через пять дней</p>	
<p>Через семь дней</p>	

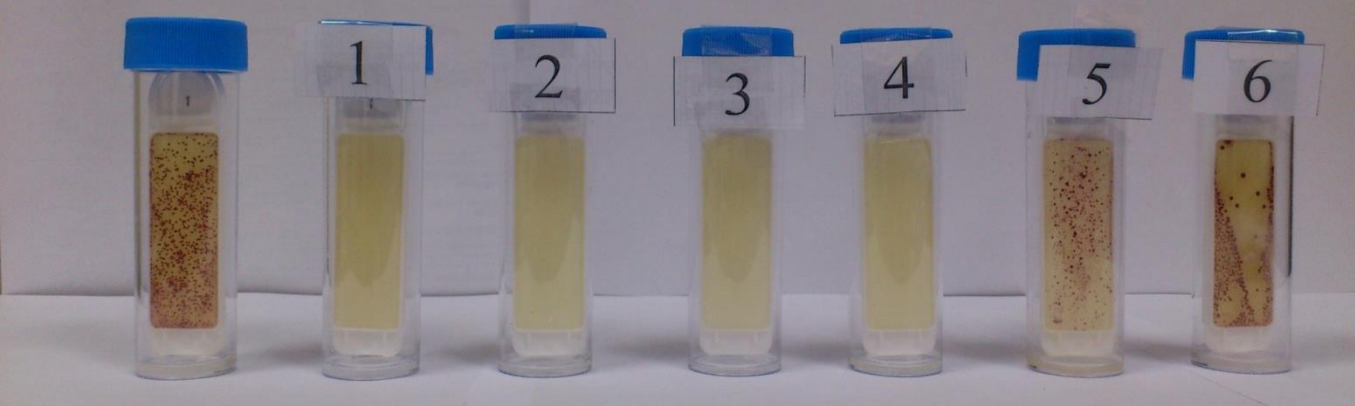
<p>Время, через которое производился контроль после ввода биоцидов</p>	<p>Состояние тестов на ОМЧ</p> <p>Образец №1 – биоцид ВТИАМИН Б-1 с дозой 5 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №2 – биоцид ВТИАМИН Б-2 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №3 – биоцид ВТИАМИН МО-29 с дозой 10 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №4 – биоцид ВТИАМИН Б-6 с дозой 15 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №5 – биоцид ВТИАМИН Б-8 с дозой 30 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №6 – биоцид ВТИАМИН Б-11 с дозой 7,5 мг/дм<sup>3</sup> + гипохлорит натрия с дозой 150 мг/дм<sup>3</sup>            Образец №7 – исходная вода без биоцидной обработки</p>
<p>Через десять дней</p>	

Таблица 3.20. Результаты лабораторных испытаний биоцидов

Режим испытания	Номер образца	Перманганатная окисляемость мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Бихроматная окисляемость мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Общее микробное число, КОЕ/мл	Примечания
До ввода биоцидов	№7	8,2	22,7	Густо 10 <sup>6</sup>	
Через день	№1	23,0	-	Густо 10 <sup>6</sup>	
	№2	14,8	-	отс.	
	№3	17,1	-	отс.	
	№4	15,4	-	отс.	
	№5	20,7	-	отс.	
	№6	25,5	-	нет возможности объективно визуально оценить	
	№7	8,9	-	Густо, 10 <sup>6</sup>	
Через два дня	№1	29,7	27,2	Умеренно 10 <sup>5</sup>	
	№2	12,5	21,4	отс.	
	№3	19,6	28,9	отс.	
	№4	18,6	22,7	отс.	
	№5	21,9	28,1	отс.	
	№6	25,7	27,4	отс.	
	№7	9,1	21,5	-	
Через три дня	№1	18,3	-	отс.	
	№2	10,1	-	отс.	
	№3	15,3	-	отс.	
	№4	11,4	-	отс.	
	№5	24,4	-	отс.	
	№6	22,7	-	отс.	
	№7	9,9	-	-	
Через пять дней	№1	14,6	24,1	отс.	
	№2	9,7	27,3	отс.	
	№3	10,2	28,1	отс.	
	№4	8,4	24,3	отс.	
	№5	14,1	21,6	отс.	
	№6	17,2	25,7	отс.	
	№7	10,4	23,4	-	



Режим испытания	Номер образца	Перманганатная окисляемость мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Бихроматная окисляемость мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Общее микробное число, КОЕ/мл	Примечания
Через семь дней	№1	11,2	-	отс.	
	№2	9,4	-	отс.	
	№3	9,1	-	отс.	
	№4	8,6	-	отс.	
	№5	12,5	-	отс.	
	№6	12,6	-	нет возможности объективно визуально оценить	
	№7	11,8	-	-	
Через десять дней	№1	9,9	24,4	отс.	
	№2	8,7	23,1	отс.	
	№3	8,6	22,9	отс.	
	№4	8,5	23,7	отс.	
	№5	11,4	28,5	Незначительно 10 <sup>4</sup>	
	№6	8,7	23,1	Умеренно 10 <sup>5</sup>	
	№7	12,8	27,9	Умеренно 10 <sup>5</sup>	

### 3.3. Анализ результатов стендовых испытаний

По итогам выполненных стендовых исследований необходимо отметить следующие результаты:

1. Показатели качества р. Москва отвечают средним значениям качества природных вод Центра России и могут быть приняты к испытаниям. Условия пребывания (работы) водного теплоносителя на стенде, включая коэффициент упаривания, соответствуют условиям работы циркуляционной воды в системах оборотного охлаждения с башенными градирнями. Продолжительность испытаний выбрана из условия получения представительных результатов по отложениям и коррозии на контрольных образцах типовых металлов и с учетом воспроизводимости параметров (качество исходной воды, коэффициент концентрирования и др.) на всех этапах. Выбор реагентов определяется из условий ингибирования коррозии и отложений в возможном диапазоне измерения характеристик рабочей среды и с учетом индивидуальных характеристик реагентов.

Полученные результаты стендовых испытаний можно считать представительными, характерными как для используемых металлов СОО (углеродистая сталь, нержавеющая сталь, медь), так и для используемых реагентов.

2. Проведение стендовых испытаний на московской воде без дозирования реагентов с обработкой по методике, представленной во второй главе диссертационной работы, показали следующее.

Удельная электропроводность циркуляционной воды выросла более чем в два раза, что соответствует процессу упаривания воды в системе. Жесткость общая увеличилась незначительно, а жесткость кальциевая – практически не увеличилась, что отвечает образованию и выделению осадка из воды на теплообменном элементе. Последнее обстоятельство убедительно подтверждается снижением показателя «Транспорт кальция» ( $Tr_{Ca}$ ) с 80,9% до 42,3%, что характеризует ВХР как недопустимый режим с образованием отложений карбоната кальция.

Расчеты интенсивности накипеобразования и скорости коррозии показали существенное превышение допустимых значений (по образцу из углеродистой стали). Отмеченное выше наглядно иллюстрируется рис. 3.1, 3.2. и данными табл. 3.3.

3. Проведение стендовых испытаний с дозировками комплексных многозадачных реагентов показали следующее.

При увеличении удельной электропроводности циркуляционной воды, аналогично опыту на московской воде без дозирования реагентов, жесткость кальциевая во всех опытах (№2 - №6) увеличилась в два и более раза, что соответствует коэффициенту упаривания и свидетельствует об отсутствии накипеобразования. Показатель «Транспорт кальция» ( $Tr_{Ca}$ ) имеет значения, превышающие 95%, что допустимо и отвечает условиям безнакипного ВХР СОО. Скорости коррозии и накипеобразования во всех опытах находятся в допустимых пределах и незначительно отличаются между собой (рис. 3.3-3.12 и данные табл. 3.4-3.18).

Несмотря на то, что эффективность работы всех рассматриваемых марок ингибиторов коррозии и накипеобразования находилась в пределах нормы, среди них особенно выделяется реагент ВТИАМИН ТС-34, который показал нормируемые результаты в равных условиях, но с дозой в два раза меньшей, чем в других опытах. Остальные рассматриваемые ингибиторы коррозии и накипеобразования для обработки СОО имеют сопоставимые значения показателей и в целом соответствуют уровню качества импортных аналогов, применяемых на Объектах Группы «Интер РАО» (ВК GiuliniGmbH, Nalco).

### **3.4. Выводы по третьей главе**

1. Выполнены стендовые исследования и отработка комплексной методики оценки состояния ВХР и испытания новых реагентов семейства «ВТИАМИН» для систем оборотного охлаждения с подпиткой стендовой установки московской водой.

2. Показатели качества р. Москва отвечают средним значениям качества природных вод Центра России и могут быть приняты к испытаниям. Условия пребывания (работы) водного теплоносителя на стенде, включая коэффициент упаривания, соответствуют условиям работы циркуляционной воды в системах оборотного охлаждения с башенными градирнями. Продолжительность испытаний выбрана из условия получения представительных результатов по отложениям и коррозии на контрольных образцах типовых металлов и с учетом воспроизводимости параметров (качество исходной воды, коэффициент концентрирования и др.) на всех этапах. Выбор реагентов определяется из условий ингибирования коррозии и

отложений в возможном диапазоне измерения характеристик рабочей среды и с учетом индивидуальных характеристик реагентов.

Таким образом, полученные результаты стендовых испытаний можно считать представительными, характерными как для используемых металлов СОО (углеродистая сталь, нержавеющая сталь, медь), так и для используемых реагентов.

3. Проведение стендовых испытаний на московской воде без дозирования реагентов с обработкой по методике, представленной во второй главе, показали следующее:

3.1 Удельная электропроводность циркуляционной воды выросла более, чем в два раза, что соответствует процессу упаривания воды в системе. Жесткость общая увеличилась незначительно, а жесткость кальциевая – практически не увеличилась, что отвечает образованию и выделению осадка из воды на теплообменном элементе. Последнее обстоятельство убедительно подтверждается снижением показателя «Транспорт кальция» ( $Tr_{Ca}$ ) с 80,9% до 42,3%, что характеризует ВХР, как недопустимый режим с образованием отложений карбоната кальция.

3.2 Расчеты интенсивности накипеобразования и скорости коррозии показали существенное превышение допустимых значений (по образцу из углеродистой стали).

4. Проведение стендовых испытаний с дозировками аминокислотных органических реагентов показали, что при увеличении удельной электропроводности циркуляционной воды, аналогично опыту на московской воде без дозирования реагентов, жесткость кальциевая во всех опытах (№2 - №6) увеличилась в два и более раза, что соответствует коэффициенту упаривания и свидетельствует об отсутствии процессов накипеобразования. Показатель «Транспорт кальция» ( $Tr_{Ca}$ ) имеет значения, превышающие 95%, что допустимо и отвечает условиям безнакипного ВХР СОО.

5. Испытание шести биоцидов марки «ВТИАМИН» с дозировками, рекомендуемыми производителем, показали увеличение окисляемости воды в первые сутки после дозирования реагентов с одновременным угнетением роста биологических обрастаний по ОМЧ (общее микробное число), что свидетельствует об эффективности ингибирования биологии. Начало роста биологических обрастаний отмечено не ранее чем на десятые сутки после прекращения дозирования реагентов, что показывает их эффективность и одновременно указывает на вероятность

привыкания микробиологических отложений к постоянной дозе реагента. Для полного устранения биообрастания необходима периодическая «шоковая» дозировка реагента, угнетающая интенсивность роста.

Результаты исследований, отраженные в третьей главе, опубликованы в работах автора [94, 97, 99, 102].

#### ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ РЕАГЕНТОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Эксплуатация систем оборотного охлаждения на ТЭС характеризуется рядом особенностей, в число которых входят следующие:

- большие объемы и расходы циркуляционной воды;
- различные конструкционные материалы, контактирующие с рабочей средой;
- использование подпиточной воды технического качества, т.е. естественной природной воды, часто с подмесом внутренних сточных вод;
- частые переменные режимы работы паротурбинных установок (ПТУ) с остановами в резерв или ремонт;
- ограничения по составу и концентрациям примесей в продувочной воде СОО в связи с условиями сброса в природные водоемы или условиями использования для собственных нужд, например, для подготовки воды на ВПУ.

Перечисленные особенности эксплуатации СОО делают актуальной задачу отработки комплексной методики оценки и коррекции водно-химического режима (ВХР) непосредственно в условиях работы ТЭС.

В рамках диссертационной работы апробация предлагаемой методики проводилась в 2018 году на Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» в форме опытно-промышленных испытаний при постановке нижеприведенных задач:

1. Нахождение оптимальных условий, при которых обеспечивается стабильный режим работы водооборотной системы охлаждения. Проведение работ должно осуществляться в трех направлениях: борьба с накипеобразованием, коррозией и микробиологическим обрастанием.

2. Применяемый коррекционный ВХР с применением ингибиторов коррозии медьсодержащих сплавов должен обеспечить максимальное снижение содержания меди в водах СОО (по возможности, до значений исходной воды). Снижение концентрации меди должно происходить за счет прекращения насыщения оборотной воды продуктами коррозии и постепенного удаления ее из существующих отложений

3. Исследование возможности увеличения эффективности применения предложенной реагентной обработки. В случае необходимости предложить

альтернативные пути оптимизации ВХР и повышения надежности и эффективности работы СОО.

#### 4.1. Характеристика системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» и условий опытно-промышленных испытаний

Система оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» - открытая с башенными градирнями пленочного типа; предусмотрена для охлаждения конденсаторов турбин, систем газо- и маслоохлаждения, подшипников вращающихся механизмов. Основным источником подпиточной воды являются водоводы технической (речной) воды №1 и №2. Продувочная вода циркуляционной системы используется в качестве дополнения к общему потоку исходной воды, поступающей для подготовки подпиточной воды на водоподготовительной установке химического цеха. Часть продувочной воды направляется потребителю или в канализацию. Подробная характеристика СОО Приуфимской ТЭЦ представлена в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Технические характеристики СОО

Общий объем воды в системе, м <sup>3</sup>	18000
Циркуляция оборотной воды, м <sup>3</sup> /ч	28200
Температурный перепад, ΔТ, °С (холодной и нагретой воды на градирне)	9-11
Поддерживаемый коэффициент упаривания, Ку	1,15-1,5
Расход подпиточной воды, м <sup>3</sup> /ч	445
Расход продувочной воды, м <sup>3</sup> /ч	260
Количество теплообменных аппаратов (тип, шт.) - конденсаторы  - маслоохладители турбины  - газоохладители	60 КЦС-1 (2шт) (ТГ-1 и ТГ-2) 80 КЦС-5 (1шт) (ТГ-3); МБМ-63-90 (6шт) ОГПФ-60 (8 шт.) (ТГ-1и ТГ-2): ГО-258/5175-4-11УХЛ4(4 шт.) (ТГ-3)
Конструкционные материалы, контактирующие с оборотной водой	ЛЮ70, МНЖ5, Сталь 20, Л - 68, полиэтилен, асбестоцемент
Фильтрующее оборудование в системе, тип (фильтрация всего потока или части, м <sup>3</sup> /час)	Механические фильтры поворотного типа (фильтрация потока технической воды идущего на ГК)
Применяемые методы обработки воды	Стабилизационная и биоцидная, антикоррозионная

Показатели качества подпиточной и циркуляционной воды представлены в табл. 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2. Показатели качества технической воды

Наименования и единицы измерений параметров	Значения параметров
Качество технической (подпиточной) воды	
1. Массовая концентрация взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	от 7 до 100
2. Окисляемость, мгО/дм <sup>3</sup>	от 3 до 12
3. Водородный показатель, приведённый к 25 °С, рН <sub>25</sub>	от 7,50 до 8,2
4. Щёлочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	от 1,5 до 4,4
5. Жёсткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	до 9,5
6. Жёсткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	до 7,6
7. Индекс карбонатный, (мг-экв/дм <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	от 2,4 до 31
8. Массовая концентрация хлоридов в пересчёте на Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	от 25 до 170
9. Массовая концентрация сульфатов в пересчёте на SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	от 50 до 250
10. Массовая концентрация фосфатов в пересчёте на PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (до ввода реагента), мг/дм <sup>3</sup>	до 0,2
11. Солесодержание условное в пересчёте на NaCl, мг/дм <sup>3</sup>	от 140 до 800
12. Массовая концентрация соединений железа в пересчёте на Fe, мг/дм <sup>3</sup>	не более 2,0
13. Массовая концентрация нефтепродуктов, мг/дм <sup>3</sup>	Не более 0,3

Таблица 4.3. Показатели качества циркуляционной воды

Качество циркуляционной воды	
1. Массовая концентрация взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	от 7 до 100
2. Окисляемость, мг О/дм <sup>3</sup>	от 6 до 15
3. Водородный показатель, приведённый к 25 °С, рН <sub>25</sub>	до 8,50
4. Щёлочность по фенолфталеину, мг-экв/дм <sup>3</sup>	до 0,3
5. Массовая концентрация хлоридов в пересчёте на Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	от 30 до 190
6. Щёлочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	до 5,5
7. Жёсткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	до 10,5
8. Жёсткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	до 8,4
9. Индекс карбонатный, (мг-экв/дм <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	не более 27,0

На основании анализа эксплуатационных данных по ведению водно-химического режима СОО на Приуфимской ТЭЦ для проведения опытно-промышленных испытаний был выбран и внедрен реагент марки ВТИАМИН ТС-5.

Для проведения химического контроля за основными действующими веществами, входящими в состав реагентов, в производственную химико-аналитическую лабораторию (ПХАЛ) были предоставлены необходимые методики, расчеты и недостающее оборудование.

Для контроля за процессами накипеобразования и коррозии на начальном этапе (холостой период при существующем водно-химическом режиме) был смонтирован стенд для измерения скорости коррозии. В стенд было установлено три латунных и один стальной индикатор на период 24.05.18 – 02.07.18г. (39 дней). Индикаторы



готовились согласно методике гравиметрического метода определения скорости коррозии по РД 153-34.1-17.465-00[25]. После снятия индикаторы были осмотрены и обработаны по РД 153-34.1-17.465-00[25]. Далее с учетом задач, поставленных на период опытно-промышленных испытаний (ОПИ), рассматривались латунные образцы.

Аналогичным образом индикаторы коррозии устанавливались и на период испытаний с дозированием реагентов марки ВТИАМИН. Во время испытаний производились промежуточные осмотры индикаторов для более эффективной оценки происходящих процессов и возможности оперативного изменения режима коррекционной обработки в случае необходимости.

На основании предварительного анализа эксплуатационных данных по ведению водно-химического режима СОО, применяемого на Приуфимской ТЭЦ до начала внедрения новой реагентной обработки циркуляционной воды, для испытаний были предложены два реагента ВТИАМИН ТС-5 и ВТИАМИН ЗС-6. Выбранные реагенты были призваны обеспечить антинакипный режим работы с обеспечением защиты от коррозионных процессов оборудования, включая элементы из медьсодержащих сплавов.

В качестве узла дозирования ВТИАМИН ТС-5 использовали существующую схему. Для ввода ВТИАМИН ЗС-6 было оборудовано временное место дозирования (на период ОПИ). Реагенты дозировали в товарном виде без разбавления пропорционально количеству подпиточной воды. Дозы реагентов регулировались по их остаточным концентрациям в циркуляционной воде с учетом величины транспорта кальция и коэффициентов Ризнера и Ланжелье. Количество реагентов, вводимых в приемную камеру, регулировали вручную с записью в журнале учета расхода реагента.

Как видно из представленных данных, при объеме СОО в 18000 м<sup>3</sup> расход циркуляционной воды составляет 28200 м<sup>3</sup>/ч при использовании воды как для конденсации пара трех паровых турбин, так и для охлаждения среды в маслоохладителях и газоохладителях. При небольшом коэффициенте упаривания – до 1,5 - продувка СОО составляет более половины расхода подпиточной воды и используется для дополнения исходной воды водоподготовительной установки, содержащей в своем составе установку обратного осмоса. При значительных

колебаниях качества подпиточной воды значительны и изменения качества циркуляционной воды. Режим работы паровых турбин в период испытаний (2018 год) представлен в табл. 4.4 и характеризуется частыми остановами в резерв (консервация) и в ремонт (без консервации), что, как и изменение качества подпиточной воды, усложняет организацию водно-химического режима СОО.

Таблица 4.4. Сведения о состоянии оборудования в 2018г.

	ТГ - 1				ТГ - 2				ТГ - 3			
	работа	простой		кол-во пусков	работа	простой		кол-во пусков	работа	простой		кол-во пусков
		консерв	рем./без консерв.			консерв	рем./без консерв			консерв	рем./без консерв	
Январь	7	24	-	1	24	3	4	-	-	31	-	-
Февраль	23	3	2	1	7	21	-	1	2	24	2	1
Март	3	25	2	1	31	-	-	-	-	31	-	-
Апрель	3	-	27	1	30	-	-	-	15	15	-	1
Май	31	-	-	-	3	15	13	-	3	28	-	-
Июнь	27	-	4	-	3	-	27	1	-	31	-	-
Июль	-	31	-	-	31	-	-	-	-	1	31	-
Август	6	9	-	2	15	-	-	-	6	3	6	1
Итого, дней	100	92	35	6	144	39	44	2	26	164	39	3
В %	44	41	15		63,4	17,2	19,4		11,4	71,6	17	

## 4.2. Результаты опытно-промышленных испытаний ВХР системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» при дозировании реагентов ВТИАМИН ТС-5 и ВТИАМИН ЗС-6

### 4.2.1. Исследование интенсивности образования отложений

Перед началом опытно-промышленных испытаний на протяжении многих лет для коррекционной обработки воды СОО на Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» применяют реагенты Активфос 640Т и ОЭДФК. В целях экономии в паводковый период обработка не применялась, а выбор между дозированием Активфос 640Т или ОЭДФК зависел от общей щелочности воды.

#### Этап 1. Исследование эффективности реагента ВТИАМИН ТС-5

Таким образом, на основании анализа данных по состоянию оборудования и водно-химического режима СОО, автором был выполнен выбор наиболее оптимального реагента, заменяющего реагент Активфос 640Т.

Согласно программе импортозамещения и программе проведения испытаний наиболее оптимальным и эффективным является реагент ВТИАМИН ТС-5, который представляет собой более эффективный аналог (по механизму действия) зарубежному

- Активос 640Т. В связи с этим схемы ввода и принципы химико-аналитического контроля остались прежними. Одной из задач испытаний противонакипной обработки являлось определение достаточности и эффективности обработки на существующем уровне и внесение предложений по ее корректировке в случае необходимости.

Несмотря на то, что основным отличием реагента ВТИАМИН ТС-5 от его аналогов является способность эффективно работать в более широком диапазоне рН – вплоть до 11 ед. рН, необходимо тщательно следить за уровнем транспорта кальция в системе, поддерживать его строго в пределах 90÷100 (105)% регулированием уровня продувки и дозировки реагента. Это позволяет поддерживать необходимый баланс системы, при котором карбонат кальция будет выступать в роли естественного ингибитора, а не накипеобразователя.

В табл. 4.5 приведен расчет величины транспорта кальция за последние несколько лет.

Таблица 4.5. Изменение величины – Транспорт кальция

Месяц/год	2015	2016	2017	2018	2019
	Транспорт кальция %				
Январь	66	84	81	92	99
Февраль	73	79	82	89	102
Март	79	69	86	87	100 (Применение ВТИАМИН Д80)
Апрель	73	56	85	44	98
Май	40	69	78	74	105
Июнь	41	64	69	78	98
июль	60	60	75	92 (испытания ВТИАМИН)	104
Август	48	51	64	95 (испытания ВТИАМИН)	97
Сентябрь	40	34	56	97	99
Октябрь	57	74	79	98	100
Ноябрь	65	81	81	99	99
Декабрь	64	67	85	97	101
Ср. за год	58,3	65,7	76,75	77,3 (до применения ВТИАМИН) 96,3 (за период применения ВТИАМИН)	101 (за 9 месяцев применения ВТИАМИН Д80)

Из представленных результатов видно, что величина транспорта кальция постепенно увеличивалась, но нормируемых значений ( $Tr_{Ca}$ . 90%) на существующем режиме практически не достигалась. На это указывают и данные о чистках

конденсаторов УВД. Так, в 2016 г их было проведено всего шесть, а в 2017 – три, что подтверждает прямо пропорциональную зависимость между величиной транспорта солей жесткости (кальция) и степенью загрязнения поверхностей конденсаторов.

На рис.4.1 представлено изменение величины транспорта кальция во время испытаний. Прямая черная линия – рассчитанная линейная аппроксимирующая зависимость, показывающая закономерность изменения величины транспорта кальция во время ОПИ. Как видно из графика, несмотря на наличие максимальных и минимальных пиков, среднестатистическое значение транспорта кальция находится в пределах 90÷100%. При этом значения меньше допустимых 90% приходятся на период стабилизации системы после начала ввода реагента и на период пусковых операций. Линейный рост транспорта кальция происходил на фоне постоянного уровня дозирования реагента, что говорит об его эффективном срабатывании в системе при постоянной концентрации.

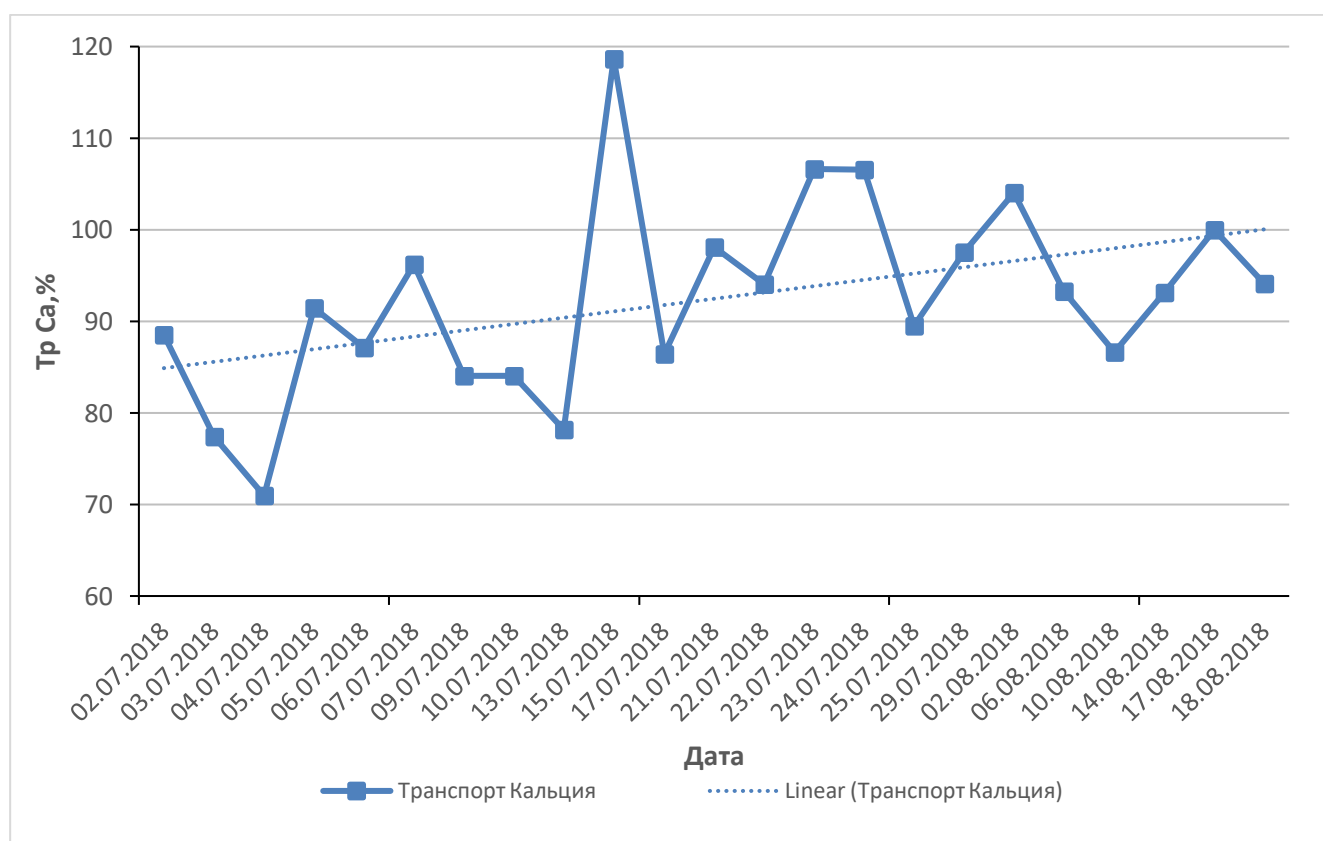


Рис. 4.1. Расчетная линейная (аппроксимирующая) зависимость транспорта кальция во время испытаний

Рассматривая вопрос экономии затрат при ведении водно-химического режима за счет использования более дешевого реагента ОЭДФК, следует отметить, что ОЭДФК способна ингибировать только кальциево-карбонатное накипеобразование,

но не способна ингибировать отложения сульфатов. При наличии в воде соединений железа выше 0,5 мг/кг эффективность ее значительно снижается. Кроме того, несмотря на возможность образования комплексов ОЭДФК с железом и медью, могут возникать такие условия, при которых более прочные комплексы с железом способны разрушать уже образовавшиеся медные комплексы. Поэтому при одновременном присутствии железистых и медноокисных отложений возможно повторное осаждение растворенной меди на поверхностях теплообменников, что способствует ее «переносу» по системе.

Таким образом, после анализа данных, полученных за последние несколько лет и после проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) можно говорить о целесообразности ведения попеременного ВХР СОО с использованием ВТИАМИН ТС-5.

Согласно данным, полученным во время испытаний в 2018 году, была доказана необходимость непрерывной реагентной обработки подпиточной воды СОО в целях предотвращения процессов накипеобразования. Реагент ВТИАМИН ТС-5 проявил высокую антинакипную эффективность во время проведения ОПИ.

Транспорт кальция, как и планировалось, поддерживался на уровне не ниже 90%. Также была доказана малая эффективность использования ОЭДФК в качестве единственного ингибитора накипеобразования. Учитывая экономические и технические аспекты существующей на сегодняшний день коррекционной обработки на Приуфимской ТЭЦ, а также новые разработки ООО «ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» в области диспергирующих и стабилизирующих добавок, в лаборатории ООО «ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» был разработан и испытан реагент ВТИАМИН Д-80, который проявляя синергизм с используемой в качестве антинакипина ОЭДФК, усиливает ее свойства, а также позволяет предотвратить переосаждение солей и ила.

Помимо синергетического эффекта от применения двух реагентов был достигнут баланс и в эксплуатационных затратах на новую реагентную обработку воды СОО Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК». Ввод реагента ВТИАМИН Д-80 начался в марте 2019 года.

#### **4.2.2. Исследование интенсивности коррозионных процессов**

На втором этапе опытно-промышленных испытаний (ОПИ) решались вопросы борьбы с коррозией. На данном этапе целью ОПИ являлось максимально возможное

снижение содержания меди в водах СОО. Достижение такого результата планировалось получить за счет прекращения насыщения оборотной воды продуктами коррозии и постепенного вымывания их из существующих отложений благодаря использованию коррекционного ВХР с применением ингибитора коррозии медьсодержащих сплавов - ВТИАМИН ЗС-6.

Анализ состояния ВХР последних 10 лет, представленный на рис. 4.2, показал стабильно высокое содержание соединений меди в циркуляционной воде, независимо от качества речной воды. Это может говорить об отсутствии противокоррозионной защиты оборудования, входящего в состав СОО, несмотря на применение реагентов для коррекционной обработки СОО.



Рис. 4.2. Среднегодовые данные по содержанию меди в речной и циркуляционной воде

Использование реагента ВТИАМИН ЗС-6 при постоянном дозировании во время работы оборудования предполагает торможение локального растворения меди за счет образования комплексов бензотриазола с ней. Вещества на основе азолов могут действовать также и по принципу образования плотной защитной пленки, для чего необходимы их концентрации не менее 2,4 мг/дм<sup>3</sup> в воде, контактирующей с поверхностью латуни.

Обеспечение такого уровня концентраций в процессе работы оборудования нецелесообразно в связи с достаточно быстрым обменом воды в системе (отпуск циркуляционной воды потребителю (химическое предприятие) на уровне 200÷300 т/ч, коэффициент упаривания в среднем 1,1÷1,3).

Поэтому достижение поставленной задачи возможно двумя путями: 1) торможение вымывания микроколичеств меди во время работы оборудования при постоянном минимально допустимом избытке ингибитора в циркуляционной воде; 2) консервация конденсаторов с помощью повышенных доз ингибитора непосредственно перед остановом.

В период ОПИ исследовался первый вариант защиты оборудования во время работы с постоянным минимально допустимым уровнем избытка реагента в системе.

Для корректной и более точной оценки получаемых результатов период ОПИ был разделен на 2 этапа: холостой (полностью соответствующий обычным режимам работы ПуТЭЦ) и период ввода реагентов.

Для оценки состояния системы и влияния качества оборотной воды на скорость коррозии латунных трубок, был смонтирован стенд измерения коррозии (схема и описание стендовой установки рис. 2.2). В стенд были установлены три латунных и один стальной индикатор на период холостых испытаний 24.05.18 – 02.07.18. (39 дней). Индикаторы были подготовлены согласно методике гравиметрического метода определения скорости коррозии по РД 153-34.1-17.465-00 [10,25,78]. После снятия индикаторы были осмотрены и обработаны по РД 153-34.1-17.465-00 [10,25,78]. Далее с учетом задач ОПИ по обеспечению защиты оборудования с медьсодержащими сплавами от коррозии рассматривались латунные образцы.

При извлечении индикаторы, установленные на холостом этапе, были покрыты неравномерно расположенным по поверхности слоем частично осыпавшихся отложений, что характерно для образования накипных отложений. После механической очистки на поверхности остался неудаляемый слой отложений, плотно сцепленный с металлом (рис. 4.3). Оставшиеся отложения были удалены травлением. После очистки на поверхности металла видны коррозионные повреждения металла (рис.4.4), причем характер повреждений свидетельствует о протекающей подшламовой коррозии.



Рис. 4.3. Индикаторы латунные (холостой период 24.05.18 – 02.07.18). Очищены механически от осыпающихся отложений

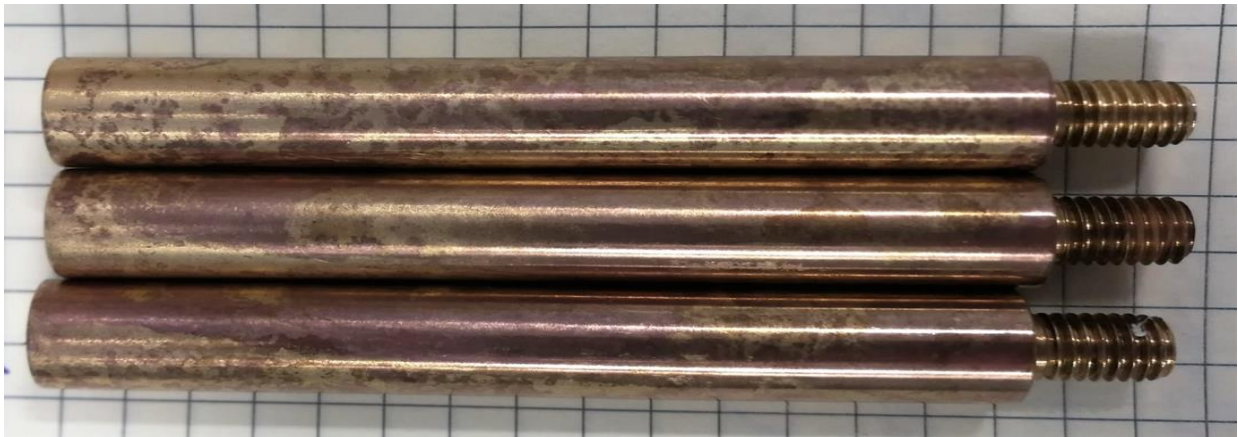


Рис. 4.4. Индикаторы латунные (холостой период 24.05.18 – 02.07.18). Травление после механической очистки

После травления образцов и удаления продуктов коррозии был выполнен расчет скорости коррозии для образцов холостого этапа:

Расчет площади индикаторов:

$$S = 2\pi R^2 + 2\pi Rh = 2 \cdot 3,14 \cdot 5^2 + 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 75 = 2513 \text{ мм}^2.$$

Время нахождения индикаторов в потоке:  $t = 39$  дней = 936 ч.

Потеря массы индикаторов (среднее по 3-м измерениям):  $\Delta m = 0,0725$  г

Расчет линейной скорости коррозии,  $K$ :  $K = \frac{\Delta m}{S \cdot t} = \frac{0,0725}{0,002513 \cdot 936} = 0,03 \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$

Расчет проникающей скорости коррозии:  $\Pi = K \cdot \frac{8,76}{\rho} = 0,03 \cdot \frac{8,76}{0,995} = 0,255$  мм/год,

где,  $K$  – линейная скорость коррозии, 8,76 – коэффициент пересчета (в год).  
 $\rho$  – плотность металла (для латуни Л60 = 0,995)

Как видно из расчетов, проникающая скорость коррозии выше допустимой (0,1 мм/год).



Среднее содержание меди в циркуляционной воде за весь период холостых испытаний составило 39,7 мкг/дм<sup>3</sup>(данные ПХАЛ)

Этап ввода реагента ВТИАМИН ЗС-6 длился с 02.07 по 15.08 и условно его можно разделить на 3 части:

- процесс наладки (время начала ввода реагента, когда происходила наладка узла дозирования и работы насоса)
- период стабильной работы - отсутствие существенных переключений (не происходило включений/отключений оборудования, в составе которого присутствуют медьсодержащие сплавы)
- период активных переключений. Поочередное включение в работу разных ТГ оказывало существенное влияние на результаты химического контроля.

Каждый из периодов представляет интерес с точки зрения влияния различных факторов на процессы ингибирования коррозии и эффективности работы реагента. Поэтому рассмотрим каждый из них в отдельности.

#### **4.2.2.1. Этап наладочных работ**

Ввод ВТИАМИН ЗС-6 в приемную камеру начат 03.07.2018 с расходом реагента 2,8 г/т. В это же время начат ввод ВТИАМИН ТС-5. На момент начала ввода реагента в работе находился конденсатор турбины ТГ-2. Согласно протоколу испытаний лаборатории по методу определения ПНД Ф 14.1: 2:4.48, содержание меди в циркуляционной воде (отбор из градирни №1) составило 57 мкг/дм<sup>3</sup>. Значение  $Tr_{Ca}$  03.07.18 составило 77%. Все данные химического контроля представлены в Приложении 4.

На начальном этапе коррекционной обработки происходила наладка работы насосов-дозаторов, уточнение и адаптация методик химического контроля.

В период 03.07 – 06.07.18 из-за технических проблем с узлом дозирования ввод ВТИАМИН ЗС-6 происходил скачкообразно. Ситуация с дозировкой нормализовалась к 07.07.18, работа насоса была настроена на расход реагента 2 кг/час, что соответствовало примерно 5÷5,7 г/т подпиточной воды. При этом в циркуляционной воде наблюдался минимальный избыток ВТИАМИНа ЗС-6 – 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Такой повышенный расход был необходим для наработки начальной защитной пленки и достаточной пассивации латунных поверхностей, поэтому в процессе

начального периода наладочных работ происходило срабатывание реагента. В дальнейшем планировалось снизить расход до  $2 \div 2,5$  г/т подпиточной воды.

За период 07.07 – 13.07 избыток реагента в системе вырос до  $0,55$  мг/дм<sup>3</sup> при неизменном уровне дозирования, что говорит о начале насыщения системы и образования пассивационного слоя.

Однако с 14 по 16 июля 2018 года произошел сбой работы насоса, в результате чего стабильность системы была утрачена. При этом, несмотря на перебои с дозированием, избыток реагента в циркуляционной воде не снижался ниже  $0,13$  мг/дм<sup>3</sup>. После восстановления дозирования ВТИАМИН ЗС-6 на уровне  $5$  г/т его содержание в оборотной воде стабилизировалось к 18.07. и составило  $0,3$  мг/дм<sup>3</sup> – минимально допустимое значение для поддержания стабильности защитной пленки.

Таким образом, исходя из анализа процесса наладки оборудования, можно сделать вывод о том, что при работе одного конденсатора время, необходимое для стабилизации показателей в системе, составляет примерно 15-18 суток. Периодом стабильности можно считать время, когда избыток реагента в системе остается постоянным на уровне не ниже  $0,3$  мг/дм<sup>3</sup> при стабильной величине дозирования, либо когда отмечается увеличение его содержания в воде СОО.

#### **4.2.2.2. Период стабильной работы**

Началом стабильного периода антикоррозионной защиты при дозировании реагентов на этапе ОПИ принята дата 18.07.2018 года, когда была восстановлена постоянная работа насоса-дозатора ВТИАМИН ЗС-6.

На рис.4.5-4.7 представлена динамика изменений содержания меди, избытка ВТИАМИН ЗС-6 и коэффициента упаривания за период наладки и стабильной работы. Со 2 июля по 5 августа 2018 года в работе находилась паровая турбина ТГ-2, градирни №2,3, циркуляционные насосы 2,3. Начиная с 5 августа начались переключения, связанные с вводом в работу оборудования с незащищенными поверхностями. Таким образом, на примере обработки ТГ-2 можно проследить и охарактеризовать динамику процесса пассивации латунных трубок.

При рассмотрении линейных зависимостей изменения концентрации меди (рис.4.5) и реагента ВТИАМИН ЗС-6 (рис.4.6) в циркуляционной воде, можно отметить обратно пропорциональную зависимость: с повышением концентрации реагента количество меди в циркуляционной воде падает. Этот процесс происходит

на фоне неизменной дозировки реагента ( $5 \div 5,7$  г/т), практически постоянном коэффициенте упаривания (рис. 4.7) и относительно постоянном количестве продувочной и подпиточной воды. Такая зависимость говорит о том, что происходит ингибирование коррозионных процессов и пассивация поверхности конденсатора реагентом. При этом медь перестает поступать в систему и постепенно вымывается из существующих отложений. Незначительное повышение меди 19 июня 2018 года связано с перебоями дозирования ингибитора накануне. Это свидетельствует о том, что защита латунных поверхностей на тот момент была еще недостаточна, и при прекращении дозирования ВТИАМИН ЗС-6 наблюдался рост содержания меди в воде. Данная ситуация характерна только для начального этапа, пока не вся поверхность латунных трубок покрыта пассивирующим слоем комплекса меди с бензотриазолом.

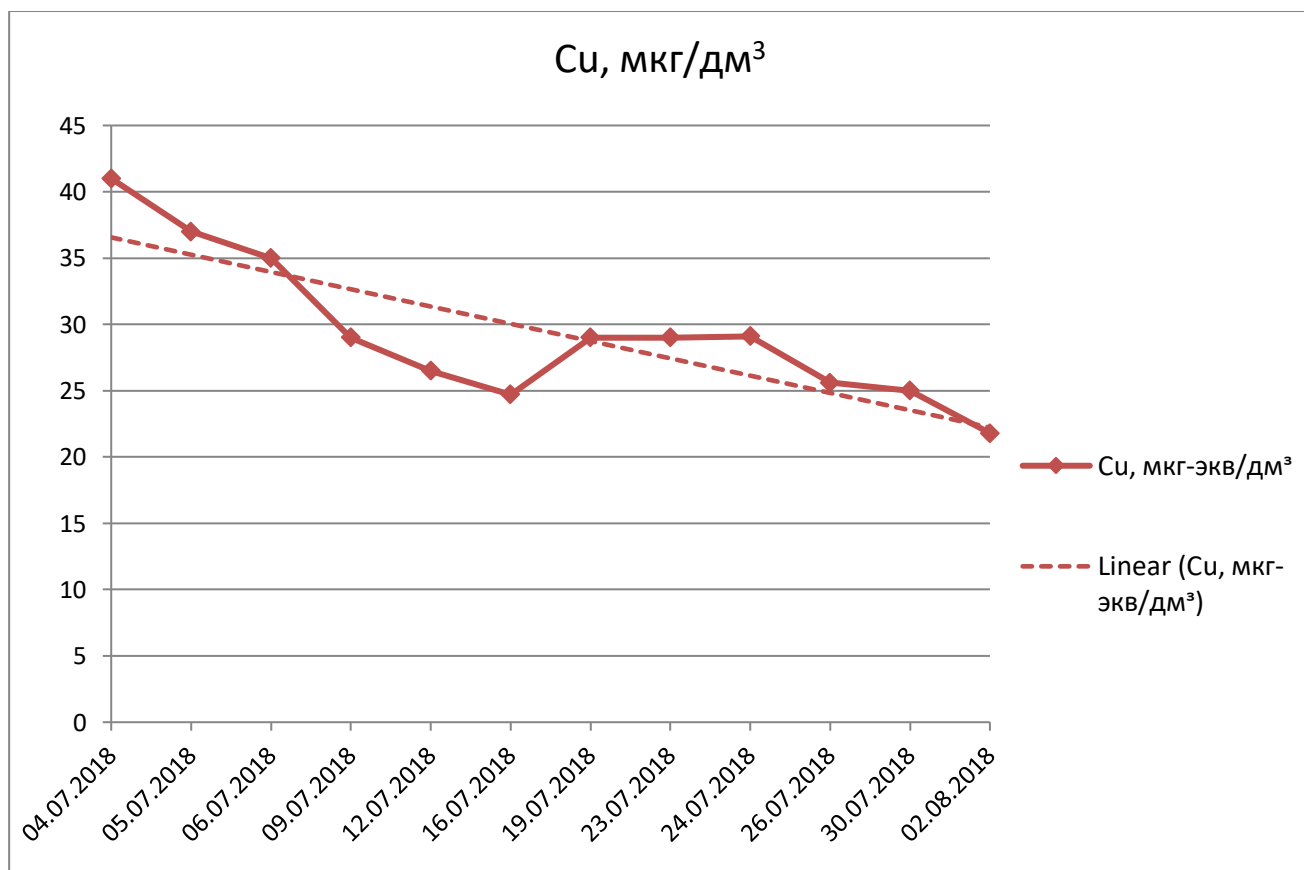


Рис. 4.5. Концентрация меди в циркуляционной воде в период опытно-промышленных испытаний

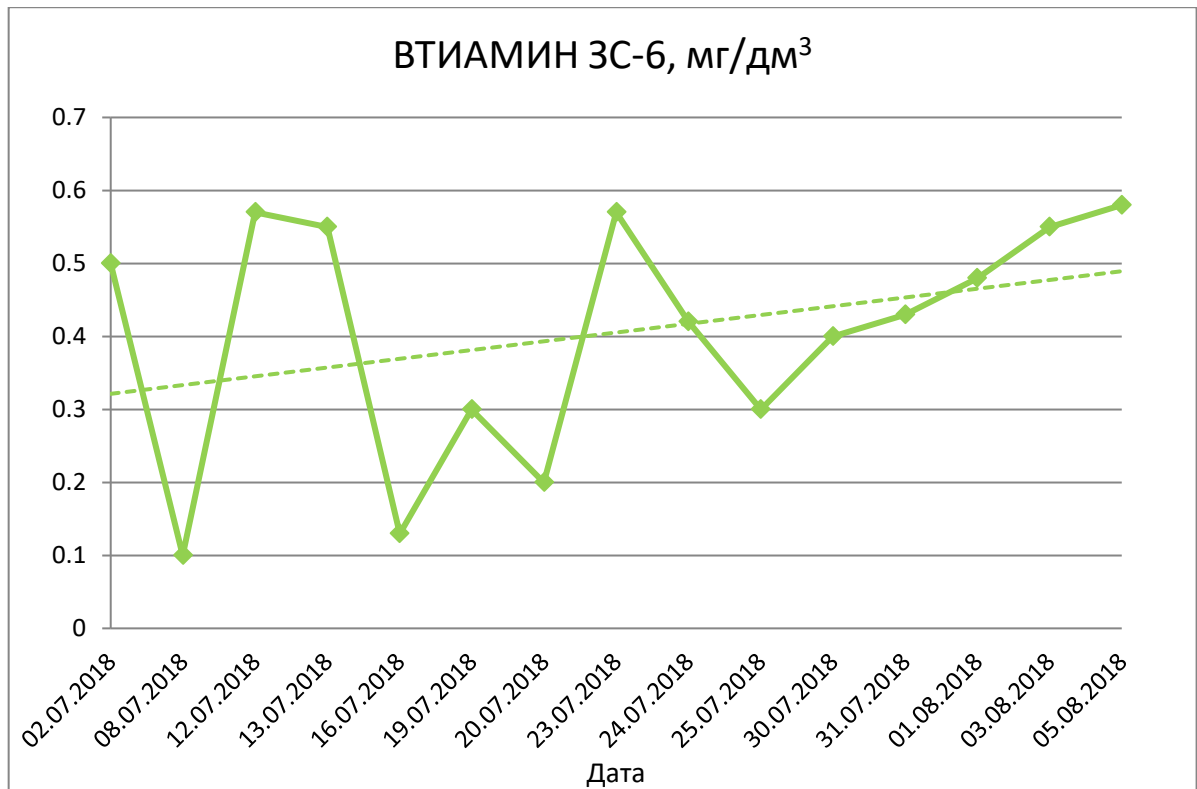


Рис. 4.6. Концентрация реагента ВТИАМИН ЗС-6 в период опытно-промышленных испытаний

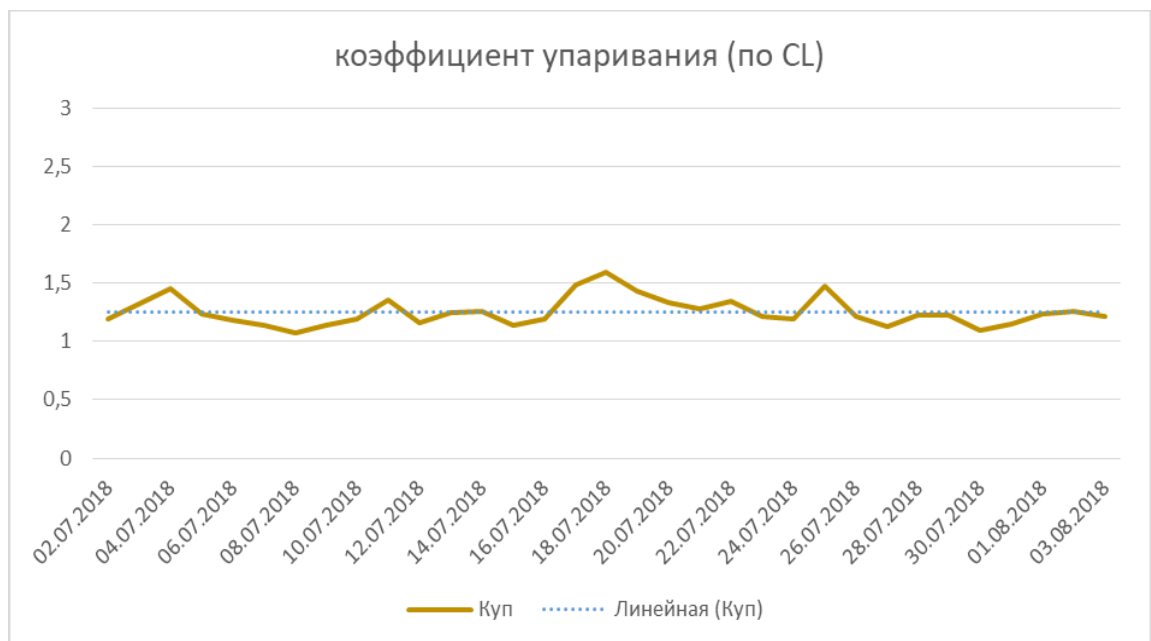


Рис. 4.7. Коэффициент упаривания ( $K_{уп}^{Cl}$ ) в период опытно-промышленных испытаний

За период стабильной работы избыток ВТИАМИН ЗС-6 достиг уровня  $0,64 \text{ мг/дм}^3$ . При этом доза реагента оставалась неизменной, что свидетельствует о насыщении системы и замедлении скорости срабатывания реагента. В этот период можно было снижать его дозировку, однако планировалось включение в работу

следующего ТГ с незащищенными конденсаторами, в связи с чем было принято решение оставить дозу реагента на прежнем уровне до окончания периода подключения оборудования, выводимого из сезонного резерва и завершения периода испытаний. Также за период стабильной работы содержание ионов меди в циркуляционной воде начало медленно снижаться и достигло значения 21,8 мкг/дм<sup>3</sup> (2 августа 2018г.). Стоит отметить, что согласно данным качества циркуляционной воды за 2016÷2017 гг содержание меди в ней не опускалось ниже 30 мкг/дм<sup>3</sup>, а за аналогичный период (июль) минимальное ее содержание составило в 2016г – 34,1 мкг/дм<sup>3</sup>; в 2017г – 35,1 мкг/дм<sup>3</sup>. Учитывая, что снижение содержания меди за период стабильной работы ОПИ происходило плавно по убывающей линейной зависимости, можно предположить, что латунные поверхности в это время находились в защищенном состоянии, и процессы коррозии были приостановлены. Анализ результатов также показал, что достижение нормируемых значений по содержанию меди можно ожидать лишь с течением длительного времени (тогда как 2÷2,5 недели для этого недостаточно).

О защищенности латуни в этот период свидетельствуют также и промежуточные осмотры индикаторов, установленных в стенде.

#### 4.2.2.3. Период переключений

Период переключения оборудования был начат с 5 августа 2018 года в 22:00. Помимо ТГ-2 в работу была включена ТГ-1, которая до этого находилась на консервации сухим воздухом, а 8 августа – ТГ-3, которая в течение 2018 года находилась в нерабочем состоянии 88,6% времени (табл. 4.4).

Сопоставляя данные о работе и переключениях оборудования с всплесками по содержанию меди в циркуляционной воде за весь период испытаний (рис. 4.8), можно сделать следующие выводы:

1. Во время пусковых операций происходит насыщение циркуляционной воды ионами меди. Так, наблюдалось 4 всплеска после 4 пусковых операций:

- 1) 53 мкг/л - после включения ТГ-1 (отбор через 11 ч).
- 2) 140 мкг/л – при включении ТГ- 3 (практически сразу после включения)
- 3) 44 мкг/л – при повторном включении ТГ-1 (отбор через 30 ч)
- 4) 46 мкг/л – при повторном включении ТГ-3. (отбор через 18 ч)

Причем из всех зафиксированных всплесков только один, самый максимальный, был получен непосредственно после включения ТГ-3 в работу. Остальные пробы по техническим причинам отбирались через 11 – 30 часов.

2. По полученным результатам предварительно можно сделать вывод о степени влияния незащищенных поверхностей на общее содержание меди в циркуляционной воде.

3. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения мероприятий по химической защите конденсаторов на периоды простоя. Консервация химическими методами позволит избежать дополнительного насыщения циркуляционной воды ионами меди, что в свою очередь поможет решить проблему превышения ее содержания в сточных водах.

4. Степень насыщения воды СОО ионами меди напрямую зависит от состояния конденсаторов и от способов их консервации (нахождения в резерве).

Например, ТГ-1 в 2018 году находилась примерно равное время как в резерве, так и в работе (примерно по 40% от общего числа дней с начала 2018г). При этом без какой-либо консервации (или в ремонте) она находилась 15 % времени. Концентрация меди после ее пуска после длительного простоя увеличилась в 2,5 раза по сравнению с предыдущим анализом.

Общее время простоя ТГ-3 в 2018 составило 88,6%, и концентрация меди после ее пуска выросла в 3,2 раза (рис. 4.8).

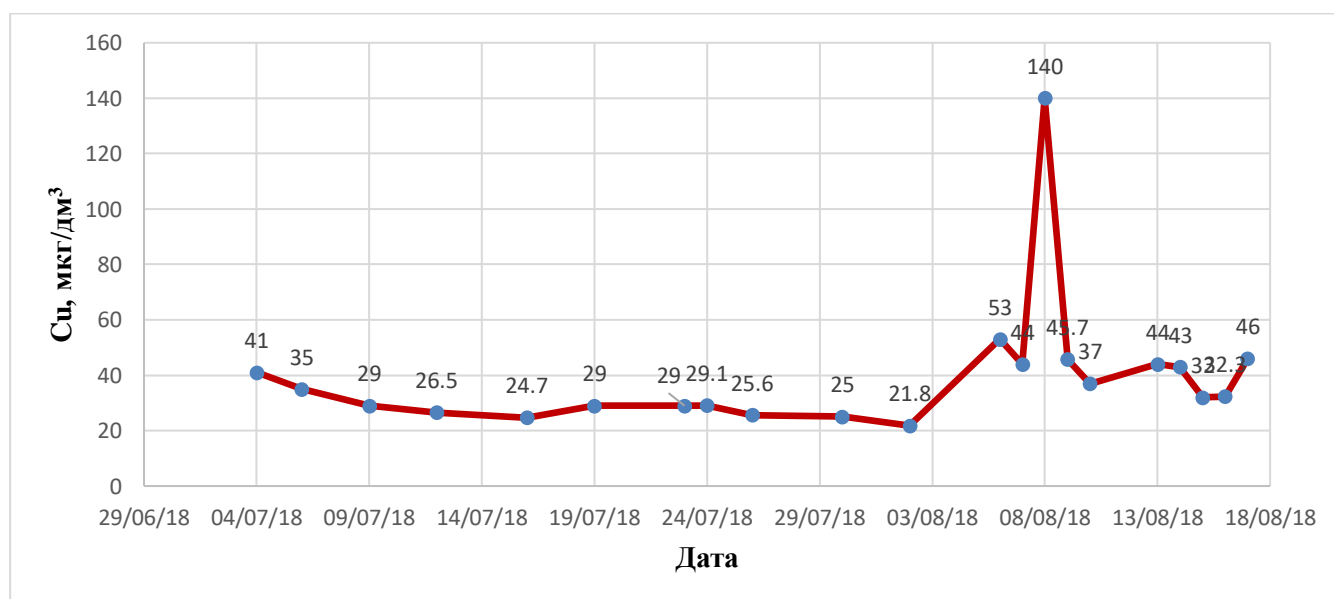


Рис. 4.8. Изменение концентрации меди в циркуляционной воде в период переключений турбогенераторов (02.07.2018 – 15.08.2018)

Полученные результаты подтверждают предположение о том, что превышение норм по содержанию меди в воде СОО связано с протеканием коррозионных процессов латунных трубок и вымыванием микроколичеств меди из них.

Благодаря четко разделенным периодам стабильной работы, наладочных режимов и пусковых операций, во время проведения ОПИ, стало возможным определить степень загрязнения оборотной воды в разные периоды ее работы, а также определить ориентировочное количество времени для приведения системы в стабильное состояние, выбрать схемы и дозы вводимых ингибиторов.

Такие выводы подтверждаются и результатами осмотров (промежуточных и после окончания ОПИ) индикаторов коррозии. Состояние индикаторов коррозии, осмотренных в различные периоды ОПИ, приведено в Приложении №5.

Индикаторы, снятые после окончания ОПИ, отличаются по внешнему виду от тех, которые осматривались промежуточно. Если первые 28 дней их внешний вид оставался постоянным без каких-либо изменений, то за последние 10 дней на индикаторах появились следы отложений. Под отложениями металл не поврежден, следов подшламовой коррозии не наблюдалось. Характер отложений (мягкий, механически удаляющийся с поверхности) и степень их сцепления с металлом позволяет утверждать, что они имеют наносной характер и появились именно в период пусковых операций. Возможно, это явление было связано с отмывкой участков трубопроводов и перераспределением отложений в трубопроводах.

Расчет скорости коррозии для образцов этапа с вводом реагентов выполнялся по формулам:

Расчет площади индикаторов:

$$S = 2\pi R^2 + 2\pi Rh = 2 \cdot 3,14 \cdot 5^2 + 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 100 = 3297 \text{ мм}^2$$

Время нахождения индикаторов в потоке:  $t = 40$  дней = 960 ч.

Потеря массы индикаторов (среднее по 3-м измерениям):  $\Delta m = 0,0039$  г

Расчет линейной скорости коррозии,  $K$ :

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot t} = \frac{0,0039}{0,003297 \cdot 960} = 0,0012 \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

Расчет проникающей скорости коррозии:

$$\Pi = K \cdot \frac{8,76}{\rho} = 0,0012 \cdot \frac{8,76}{0,995} = 0,010 \text{ мм/год,}$$

где  $K$  – линейная скорость коррозии; 8,76 – коэффициент пересчета (в год);  
 $\rho$  – плотность металла (для латуни Л60 = 0,995)

Как видно из расчетов, проникающая скорость коррозии ниже допустимой (0,1 мм/год)

По полученным данным автором была проведена оценка скорости стояночной коррозии (без протока циркуляционной воды), имитирующая коррозию оборудования и трубопроводов в период простоя турбогенераторов.

На рис. 4.9 приведены сравнительные данные по скорости коррозии без протока (имитация простоя) и в протоке (как во время работы). Из приведенных данных видна высокая скорость стояночной коррозии. На основании этих данных становится понятной острая необходимость консервации оборудования на период простоя.



Рис. 4.9. Сравнительные данные по скорости коррозии без протока и в протоке

#### 4.3. Испытания эффективности биоцидной обработки циркуляционной воды системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» в период опытно-промышленных испытаний

Наряду с оценкой интенсивности отложений и скорости коррозии латунных сплавов конденсаторов паровых турбин, согласно комплексной методике испытаний, проводилась оценка степени бактериального (биологического) обрастания



конструкционных элементов СОО Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» и испытания биоцидной обработки циркуляционной воды.

Перед началом ОПИ был проведен осмотр чаш работающих градирен с целью определения степени водорослевого загрязнения. Взяты образцы для проведения биотестов на ОМЧ из чаши градирен №1 и №3. При осмотре было установлено, что степень водорослевого обрастания выше средней. Максимальная степень загрязнения наблюдалась на железобетонных стойках (рис. 4.10).

Толщина водорослевых отложений зависит от освещенности и степени орошения поверхности оборотной водой. Так, с южной стороны градирен отложения полностью покрывали орошаемые поверхности, со стороны с меньшим количеством света или места с непостоянным орошающим потоком воды покрыты отложениями, носящими островной характер (рис. 4.11). В обоих случаях цвет водорослей насыщенный, тёмно-зелёный, что свидетельствует о бурном росте водорослевой массы.



Рис. 4.10. Фотографии биологического обрастания на железобетонных стойках градирен



Рис. 4.11. Фотографии биологического обрастания на местах с непостоянным орошающим потоком воды

Кроме визуального осмотра для оценки степени водорослевого обрастания были проведены биотесты, оценивающие уровень микробиологического загрязнения. Согласно нормам, допустимым уровнем считается общее микробиологическое число менее  $10^4$  КОЕ/мл (в жидкости) или 17 КОЕ/мл (на поверхности). Изображение биотестов до биоцидной обработки (градирни №1 и №3) приведены на рис. 4.12. В обеих градирнях уровень бактериального загрязнения не превышает  $10^3$  КОЕ/мл (колоний образующие единицы на мл) в жидкости и 3,5 КОЕ/мл на поверхности, что входит в пределы норм.

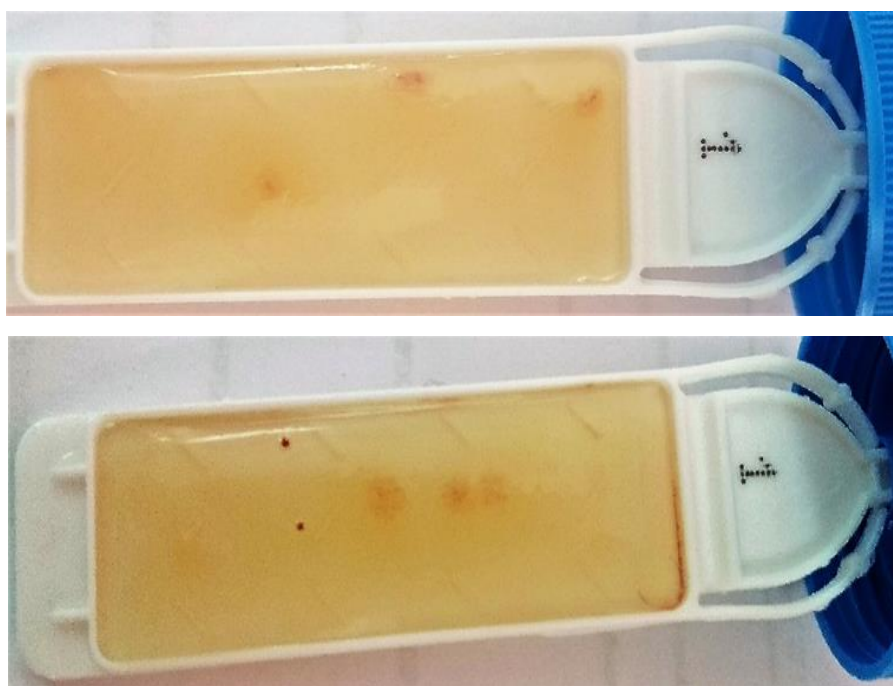


Рис. 4.12. Фотографии биотестов до биоцидной обработки (градирни 1 и 3)



Таким образом, можно говорить о том, что основная проблема биологического загрязнения связана с водорослевым обрастанием, поэтому на основании анализа исходных данных и результатов определения бактериального обрастания был выбран реагент ВТИАМИН Б-2, который для данной системы должен был показать наилучшую эффективность.

На рис. 4.13 показаны результаты визуального осмотра поверхности и бактериологического теста после биоцидной обработки реагентом ВТИАМИН Б-2. Как видно, бактериологическое загрязнение полностью отсутствует, а цвет водорослевых отложений изменился местами до ярко выраженного коричневого, что характерно для мертвой биомассы. Местами признаки отмирания водорослей проявляются недостаточно.

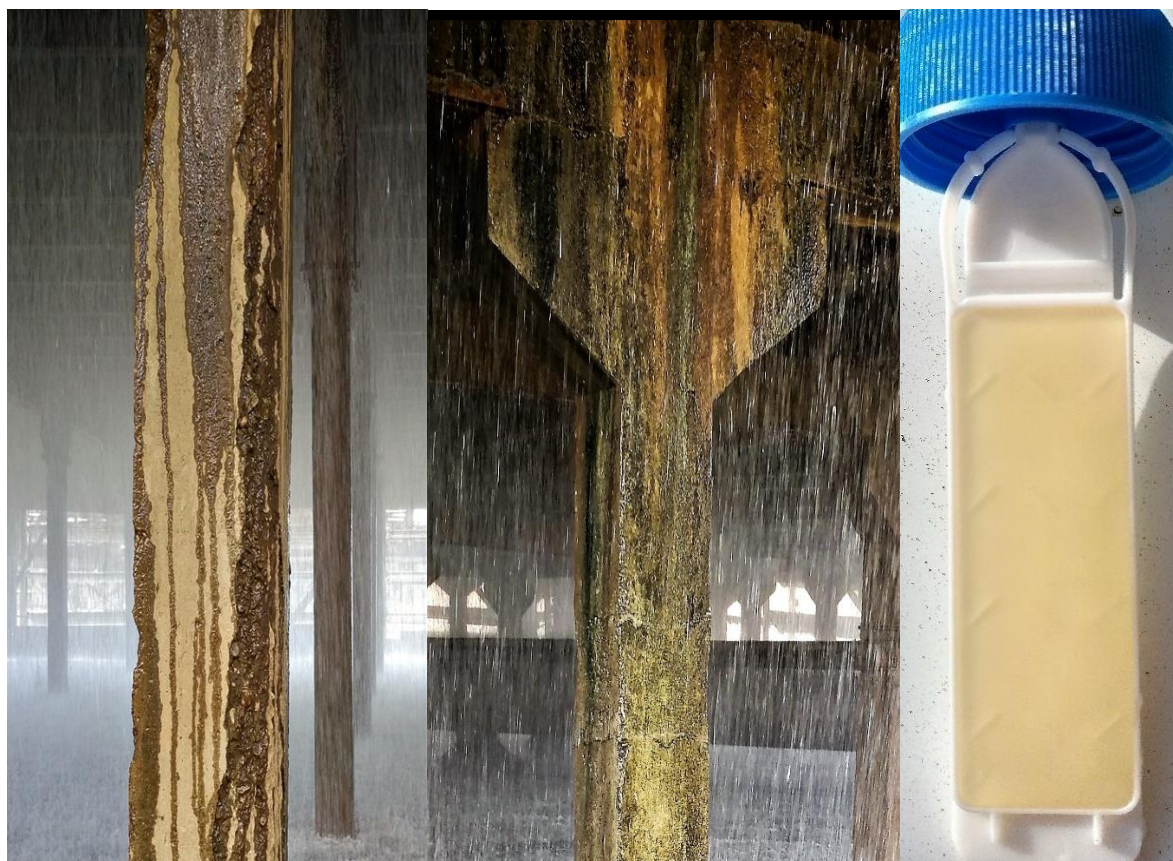


Рис. 4.13. Результаты визуального осмотра поверхности опор градирни и бактериологического теста после биоцидной обработки

Кроме того, отмирающие водорослевые отложения смываются с поверхности несущих конструкций градирни в виде вспененной коричневой массы рис. 4.14. Несмотря на достигнутую положительную тенденцию по сокращению биологического обрастания, за весь период испытаний не удалось добиться полной

чистоты поверхностей от водорослевого обрастания. На фоне допустимого уровня бактериального загрязнения это указывает на необходимость применения нескольких видов биоцидов разнонаправленного действия. Это позволит не допускать значительного водорослевого обрастания, особенно в летний период. В противном случае, объем смываемой биомассы во время залповых обработок может негативно влиять на эффективность теплопередачи в трубках конденсаторов, а также препятствовать работе ингибиторов накипеобразования и коррозии.



Рис. 4.14. Изображение смыва с поверхности градирни при биоцидной обработке

В качестве дополнительного реагента, предотвращающего биообрастание оборудования, целесообразно использовать окисляющий биоцид на основе хлора. Следует отметить, что дозируемые в циркуляционную систему реагенты ВТИАМИН ТС-5 и ЗС-6 совместимы с окисляющими биоцидами на основе хлора.

Учитывая, что четвертичные аммониевые соли (входящие в состав ВТИАМИН Б-2) нельзя использовать при попадании воды на обратноосмотические мембраны, рекомендуется так же заменить реагент ВТИАМИН Б-2 на ВТИАМИН Б-6 на основе изотиазолинов (в случае его совместного применения с окисляющим биоцидом).

#### **4.4. Выводы по четвертой главе**

1. Реагент ВТИАМИН ТС-5 проявил высокую антинакипную эффективность. Так во время проведения ОПИ значение транспорта кальция, как и ожидалось, поддерживался на уровне не ниже 90%.

2. Для поддержания системы оборотного охлаждения в стабильном состоянии нецелесообразно вести ВХР с попеременным использованием ОЭДФК и комплексного реагента. В случае необходимости можно рассматривать вопрос о пониженном дозировании ВТИАМИН ТС-5 в паводковый период с соблюдением норм контроля за циркуляционной водой

3. Необходимо изменить схему ведения химического контроля для регулирования продувочного режима и режима дозирования реагентов. Для контроля за стабильностью оборотной воды следует использовать критерии оценки: транспорт кальция (в пределах  $90 \div 105\%$ ) и индекс Ланжелье (в пределах  $2,1 \div 2,5$ ).

4. Превышение норм по содержанию меди в оборотной воде обусловлено коррозией медьсодержащих сплавов как в период работы, так и в период простоя оборудования.

5. Реагент ВТИАМИН ЗС-6 обеспечивает достаточную защиту от коррозии медьсодержащих сплавов во время работы оборудования в концентрациях 5,5 (доза насыщения) – 2,5 (поддерживающая доза) г/т. При продолжительном применении реагента и достаточной наработанности защитной пленки возможно снижение дозы реагента. Темпы снижения содержания меди в циркуляционной воде достаточно низкие, в связи с чем в период испытаний не были достигнуты нормируемые показатели по содержанию меди (несмотря на тенденцию к уменьшению в период стабильной работы).

6. Для полной защиты оборудования от коррозии необходимо разработать программу защиты конденсаторов на периоды простоя. Одним из возможных вариантов подобной защиты может послужить использование реагента ВТИАМИН ЗС-6 в повышенных концентрациях пред остановом оборудования.

7. Проводимая на сегодняшний день биоцидная обработка решает проблемы бактериального обрастания в полной мере. Однако для борьбы с водорослевым обрастанием она не достаточна.

8. Предложенный реагент ВТИАМИН Б-2, также, как и его аналог Турбанион, не решает проблемы водорослевого обрастания. В состав обоих реагентов входят четвертичные соли аммония, которые запрещены к использованию на обратноосмотических мембранах. Для решения обозначенной проблемы рекомендуется заменить применяемый биоцид ВТИАМИН Б-2 на комплексную

биоцидную обработку с применением двух биоцидов разнонаправленного действия. В качестве варианта такой программы было предложено использовать биоцид на основе изотиазолинов (ВТИАМИН Б-6 или ВТИАМИН Б-5) совместно с хлорсодержащими реагентами при попеременном их использовании. Такой подход позволит полностью решить проблему водорослевого обрастания и отключения подачи технической воды потребителям. Кроме того, в подобном сочетании биоциды безопасны для работы обратноосмотических мембран.

Результаты исследований, описанные в четвертой главе, отражены в публикациях автора [73, 83, 95, 96, 105].

## ГЛАВА 5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАГЕНТОВ СЕМЕЙСТВА «ВТИАМИН»

Доработка методики комплексной оценки состояния водно-химического режима СОО и исследование ВХР при использовании реагентов семейства «ВТИАМИН» проводились на ряде электростанций России, отличающихся как качеством подпиточной (природной) воды, степенью упаривания циркуляционной воды, требованиями к утилизации сбросных вод, так и составом оборудования и тепловым режимом оборотных систем.

### 5.1. Исследование состояния ВХР СОО энергоблока ПГУ-450 Калининградской ТЭЦ-2

#### 5.1.1. Состояние оборудования и водно-химического режима системы оборотного охлаждения (ВХР СОО)

Система оборотного охлаждения (СОО) Калининградской ТЭЦ-2 предназначена для бесперебойного снабжения охлаждающей водой конденсаторов паровых турбин и вспомогательного оборудования двух блоков ПГУ-450 МВт.

В состав системы оборотного охлаждения входят:

- циркуляционная насосная станция (ЦНС);
- циркуляционные водоводы;
- башенные железобетонные испарительные градирни – 2 шт.;
- камера арматуры на водоводах подпиточной воды;
- камеры арматуры №1 и №2 на циркуляционных водоводах у градирен №1, 2;
- сбросные железобетонные каналы – 2 шт.;
- водоочистные машины типа ТН-2500 – 2 шт.;
- циркуляционные насосы типа RDL 900-1050В,  $Q = 11000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 0,27 \text{ МПа}$  – 4 шт.;
- насосы промыва сеток водоочистных машин типа КМ 100-80-160/2-5 – 2 шт.;
- насосы перекачки продувочных вод типа КМ 100-65-200/2-5,  $Q = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 0,5 \text{ МПа}$  – 3 шт.

Объем заполнения системы оборотного охлаждения около  $10\,000 \text{ м}^3$ , максимальный циркуляционный расход воды в конденсационном режиме составляет  $44\,000 \text{ м}^3/\text{час}$ , в теплофикационном режиме –  $22\,000 \text{ м}^3/\text{час}$ , расход подпиточной воды



(речная вода из р. Преголя) летом – 800÷1100 м<sup>3</sup>/час, зимой – 900÷1000 м<sup>3</sup>/час, расход продувочной воды в р. Новая Преголя 250÷350 м<sup>3</sup>/час. Система практически постоянно работает в конденсационном режиме. Максимальная разница температур прямой и обратной охлаждающей воды – 13,2°С, минимальная – 11°С.

С целью предотвращения процессов накипеобразования на внутренних поверхностях конденсатора и теплообменного оборудования на Калининградской ТЭЦ-2 применяется коррекционная обработка с добавлением серной кислоты для подкисления и снижения щелочности подпиточной и оборотной воды, а также дозированием оксиэтилидендифосфоновой кислоты (ОЭДФК) для предотвращения образования накипных отложений. Основные показатели качества подпиточной и циркуляционной воды приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Среднегодовые (2018 г.) показатели качества подпиточной и циркуляционной воды СОО ТЭЦ с ПГУ-450 МВт

Показатель	Размерность	Подпиточная вода	Циркуляционная вода
Жесткость общая (Ж <sub>о</sub> )	мг-экв/дм <sup>3</sup>	4,6	9,7
Щелочность общая (Щ <sub>о</sub> )	мг-экв/дм <sup>3</sup>	3,8	9,5
Концентрация хлоридов	мг/дм <sup>3</sup>	18,8	51,9
Концентрация сульфатов	мг/дм <sup>3</sup>	31,7	165,5
Концентрация фосфатов	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	2,1

Высокая щелочность подпиточной воды обуславливает значительный расход серной кислоты (не менее 36 тонн в год) для снижения щелочности исходной воды. Как следствие, из-за большого расхода серной кислоты наблюдается повышенная коррозия отдельных элементов системы оборотного охлаждения, а в продувочной (сточной) воде периодически наблюдаются превышения допустимых показателей по некоторым веществам (в том числе, производных серной кислоты) что влечет за собой штрафные санкции на ТЭЦ. Существующая коррекционная обработка малоэффективна и не обеспечивает необходимой степени защиты теплообменного оборудования от накипеобразования. Один раз в год, для удаления отложений с внутренних поверхностей трубок конденсатора и вспомогательного теплообменного оборудования, проводится механическая очистка при помощи фрезы, насаженной на конец гибкого вала и приводимой в движение электродвигателем. При данном методе очистки невозможно полностью удалить отложения с поверхности трубок до «чистого» металла.



Помимо процессов накипеобразования существующая обработка оборотной воды системы охлаждения ОЭДФК и серной кислотой не предотвращает образование биологических обрастаний на внутренних поверхностях трубок конденсатора, теплообменного оборудования и элементах градирен. Для удаления биологических отложений и предотвращения образования различных видов минеральных отложений в трубках конденсатора предусмотрена система шариковой очистки, которая включается в работу ежедневно на период до четырех часов.

На основании расчетов по изложенной методике (глава 2) было установлено, что для системы оборотного водоснабжения Калининградской ТЭЦ-2 при существующей коррекционной обработке среднее значение коэффициента транспорта кальция в 2017-2018 гг. составило 81%. При этом минимальные значения коэффициента транспорта кальция на уровне 46÷53% были отмечены в период с июля по сентябрь 2017 года, в то же время 47÷54% карбонатных солей из объема воды перешли в отложения на теплообменном оборудовании. Максимальные значения коэффициента транспорта кальция (более 100%) наблюдались в апреле, мае, ноябре и декабре 2017 года, что может быть напрямую связано с сезонным изменением качества подпиточной воды и использованием в большем объеме очищенных дождевых стоков в качестве подпитки системы, а не повышением эффективности коррекционной обработки. Если принять данный факт для расчета, то среднее значение коэффициента транспорта кальция для системы оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ составит 74%.

Высокие накипеобразующие свойства оборотной воды системы охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 и недостаточная эффективность существующей коррекционной обработки подтверждаются результатами осмотра трубок конденсатора и вспомогательного теплообменного оборудования, а также результатами качественного анализа отложений. На рис. 5.1 представлена фотография трубки конденсатора Калининградской ТЭЦ-2 с отложениями, а предоставленные специалистами Калининградской ТЭЦ-2 протоколы химического анализа отложений с трубок и трубной доски конденсатора, трубных досок воздухоохладителей и оросителей градирен свидетельствуют о карбонатном характере отложений. В результате визуального осмотра отложений установлено, что толщина отложений составила до 0,5 мм, а их поверхность практически идеально гладкая. Такой эффект

наблюдается из-за использования механического метода очистки трубок конденсатора фрезой, при котором отложения удаляются не полностью, а только на определенную толщину из-за риска повреждения трубок. Система шариковой очистки в процессе эксплуатации конденсатора не способна удалить старые плотные отложения, а лишь способствует удалению новых рыхлых отложений и отложений биологического характера, в результате чего при ежедневном использовании шариковой очистки наблюдается эффект «полировки» образованных отложений.

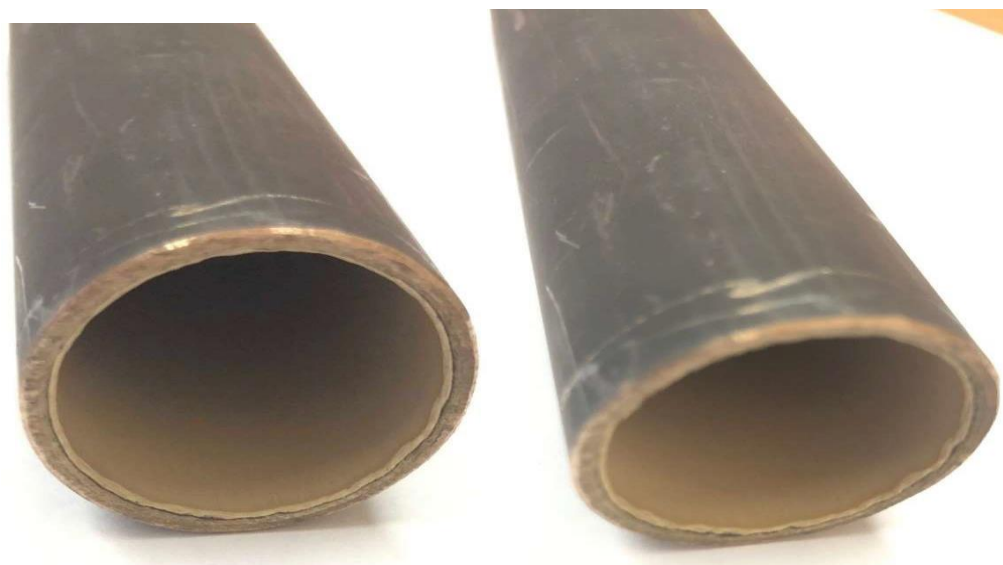







Рис. 5.1. Фотография трубки конденсатора Калининградской ТЭЦ-2 с отложениями.

Для оценки коррозионной агрессивности оборотной воды при существующей коррекционной обработке специалистами ОАО «ВТИ» с участием автора в помещении циркуляционной насосной станции (ЦНС) в установленный змеевик, имитирующий движение воды внутри теплообменных аппаратов, разместили образцы-свидетели скорости коррозии из углеродистой стали и латуни. Образцы устанавливались в период с 31 июля по 18 сентября, а также с 19 сентября по 30 октября 2018 года. Установка и съём образцов-свидетелей производился в присутствии специалистов Калининградской ТЭЦ-2. Обработка образцов и их анализ проводился в лаборатории химического цеха Калининградской ТЭЦ-2.

В табл. 5.2 представлен внешний вид образцов и расчетные значения скорости коррозии после экспозиции при существующих условиях работы системы оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2.

Таблица 5.2. Внешний вид образцов-свидетелей скорости коррозии после экспозиции в системе оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2

Период экспозиции	31 июля – 18 сентября 2018 г.			19 сентября – 30 октября 2018 г.	
Материал	Ст.20	Ст.20	Латунь	Ст.20	Латунь
Внешний вид					
Скорость коррозии, мм/год	0,104	0,093	0,0037	0,1219	0,0142

Визуальный осмотр образцов-свидетелей из углеродистой стали (Ст. 20) после экспозиции в системе оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 показал, что коррозионные поражения образцов значительные, коррозия носит местный (неравномерный) характер в соответствии [10]. На образцах из стали присутствовали плотные отложения продуктов коррозии, занимавшие до 80 % поверхности, а также отложения механических примесей и шлама. Средняя скорость коррозии по трем образцам из углеродистой стали превысила нормативное значение (0,1 мм/год) и составила 0,1099 мм/год. На поверхности образцов из латуни явных коррозионных поражений обнаружено не было, коррозия носила равномерный характер. Значение скорости коррозии по двум данным образцам не превысило нормативное (0,05 мм/год) и составило 0,0089 мм/год. На образцах были обнаружены отложения в виде механических примесей и шлама.

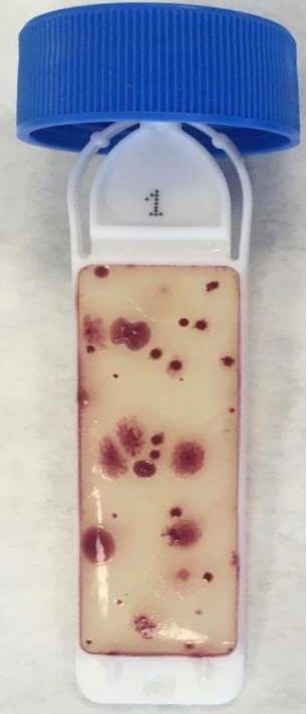
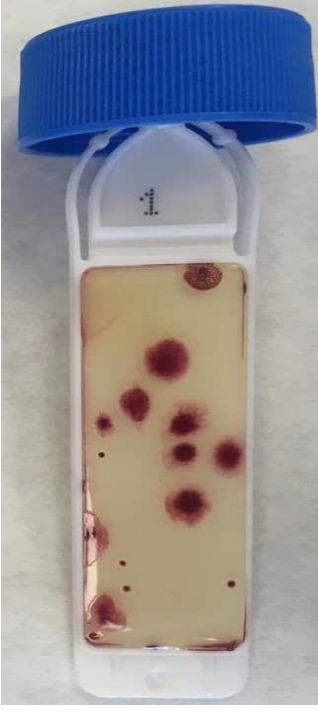


Количественная оценка биологической зараженности оборотной воды системы охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 проводилась при помощи экспресс-тестов на

общее микробное число, а также на основании анализов на колиформные и термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, возбудители кишечных заболеваний и жизнеспособные яйца гельминтов, которые выполнялись ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Калининградской области». Визуальная оценка биообрастаний проводилась на основании осмотра элементов градирен. Для определения биологической загрязненности оборотной воды использовались дип-слайды (экспресс-тесты). Дип-слайды применяются для определения общего микробного числа (ОМЧ), грибов и количества дрожжей.

Отбор проб для определения биологической загрязненности оборотной воды осуществлялся в чаше Градирни №1 19 сентября 2018 года. По результатам контроля было выявлено, что общее микробное число в оборотной воде системы охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 находится на уровне 104 – 105 КОЕ/мл, что незначительно превышает норму для открытых систем охлаждения в 104 КОЕ/мл. Также было обнаружено присутствие дрожжей и грибов на уровне 103 КОЕ/мл, присутствие которых является недопустимым.

Фотографии дип-слайдов и числовые значения ОМЧ приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Внешний вид дип-слайдов с результатами контроля биологической загрязненности оборотной воды системы охлаждения Калининградской ТЭЦ-2

Общее микробное число		Дрожжи и грибки	
			
10 <sup>5</sup> КОЕ/мл	10 <sup>4</sup> КОЕ/мл	10 <sup>3</sup> КОЕ/мл	10 <sup>3</sup> КОЕ/мл

При визуальном осмотре внутренних элементов градирен системы обратного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 на железобетонных опорах и перекрытиях были обнаружены биологические обрастания в виде слизи темно-зеленого цвета, которые покрывали до 80 % поверхности. Фотография элементов градирни СОО Калининградской ТЭЦ-2 представлена на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Фотография элементов градирни системы обратного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2

На основании результатов контроля биологической загрязненности можно сделать вывод, что общее микробное число в оборотной воде Калининградской ТЭЦ повышенное, но среди бактерий отсутствуют колиформные и термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, возбудители кишечных заболеваний и жизнеспособные яйца гельминтов. На элементах градирен присутствуют биологические отложения в виде слизи (биопленки), под которыми могут развиваться колонии анаэробных бактерий, приводящие к интенсификации коррозионных процессов металлов и конструкционных материалов градирен. Повышенному содержанию бактерий и их развитию в оборотной воде способствует отсутствие биоцидной обработки оборотной воды и подпиточной воды.



### **5.1.2. Исследование альтернативного водно-химического режима системы оборотного охлаждения на основе реагента ВТИАМИН ЭКО-1**

Анализ эксплуатационных данных по работе системы оборотного охлаждения с применением традиционных реагентов показал, что необходима разработка и промышленное внедрение новых реагентов для поддержания оптимального водно-химического режима СОО. С этой целью автором в составе коллектива был разработан и опробован, первоначально в лабораторных условиях экологически безопасный реагент, который решает задачи по исключению накипеобразования и одновременно обеспечивает антикоррозионную защиту оборудования.

После завершения первоначальных лабораторных испытаний разработанный реагент прошел промышленную апробацию в СОО Калининградской ТЭЦ-2.

Основные цели опытно-промышленных испытаний реагента:

1. Исследование эффективности реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» по снижению скорости коррозионных процессов и предотвращению процессов накипеобразования (образования минеральных отложений) на теплопередающих поверхностях в условиях работы стендовой установки с использованием реальной подпиточной (речной) воды действующей системы оборотного охлаждения конденсаторов паровых турбин и вспомогательного оборудования филиала «Калининградская ТЭЦ-2» АО «Интер РАО –Электрогенерация».

2. Подбор оптимальной дозировки реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» при различном качестве оборотной воды (режиме работы СОО).

Испытания разработанного реагента ВТИАМИН ЭКО-1 выполнялись на стендовой установке, размещенной в ЦНС. На всех этапах испытаний на стендовую установку подавалась вода, циркулирующая в СОО Калининградской ТЭЦ-2.

Опытно-промышленные испытания водно-химического режима СОО с применением реагента ВТИАМИН ЭКО-1 проводились в четыре этапа:

Этап №1: с 1 по 17 августа без применения реагента (холостой опыт);

Этап №2: с 25 сентября по 9 октября с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» и моделированием среднего качества оборотной воды при работе СОО с коэффициентом упаривания 2 ед.;

Этап №3: с 13 по 30 октября с применением увеличенной дозы реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» и моделированием среднего качества оборотной воды при работе СОО с коэффициентом упаривания 3 ед.

Этап №4: с 15 по 27 ноября с подбором оптимальной дозы реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» и моделированием среднего качества оборотной воды при работе СОО с коэффициентом упаривания 3 ед.

На Этапе испытаний №1 добавление реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в емкость стендовой установки не проводилось, на Этапах №2 и №3 реагент дозировался со средней дозировкой 8 и 25 мг/дм<sup>3</sup> на объем добавляемой в стенд подпиточной воды. На Этапе №4 подбиралась оптимальная дозировка реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» для обеспечения наилучшего технического и экономического эффекта, реагент дозировался периодически.

После окончания каждого этапа испытаний стенд отмывался от имеющихся отложений. Промывка проводилась с использованием 1÷5% раствора лимонной кислоты. После кислотной промывки стенд промывался двух кратным объемом подпиточной воды. Внешний вид стендовой установки представлен на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Внешний вид стендовой установки, моделирующей работу системы оборотного охлаждения.

Во время всех этапов стендовых испытаний осуществлялся ежедневный контроль качества оборотной и подпиточной воды по отмеченным во второй главе показателям.

На всех этапах испытаний наблюдалось постепенное увеличение электропроводности, жесткости, щелочности, содержания хлоридов и сульфатов в оборотной воде, связанное с упариванием воды на стендовой установке. На рис. 5.4 представлен график изменения кальциевой жесткости в оборотной и подпиточной воде.

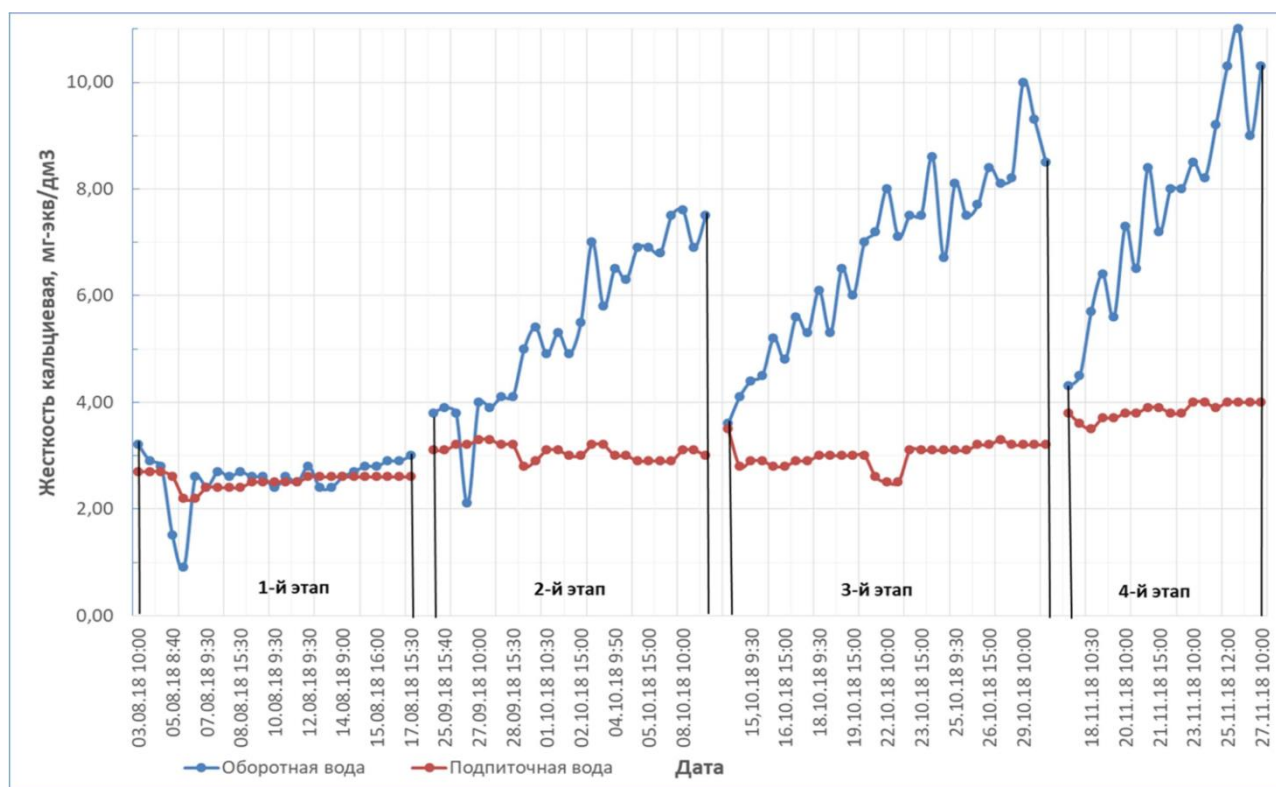


Рис. 5.4. График изменения кальциевой жесткости оборотной и подпиточной воды во время стендовых испытаний.

По представленным данным на рис. 5.4 видно, что на Этапе №1 в отсутствие реагентной обработки, значения кальциевой жесткости оборотной воды при упаривании практически были равны значениям кальциевой жесткости в подпиточной воде. Это объясняется тем, что без реагентной обработки оборотная вода обладает интенсивными накипеобразующими свойствами и происходит отложения солей (накипи) на теплопередающих поверхностях. На Этапах №2, №3 и №4 видны значительные отличия кальциевой жесткости в оборотной и подпиточной воде, схожие с изменением содержания хлоридов на данных этапах. Это связано с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1», препятствующим отложению солей



(накипи) на нагревательном элементе установки, в результате чего основной объем кальция продолжает циркулировать в оборотной воде.

График изменения коэффициентов упаривания в ходе стендовых испытаний представлен на рис. 5.5.

Из рис. 5.5 видно, что на Этапе №1 коэффициенты упаривания, рассчитанные по содержанию хлоридов, были в  $2,0 \div 3,0$  раза выше, чем коэффициенты упаривания, рассчитанные по значению кальциевой жесткости, что говорит о высокой накипеобразующей способности оборотной воды в отсутствие реагентной обработки. Среднее значение коэффициента упаривания по хлоридам на Этапе №1 составило 2,35 ед., а по кальциевой жесткости – 1,01 ед.

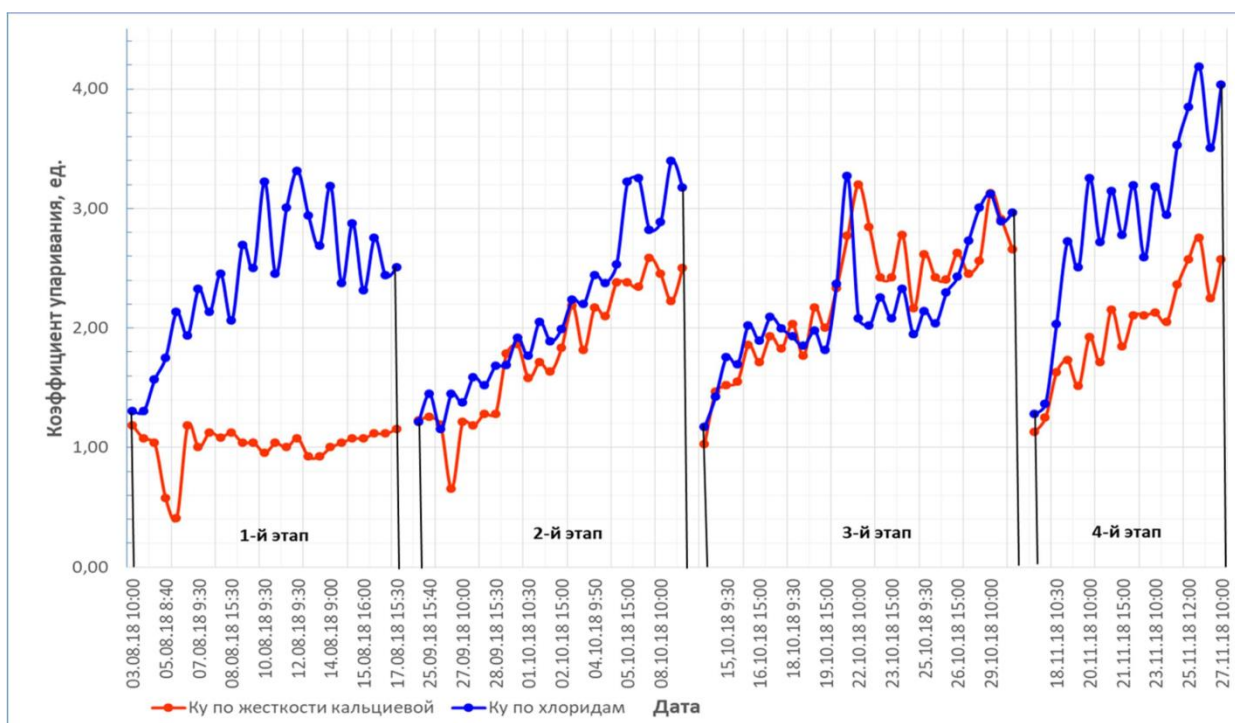


Рис. 5.5. График изменения коэффициентов упаривания, рассчитанных по кальциевой жесткости и содержанию хлоридов, во время стендовых испытаний.

На Этапе №2, при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке  $8 \text{ мг/дм}^3$ , коэффициенты упаривания, рассчитанные по содержанию хлоридов, были всего в  $1,1 \div 1,4$  раза выше, чем коэффициенты упаривания, рассчитанные по значению кальциевой жесткости, что говорит об эффективности реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» по предотвращению накипных отложений. Среднее значение коэффициента упаривания по хлоридам на Этапе №2 составило 2,13 ед., а по кальциевой жесткости – 1,79 ед.

На Этапе №3, при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 25 мг/дм<sup>3</sup>, коэффициенты упаривания, рассчитанные по содержанию хлоридов, и коэффициенты упаривания, рассчитанные по значению кальциевой жесткости, были практически равны. Также были отмечены случаи, когда коэффициент упаривания по кальциевой жесткости превышал значение коэффициента упаривания по хлоридам. Это подтверждает повышение эффективности реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» при увеличении его дозировки. Среднее значение коэффициента упаривания по хлоридам на Этапе №3 составило 2,19 ед., а по кальциевой жесткости – 2,26 ед.

На Этапе №4 среднее значение коэффициента упаривания по хлоридам составило 2,93 ед., а без учета данных за 16 и 17 ноября, когда происходил выход установки на рабочий режим, – 3,13 ед.

На Этапе №4 реагент «ВТИАМИН ЭКО-1» дозировался периодически, на основании данных по содержанию органических фосфатов в оборотной воде и на основании визуального мониторинга образования отложений на ТЭНе. Среднее содержание реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в оборотной воде на Этапе №4 составляло 9,54 мг/дм<sup>3</sup>. В ходе выполнения данного этапа наблюдалось значительное изменение качества подпиточной воды по рН, содержанию хлоридов, удельной электропроводности, жесткости, щелочности и другим показателям. По этой причине при отсутствии значительных отложений на ТЭН, наблюдалось расхождение в коэффициентах упаривания, рассчитанных по содержанию хлоридов и по значению кальциевой жесткости, а для расчета коэффициента транспорта кальция использовались данные по удельной электропроводности.

График изменения коэффициента транспорта кальция в ходе стендовых испытаний представлен на рис. 5.6.

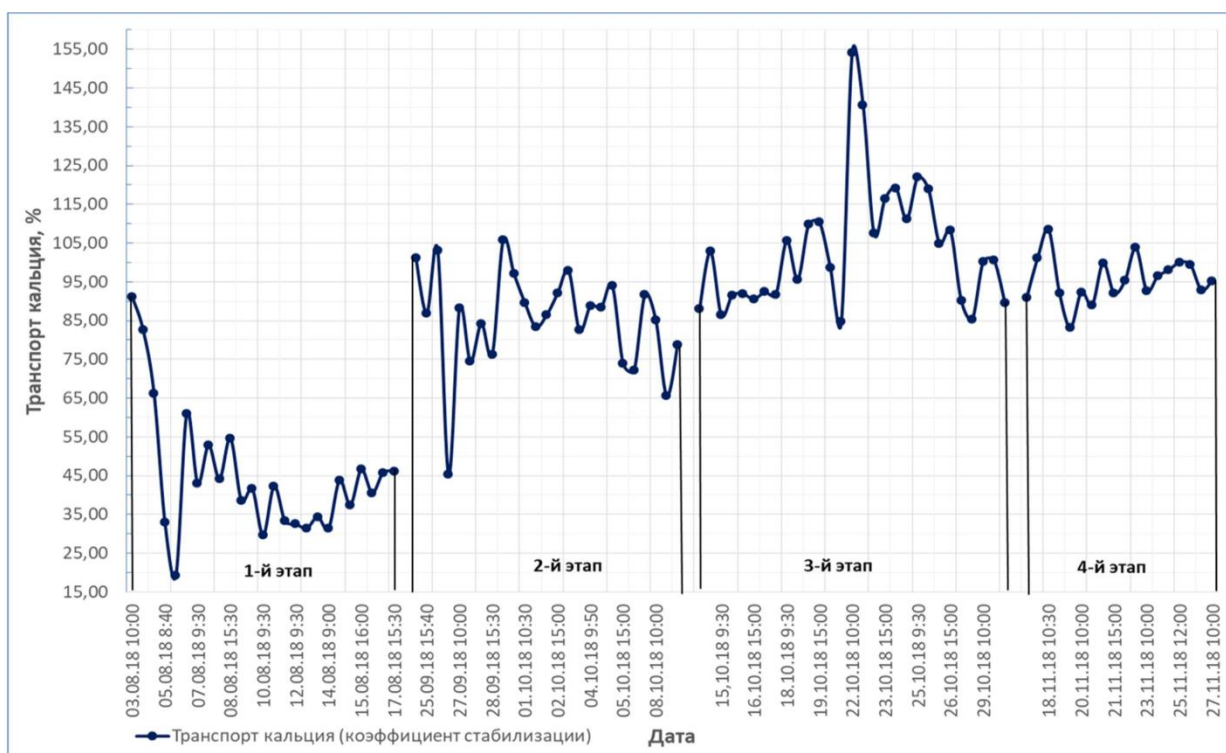


Рис. 5.6. График изменения транспорта кальция во время стендовых испытаний.

Из данных, представленных на рис. 5.6 видно, что на Этапе №1 среднее значение коэффициента транспорта кальция составило 44,87%. На основании этого значения можно сказать, что в результате работы стендовой установки без реагентной обработки и упаривания на ней оборотной воды, в среднем, 57,13% карбонатных солей выпали в виде отложений на теплонагревающей поверхности (ТЭН).

На Этапе №2 при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 8 мг/дм<sup>3</sup>, среднее значение коэффициента транспорта кальция составило 85,29%, т.е. на теплонагревающей поверхности в виде отложений выпало только 14,71% карбонатных солей.

При применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 25 мг/дм<sup>3</sup> на Этапе №3, среднее значение коэффициента транспорта кальция составило 103,73%, т.е. основной объем карбонатов оставался в воде. При этом на Этапе №3 было отмечено, что при использовании больших доз реагента, происходило образование фосфатных отложений на ТЭНе.

Поэтому на Этапе №4 реагент «ВТИАМИН ЭКО-1» дозировался периодически, в зависимости от содержания органических фосфатов в оборотной воде. В результате этого на Этапе №4 удалось получить значение коэффициента

транспорта кальция на уровне 95 % и обеспечить практически полное отсутствие отложений на ТЭНе.

Среднее содержание сульфатов на Этапе №1 в оборотной воде составило 49,63 мг/дм<sup>3</sup>, в подпиточной – 21,40 мг/дм<sup>3</sup>; на Этапе №2 – 34,33 мг/дм<sup>3</sup> и 24,00 мг/дм<sup>3</sup> соответственно; на Этапе №3 – 86,00 мг/ дм<sup>3</sup> и 27,85 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. На Этапе №4 – 92,00 мг/дм<sup>3</sup> и 52,00 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Данные значения указывают на то, что при применении реагента «ВТИАМИНЭКО-1» не происходит дополнительного увеличения содержания сульфатов в оборотной воде, и их рост ограничивается только значением коэффициента упаривания, в отличие от режима с применением серной кислоты для подкисления оборотной воды.

Контроль за дозировкой реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» на Этапе №2, №3 и №4 в оборотной воде осуществлялся по содержанию органических фосфатов. На основании значений органических фосфатов велся расчет содержания основных компонентов реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в оборотной воде. На рис. 5.7 представлен график изменения содержания органических фосфатов в оборотной и подпиточной воде на Этапе №2, №3 и №4.

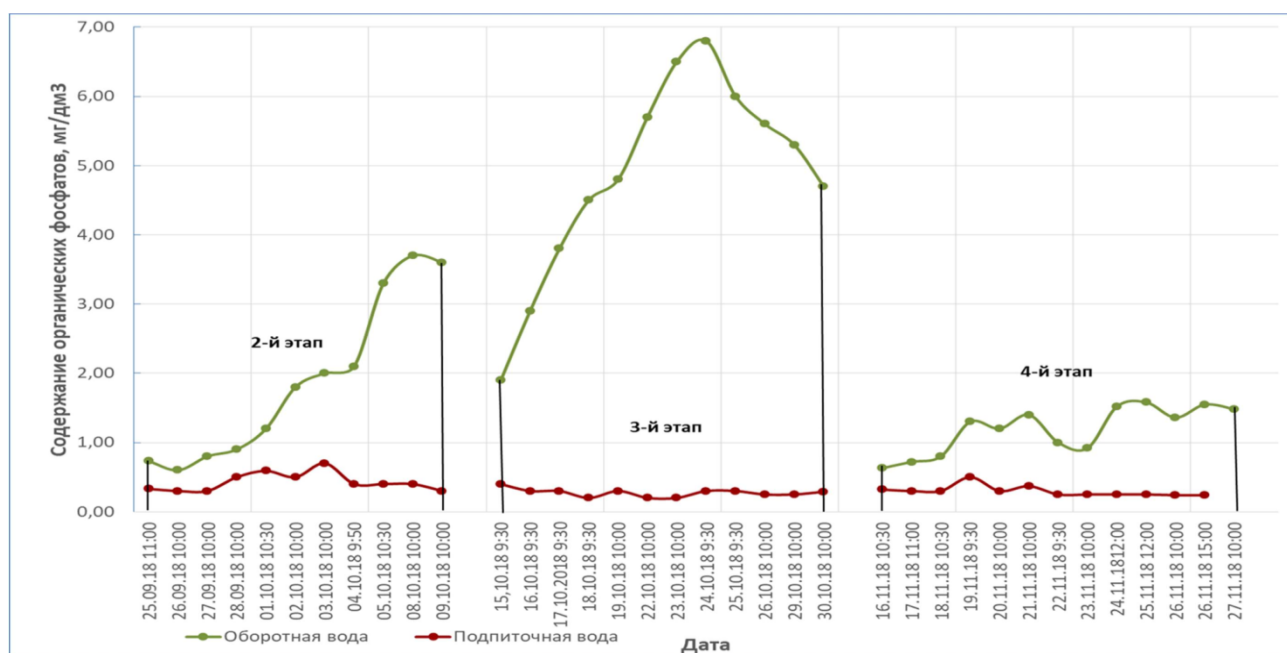


Рис. 5.7. График изменения содержания органических фосфонатов на Этапе №2, №3 и №4 стеновых испытаний

Из данных, отображенных на рис. 5.7 видно, что на Этапе №2 содержание органических фосфатов в подпиточной воде в среднем составляло 0,43 мг/дм<sup>3</sup>, а максимальное значение – 0,70 мг/дм<sup>3</sup>. На Этапе №3 среднее содержание

органических фосфатов в подпиточной воде составляло  $0,27 \text{ мг/дм}^3$ , а максимальное значение –  $0,40 \text{ мг/дм}^3$ . На Этапе №4 среднее содержание органических фосфатов в подпиточной воде составляло  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ , а максимальное значение –  $0,50 \text{ мг/дм}^3$ .

Высокое фоновое содержание органических фосфатов в подпиточной воды при работе СОО на коэффициентах упаривания 2-3 ед. может способствовать накоплению органических фосфатов в оборотной воде на уровне  $0,6\text{-}2,1 \text{ мг/дм}^3$ . При этом невозможно точно установить природу происхождения данных фосфатов, а также их влияние на эффективность коррекционной обработки оборотной воды системы оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2.

Для оценки коррозионной агрессивности оборотной воды, циркулирующей в стендовой установке, применялся гравиметрический метод контроля, заключающийся в определении потери массы образцов-свидетелей скорости коррозии (купонов), изготовленных из углеродистой стали (Ст. 20) и латуни.

В табл. 5.4 представлен внешний вид образцов после проведенных испытаний.

Таблица 5.4. Внешний вид образцов-свидетелей скорости коррозии после испытаний

Наименование этапа	Этап №1			Этап №2			Этап №3			Этап №4		
	3-17 августа 2018 г.			25 сентября – 9 октября 2018 г.			12-30 октября 2018 г.			15-27 ноября 2018 г.		
Период экспозиции												
Материал	Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Ст. 20	Латунь
Внешний вид												
Скорость коррозии, мм/год	0,2436	0,1386	0,0235	0,1328	0,0024	0,0195	0,0085	0,0112	0,0034	0,0138	0,0896	0,0165

С целью определения антикоррозионной эффективности реагента выполнялся расчет скорости коррозии:

$$V_{кор} = \frac{8760 \cdot 10 \cdot (m_0 - m)}{S \cdot t \cdot \rho}, \text{ мм/г}, \quad (5.1)$$

где  $m_0$ ,  $m$  – масса образца до и после экспозиции, г;  $S$  – площадь образца, см<sup>2</sup>;

$t$  – время экспозиции образца, час;  $\rho$  – плотность материала образца, г/см<sup>3</sup>;

8760 – установленное число часов работы оборудования в год, ч/год.

Как видно из представленных данных, визуальный осмотр образцов-свидетелей из углеродистой стали (Ст. 20) после завершения этапа №1 без реагентной обработки показал, что коррозионные повреждения образцов значительные, коррозия носит местный (неравномерный) характер. Средняя скорость коррозии по двум образцам из углеродистой стали превысила нормативное значение (0,1 мм/год) и составила 0,1911 мм/год. На поверхности образца из латуни явных коррозионных поражений обнаружено не было.

Визуальный осмотр образцов-свидетелей из углеродистой стали (Ст. 20) после завершения этапа №2 с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 8 мг/дм<sup>3</sup> показал, что коррозионные повреждения образцов незначительные.

После завершения этапа №3 с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 25 мг/дм<sup>3</sup> показал, что явных коррозионных поражений образцов выявлено не было, коррозия носит общий равномерный характер.

После завершения этапа №4 с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в оптимальной дозировке и со средним содержанием в оборотной воде на уровне 9,54 мг/дм<sup>3</sup> было установлено, что средняя скорость коррозии по двум образцам из углеродистой стали не превысила нормативное значение (0,1 мм/год) и составила 0,0517 мм/год. На поверхности образца из латуни явных коррозионных повреждений обнаружено не было.

На рис. 5.8 представлена диаграмма изменений значений скорости коррозии в ходе стендовых испытаний.



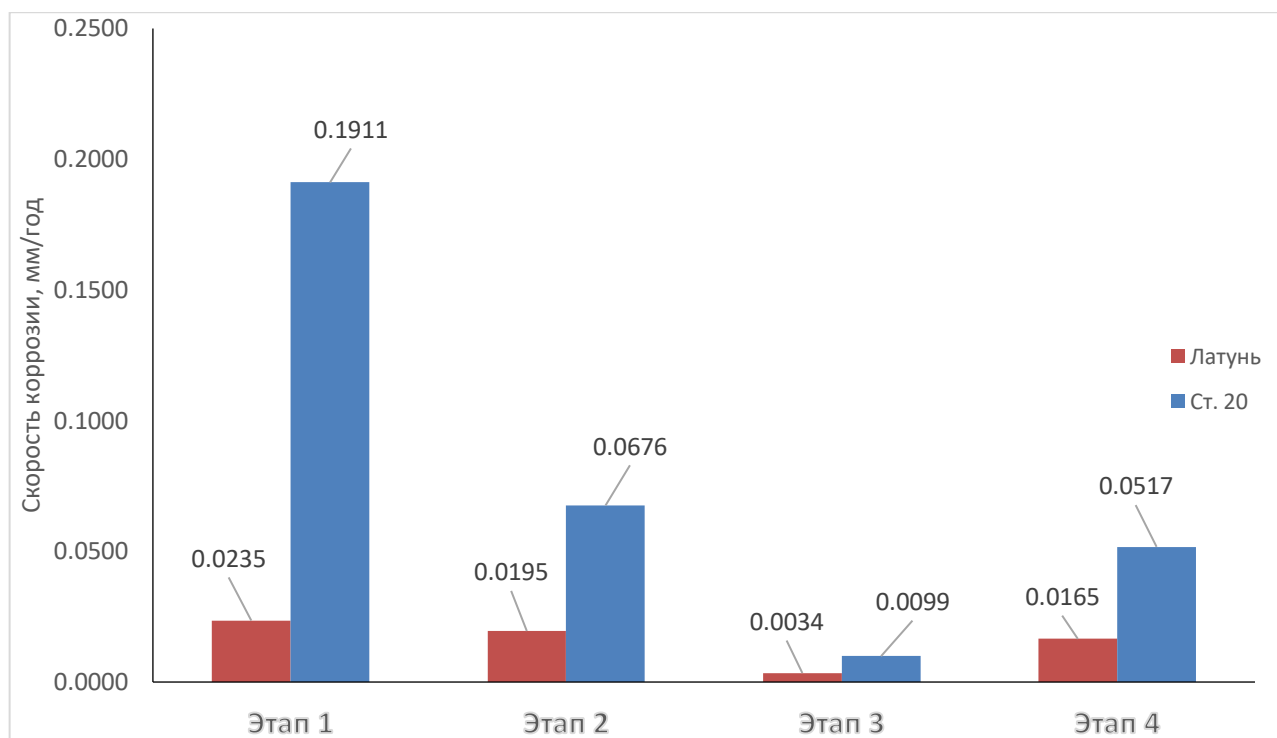


Рис. 5.8. Изменение значений скорости коррозии в ходе стендовых испытаний.

По данным, представленным на рис. 5.8, видно, что на Этапе №1 безреагентной обработки оборотная вода обладает повышенной коррозионной агрессивностью по отношению к углеродистой стали. При этом по отношению к латуни вода обладает средней коррозионной агрессивностью. На Этапе №2 при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 8 мг/дм<sup>3</sup>, удалось снизить скорость коррозии углеродистой стали в 3 раза (по сравнению с Этапом №1) и обеспечить достижение ее значения ниже нормативного (0,1 мм/год). Скорость коррозии латуни на Этапе №2 также уменьшилась по сравнению с этапом №1, но незначительно. На Этапе №3 при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 25 мг/дм<sup>3</sup>, удалось снизить скорость коррозии углеродистой стали в 19 раз (по сравнению с Этапом №1), а скорость коррозии латуни снизилась в 7 раз. На Этапе №4 удалось снизить скорость коррозии углеродистой стали в 3,7 раза по сравнению с Этапом №1, а скорость коррозии латуни снизилась в 1,42 раза.

Оценка накипеобразующих свойств оборотной воды во время стендовых испытаний проводилась гравиметрическим методом по приросту массы на основании результатов взвешивания теплового электронагревателя (ТЭНа) и образцов-свидетелей из нержавеющей стали с отложениями и без них.

На рис. 5.9 представлена диаграмма изменений значений линейной скорости отложений в ходе стендовых испытаний.

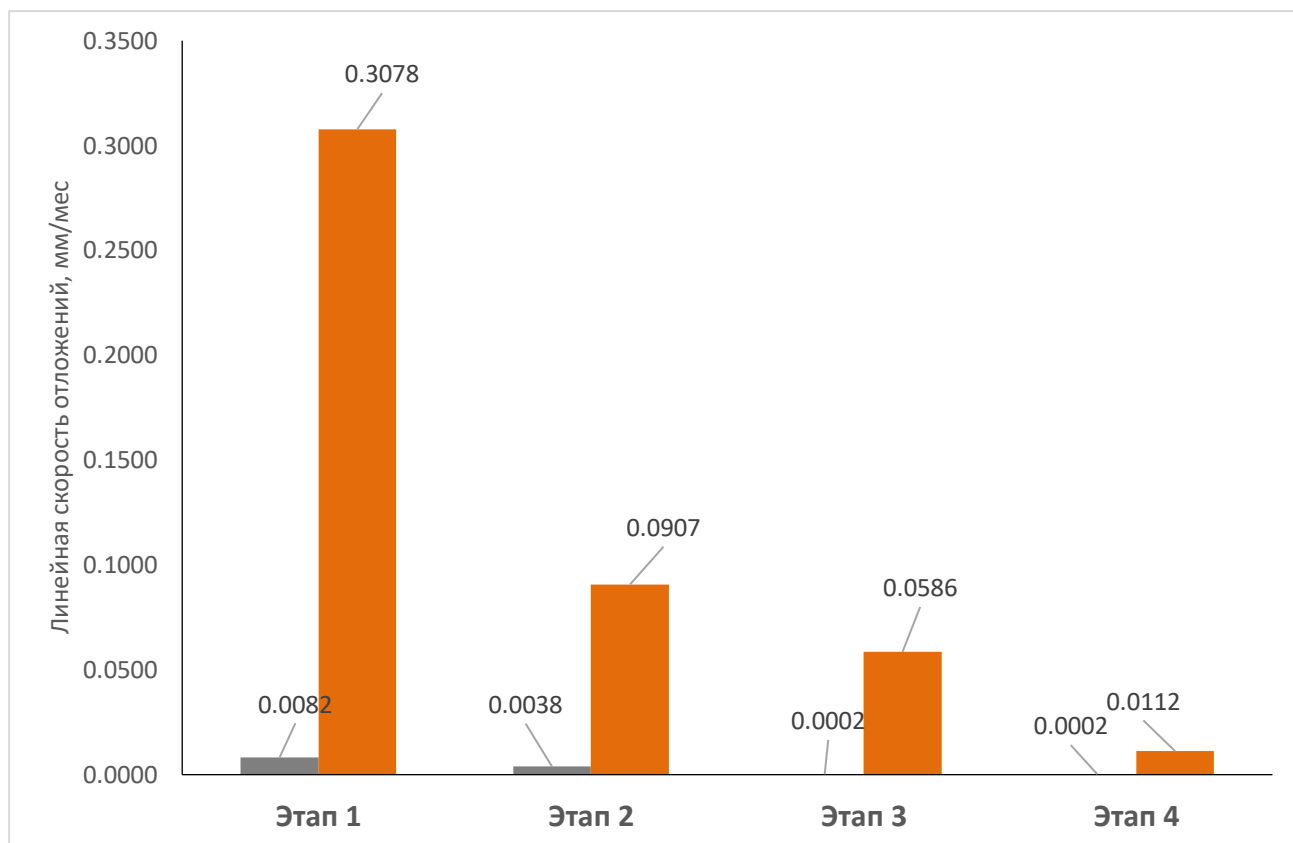


Рис. 5.9. Изменение значений линейной скорости солеотложений в ходе стендовых испытаний.

По данным, отраженным рис. 5.9, видно, что на Этапе №1 безреагентной обработки обратная вода обладает повышенной накипеобразующей способностью по отношению к теплообменным поверхностям. На Этапе №2 при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 8 мг/дм<sup>3</sup>, удалось снизить линейную скорость образования отложений в 3,4 раза по сравнению с Этапом №1 и обеспечить приближение ее значения к нормативному значению 0,08 мм/мес. На Этапе №3 при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 25 мг/дм<sup>3</sup>, удалось снизить скорость образования отложений в 5,25 раза по сравнению с Этапом №1. На Этапе №4 при среднем содержании реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в обратной воде на уровне 9,54 мг/дм<sup>3</sup> удалось снизить скорость образования отложений на ТЭНе в 27,5 раз по сравнению с Этапом №1. Скорость образования отложений по образцу-свидетелю из нержавеющей стали на всех этапах была ниже нормативного значения.

В ходе испытания реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» для анализа обратной воды стендовой установки на содержание колиформных и термотолерантных колиформных бактерий, колифагов, возбудителей кишечных заболеваний и жизнеспособных яиц гельминтов пробы воды отбирались сотрудниками «Центра



гигиены и эпидемиологии» в накопительном баке. В соответствии с заключением эксперта, образец оборотной воды со стандовой установки по исследуемым показателям не превышает допустимые уровни гигиенических нормативов и соответствует требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

В результате проведенных стандовых испытаний была установлена оптимальная концентрация реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в оборотной воде. Прогнозируемая потребность в реагенте для коррекционной обработки системы оборотного охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт рассчитывалась для летнего и зимнего режимов работы системы с учетом накопления реагента в оборотной воде. Результаты расчетов представлены в табл.5.5.

**Таблица 5.5. Расчет прогнозируемой потребности в реагенте «ВТИАМИН ЭКО-1» для обработки системы оборотного охлаждения ТЭЦ с ПГУ-450 МВт при коэффициенте упаривания 3 ед.**

Режим работы	Наименование реагента	Дозировка/режим дозирования	Потребность, кг
Летний (6 месяцев)	Ингибитор коррозии и накипеобразования «ВТИАМИН ЭКО-1»	100 кг одновременно, далее 4,0 кг/час непрерывно.	17 572,00
Зимний (6 месяцев)		100 кг одновременно, далее 3,6 кг/час непрерывно.	15 825,00
ИТОГО на год:			33 397,00

На основании данных, полученных в результате выполнения научно-исследовательских работ по идентификации применения альтернативных реагентов для стабилизационной обработки воды системы оборотного охлаждения ТЭЦ с ПГУ-450 МВт, было рассчитано четыре технико-экономических варианта.

### **5.1.3. Расчет технико-экономических параметров различных модификаций водного режима системы оборотного охлаждения**

Для оценки технико-экономических показателей по выбору наиболее оптимального метода коррекционной обработки воды СОО на основе разработанной математической модели были выполнены расчеты различных режимов работы СОО.

#### Отсутствие коррекционной обработки (вариант 1)

В данном случае какая-либо коррекционная обработка оборотной воды системы охлаждения ТЭЦ отсутствует. Такой режим был смоделирован во время опытно-промышленных испытаний на стандовой установке. Система оборотного охлаждения работает при коэффициенте упаривания  $1,5 \div 2$  ед. При этом оборотная

вода обладает повышенной коррозионной агрессивностью и накипеобразующей способностью. Реагентное хозяйство не требуется, прогнозируемое количество механических чисток оборудования (остановок на ремонт), с учетом линейной скорости образования отложений, составляет 4 раза в год.

#### Существующая коррекционная обработка (вариант 2)

Данный вариант характеризует существующий режим работы системы оборотного охлаждения ТЭЦ, при котором для коррекционной обработки применяется ОЭДФК и серная кислота. Потребность в ОЭДФК составляет 3,25 т/год, в серной кислоте - 36 т/год. Ограничением по применению существующей программы коррекционной обработки является содержание фосфатов и сульфатов в продувочной (сточной) воде. Частота механических чисток конденсаторов и вспомогательного теплообменного оборудования составляет 1 раз в год. Из-за низкой эффективности механических чисток остаточная толщина карбонатных отложений составляет до 0,5 мм.

#### Эффективная коррекционная обработка оборотной воды с применением ОЭДФК и серной кислоты (вариант 3)

При оценке данного варианта прогнозирование расхода ОЭДФК и серной кислоты велось при помощи математической модели (программы для ЭВМ) системы оборотного охлаждения, разработанной специалистами ОАО «ВТИ» при участии автора. При расчете технико-экономических показателей для коррекционной обработки, при которой применяется ОЭДФК и серная кислота, учитывался режим дозировки реагентов в количествах, обеспечивающих безнакипный режим работы оборудования. При этом расчетная потребность в ОЭДФК составит 3,25 тонн в год, в серной кислоте – 429 тонн в год. По данному сценарию прогнозируется повышение коррозионной агрессивности оборотной воды, увеличение содержания сульфатов в продувочной (сточной) воде и как следствие – образование сульфатных отложений на теплообменном оборудовании. Частота механических чисток конденсаторов и вспомогательного теплообменного оборудования составляет 1 раз в год.

#### Применение ингибитора коррозии и накипеобразования «ВТИАМИН ЭКО-1» (вариант 4)

Данный сценарий прогнозирует применение реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» для коррекционной обработки оборотной воды системы охлаждения ТЭЦ с ПГУ-450

МВт. Расчет потребности в реагенте и технический эффект от его применения определялись на основании проведенных стендовых испытаний. Потребность в реагенте «ВТИАМИН ЭКО-1» составит около 33,6 тонн в год. Частота механических чисток конденсаторов и вспомогательного теплообменного оборудования составляет не чаще 1 раза в 3 года.

Для разработки технико-экономического обоснования использовались исходные данные по техническим параметрам и параметрам работы конденсатора, существующие данные по стоимости и периодичности механических чисток конденсаторов и вспомогательного теплообменного оборудования, данные по количеству и стоимости сбросов сточных вод. В соответствии с РД 34.30.501 [10] проводился расчет прогнозируемого углубления вакуума в конденсаторе и прироста мощности турбины при существующей и прогнозируемой интенсивности образования накипных отложений. В табл. 5.6 представлены некоторые результаты технико-экономического расчета для четырех возможных вариантов.

Таблица 5.6. Технико-экономические параметры для четырех вариантов водного режима СОО ТЭЦ

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Применяемые химические реагенты				
Применяемая коррекционная обработка оборотной воды:	Нет	ОЭДФК Серная кислота	ОЭДФК Серная кислота	Ингибитор коррозии и накипеобразования «ВТИАМИН ЭКО-1»
Потребность, кг/год:	Нет	3250 36 000	3250 429 080	33 397
Коэффициент чистоты конденсатора, а	0,5	0,7	0,65	0,85
Коэффициент упаривания	1,5	2,0	3,0	3,0
Углубление вакуума в конденсаторе, $\Delta p$ (кгс/см <sup>2</sup> )	0,00397	0,0184	0,0159	0,0244
Прирост мощности турбины, $\Delta N$ (кВт)	198,5	920	797,5	1222

Прирост мощности паровой турбины определяется по отношению к существующему водному режиму СОО с коэффициентом упаривания, в среднем за 2017-2018 года составившим 2,8 ед. Из данных табл.5.6 следует, что при работе системы оборотного охлаждения по варианту 4 с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» для коррекционной обработки воды СОО ТЭЦ с ПГУ-450 МВт, углубление величины вакуума в конденсаторе ( $\Delta p$ ) и прирост мощности турбины ( $\Delta N$ ) имеют максимальное значение. Можно предположить, что расходы на

закупку химических реагентов возрастут, но при этом исключается необходимость в эксплуатации громоздкого реагентного хозяйства, исключается применение токсичной и опасной серной кислоты, а также исключаются затраты, необходимые для ремонта дозирующих узлов.

Дозирование «ВТИАМИН ЭКО-1» в данном случае будет осуществляться из товарных емкостей при помощи мембранных дозирующих насосов. Использование реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» позволит поддерживать безнакипный режим работы системы оборотного охлаждения при коэффициенте упаривания на уровне 3 ед. При этом экологические риски будут минимальными, что сократит штрафные выплаты за превышение норм ПДК на сброс фосфатов и сульфатов.

#### **5.1.4. Выводы по результатам опытно-промышленных испытаний реагента ВТИАМИН ЭКО-1**

В результате испытаний по применению ингибитора коррозии и накипеобразования «ВТИАМИН ЭКО-1» и технико-экономического анализа было установлено следующее:

1. Подпиточная вода ТЭЦ с ПГУ-450 МВт при упаривании в СОО без применения коррекционной (реагентной) обработки обладает повышенной накипеобразующей способностью и коррозионной агрессивностью по отношению к углеродистым сталям и средней накипеобразующей способностью и коррозионной агрессивностью по отношению к латуни;

2. При применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в оптимальной дозировке, по сравнению с безреагентным опытом, удалось снизить скорость коррозии углеродистой стали в 3,7 раза, линейную скорость образования отложений в 27,5 раза, обеспечить коэффициент транспорта кальция на уровне 95,72%, не превышая при этом нормативы по основным компонентам реагента для водных объектов рыбохозяйственного назначения;

3. Реагент «ВТИАМИН ЭКО-1» при среднем содержании в оборотной воде на уровне 9,54 мг/дм<sup>3</sup> доказал свою эффективность по защите от коррозии и предотвращению накипеобразования. Расчетная потребность в реагенте составляет 33 397 кг/год.

4. Применение реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» является наиболее оптимальным решением с технической и экономической точки зрения. При его использовании за

счет снижения интенсивности накипеобразования в трубках конденсатора, прогнозируемый расчетный прирост мощности одной турбины будет максимальным по сравнению с существующим типом коррекционной обработки и достигает  $\Delta N = 1220$  кВт (Приложение №6).

5. Применение реагента ВТИАМИН ЭКО-1 показало, что проба оборотной воды со стендовой установки по исследуемым показателям не превышает допустимые уровни гигиенических нормативов и соответствует требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

6. Применение реагента ВТИАМИН ЭКО-1 обеспечивает отказ от применения токсичной неорганической серной кислоты, что позволяет сократить негативное воздействие на окружающую среду.

7. Отказ от применения серной кислоты позволяет исключить громоздкое оборудование, которое необходимо для обеспечения дозирования серной кислоты в СОО.

8. Переход на водно-химический режим с применением реагента ВТИАМИН ЭКО-1 позволяет сократить ремонтные и эксплуатационные затраты.

## **5.2. Исследование применения реагента марки ВТИАМИН в СОО филиалов ООО «Башкирская генерирующая компания»**

Помимо разработки и внедрения нового реагента для ведения водно-химического режима СОО Калининградской ТЭЦ-2 автор принимал активное участие во внедрении эффективных реагентов на ТЭЦ ООО «Башкирская генерирующая компания» (ООО «БГК»).

Выполнение работ по внедрению реагентов отечественной разработки марки ВТИАМИН было начато в 2017 г. в рамках проведения программы импортозамещения на филиалах ООО «БГК» и заключалось в замене импортных реагентов KURITA EUROPE GmbH на объектах генерации: Салаватская ТЭЦ, Приуфимская ТЭЦ, Уфимская ТЭЦ-1 (производственная площадка ТЭЦ-4).

Основными целями импортозамещения ингибиторов коррозии и накипеобразования на отечественные аналоги являлись:

– нахождение оптимальных условий, при которых обеспечивается стабильный водно-химический режим оборотной системы охлаждения.

- борьба с накипеобразованием, коррозией и микробиологическим обрастанием СОО.
- исследование возможности увеличения эффективности применения предложенной реагентной обработки. Подбор альтернативных путей оптимизации ВХР и повышения надежности и эффективности работы СОО в случае необходимости.
- независимость стратегической энергетической отрасли РФ от зарубежных поставщиков при использовании реагентов отечественной разработки марки ВТИАМИН.

### **5.2.1. Выполнение опытно-промышленных испытаний новой реагентной обработки системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ ООО «БГК»**

В ходе выполнения работ, аналогичных описанным выше (раздел 5.1.3), был проведен расчет экономического эффекта при переходе на стабилизационную обработку СОО отечественными реагентами марки ВТИАМИН взамен применявшихся ранее импортных реагентов марки KURITA, а также произведен теплотехнический расчет режима работы турбогенератора ТП-60-90 и расчет эффективности работы конденсатора.

Дозирование ВТИАМИНа осуществлялось в период 07.09.18 - 01.10.18.

В ходе внедрения реагента ВТИАМИН ТС-5 автор совместно со специалистами ООО «ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» обратили внимание на то, что динамика изменения концентраций хлоридов и кальция в циркуляционной воде не пропорциональна изменению величины солесодержания. Ниже приведены графики изменения по анализируемым показателям рис. 5.10, 5.11.

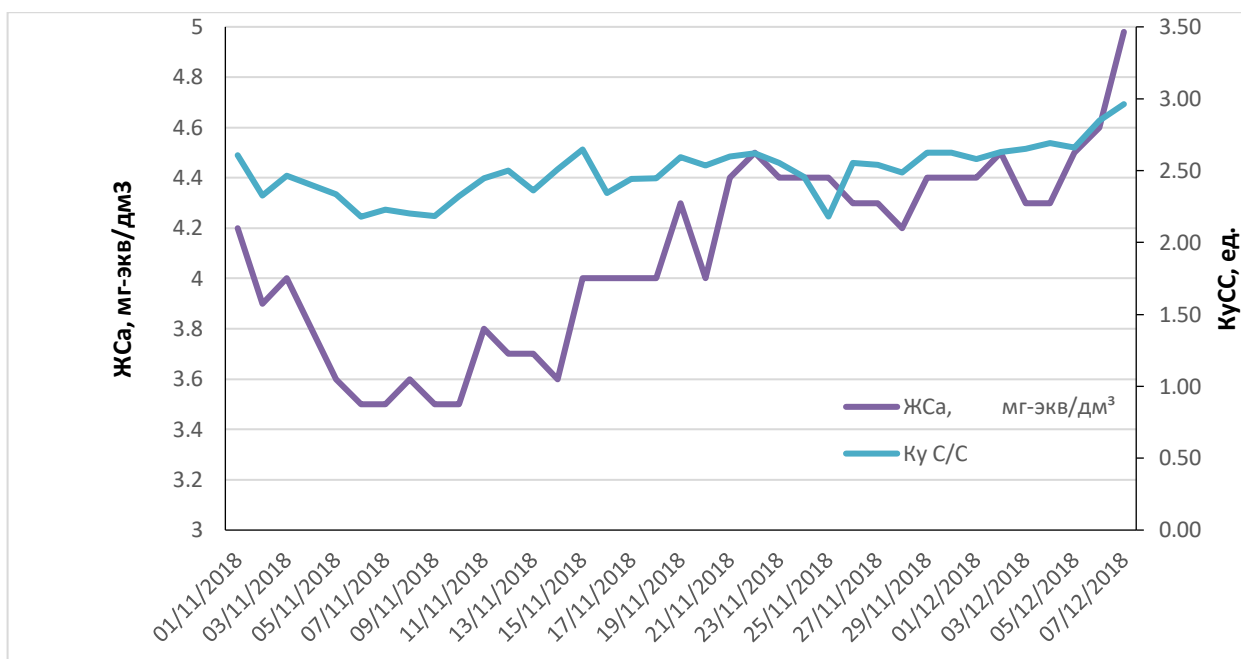


Рис. 5.10. Изменение коэффициента упаривания по солесодержанию и кальциевой жесткости в период испытаний

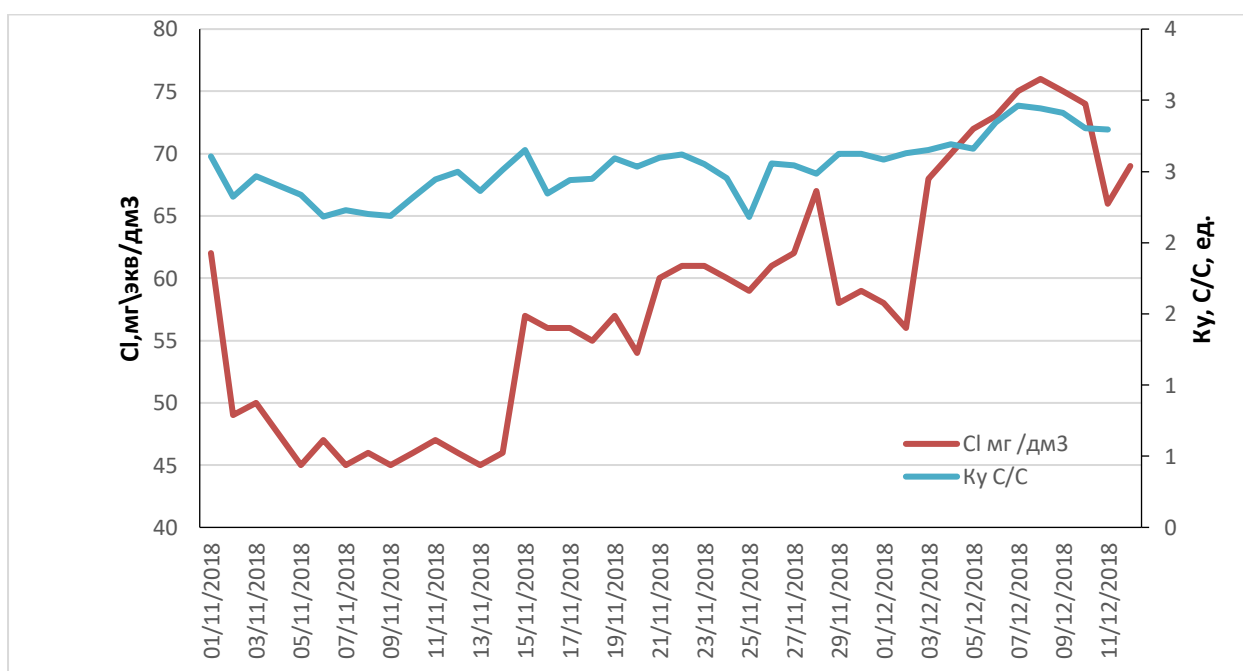


Рис. 5.11. Изменение коэффициента упаривания по солесодержанию и хлоридам в период испытаний

При упаривании в открытой оборотной системе концентрации веществ изменяются пропорционально коэффициенту упаривания. В случае отсутствия данной закономерности можно судить о попадании в систему кроме речной воды других потоков с другим отличающимся качеством (например, продувка котлов, промывные воды и т.д.). На приведенных рис. 5.10 и 5.11 наблюдается отсутствие пропорционального изменения контролируемых параметров. Соответственно расчет

коэффициента упаривания по речной и циркуляционной воде несет в себе существенную погрешность.

На основании обнаруженного попадания в СОО Салаватской ТЭЦ потоков воды, отличных по качеству от подпиточной речной (например, сетевой, артезианской, котловой и т.д.), было принято решение показатель транспорта кальция оставить в качестве информационного, а основной контроль за работой системы вести по индексу Ланжелье.

Также было установлено, что продувку системы необходимо осуществлять при достижении индекса Ланжелье 2,7 (при более высоких значениях индекса есть риск переосаждения взвешенных веществ, а также перерасход реагента будет не оправдан).

Согласно данным аналитического химического контроля за период с января по февраль 2019 г. значение индекса Ланжелье и коэффициента упаривания находятся в нормируемых пределах рис. 5.12.

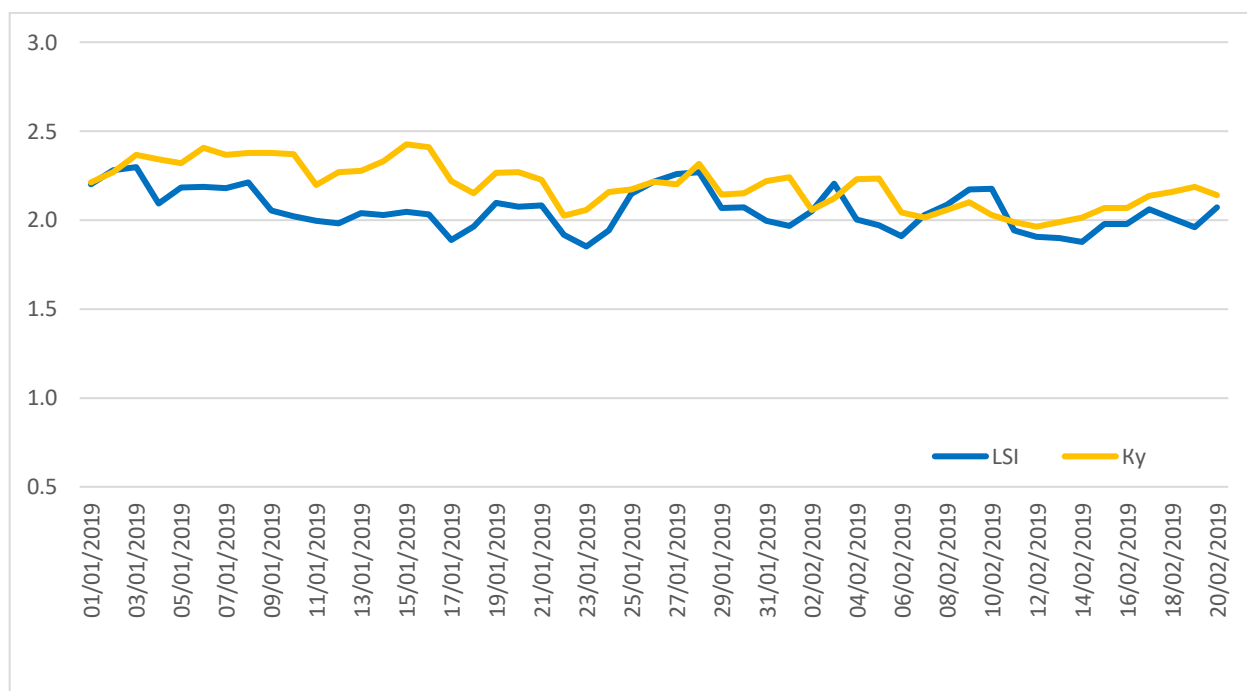


Рис. 5.12. Изменение Индекса Ланжелье и коэффициента упаривания за период испытаний

В период дозирования ВТИАМИН ТС-5 с апреля по июль 2019 года, была отмечена стабилизация значения транспорта кальция, связанная с прекращением попадания в систему сторонних потоков воды, о чем свидетельствуют данные водно-химического контроля, предоставленные Салаватской ТЭЦ (рис.5.13).



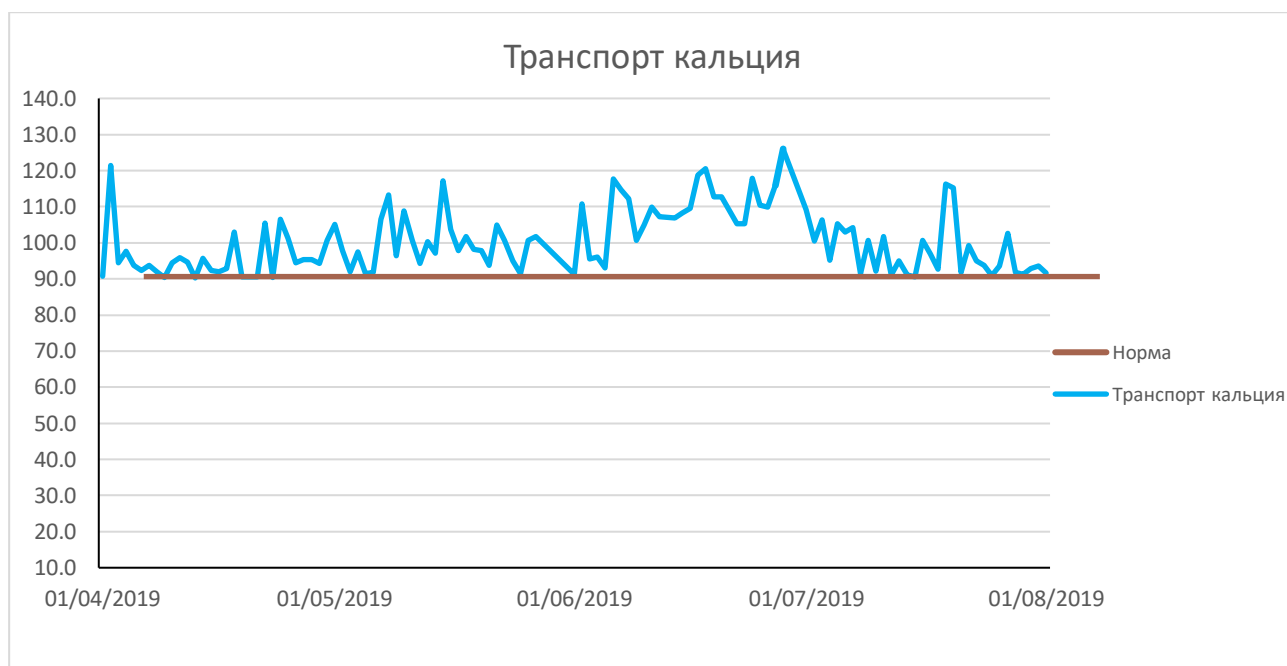


Рис. 5.13. График изменения транспорта кальция в период работы апрель – май.

### 5.2.2. Технико-экономический расчет применяемой обработки системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ ООО «БГК»

С целью проведения оценки эффективности обработки реагентом марки ВТИАМИН СОО Салаватской ТЭЦ автором был произведен технико-экономический расчет применяемой обработки [11,36,75,75-78,84,88]. Результаты представлены в табл. 5.10 и на рис. 5.14-5.16. Методика расчета и обработка результатов исследований приведены в Приложении 7.

Таблица 5.10. Усредненные значения экспериментальных данных

Расход пара в конденсатор $D_2$ , т/ч	15	20	25	30	35	40	45
	Температурный напор $\Delta t$ , °С						
Начальный период	13,6	12,8	12,2	11,9	11,7	11,4	11,4
Конечный период	11,2	9,7	8,2	6,8	5,3	3,8	2,4
Уменьшение температурного напора	2,4	3,1	4	5,1	6,4	7,6	9
	Вакуум в конденсаторе $V$ , %						
Начальный период	94,89	94,76	94,63	94,50	94,37	94,24	94,11
Конечный период	94,99	94,92	94,86	94,79	94,73	94,66	94,59
Углубление вакуума в конденсаторе	-0,094	-0,160	-0,225	-0,291	-0,356	-0,422	-0,487
	Абсолютное давление в конденсаторе $P_k$ , ата						
Начальный период	0,0510	0,0525	0,0540	0,0555	0,0570	0,0585	0,0600
Конечный период	0,0499	0,0509	0,0519	0,0529	0,0539	0,0549	0,0559
Уменьшение абсолютного давления в конденсаторе	0,0011	0,0016	0,0021	0,0026	0,0031	0,0036	0,0041
	Электрическая мощность, $\Delta N_2$ кВт						
Конечный период	5697,2	7275,2	8853,3	10431,3	12009,4	13587,4	15165,5
Начальный период	1	6	1	6	1	6	1
Увеличение мощности турбогенератора	5797,7	7576,3	9354,9	11133,5	12912,1	14690,7	16469,3
	100,49	301,04	501,59	702,14	902,69	1103,24	1303,79

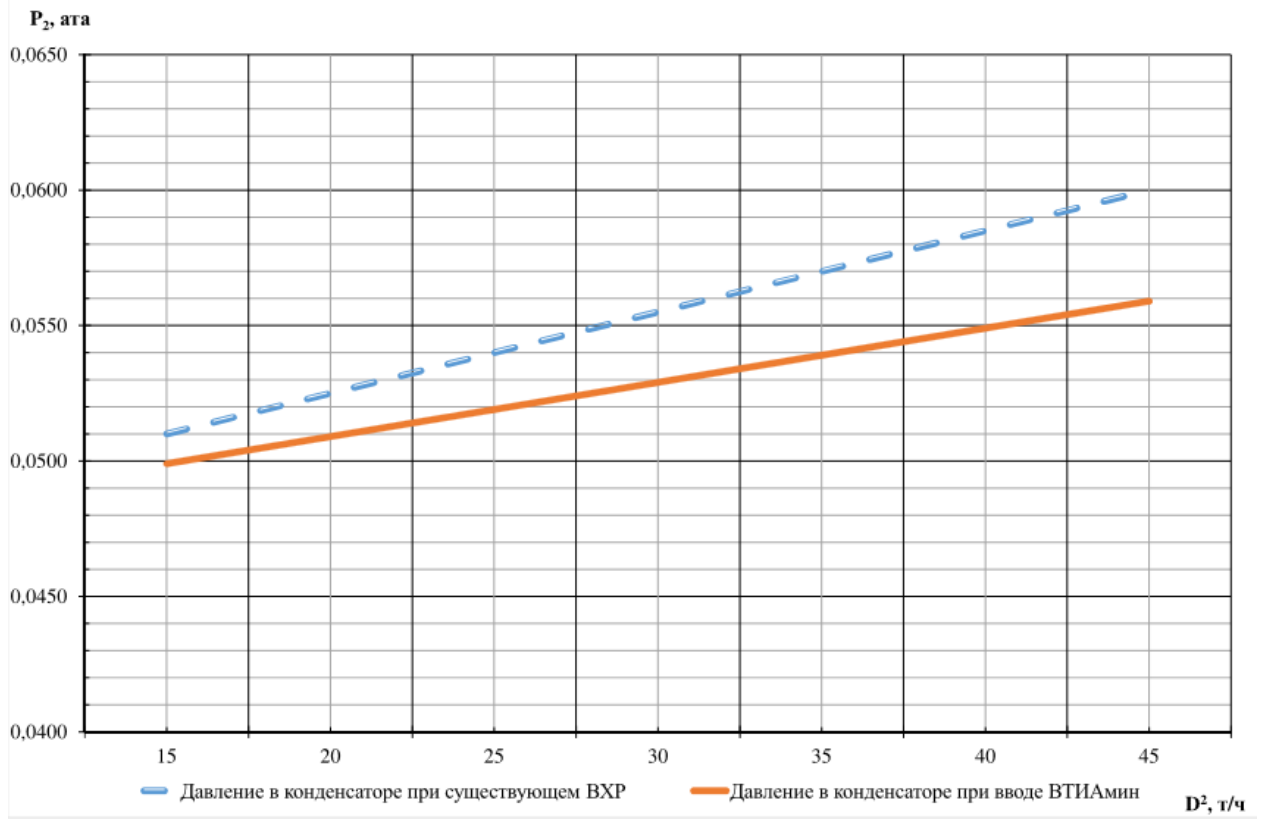


Рис. 5.14. Абсолютное давление в конденсаторе

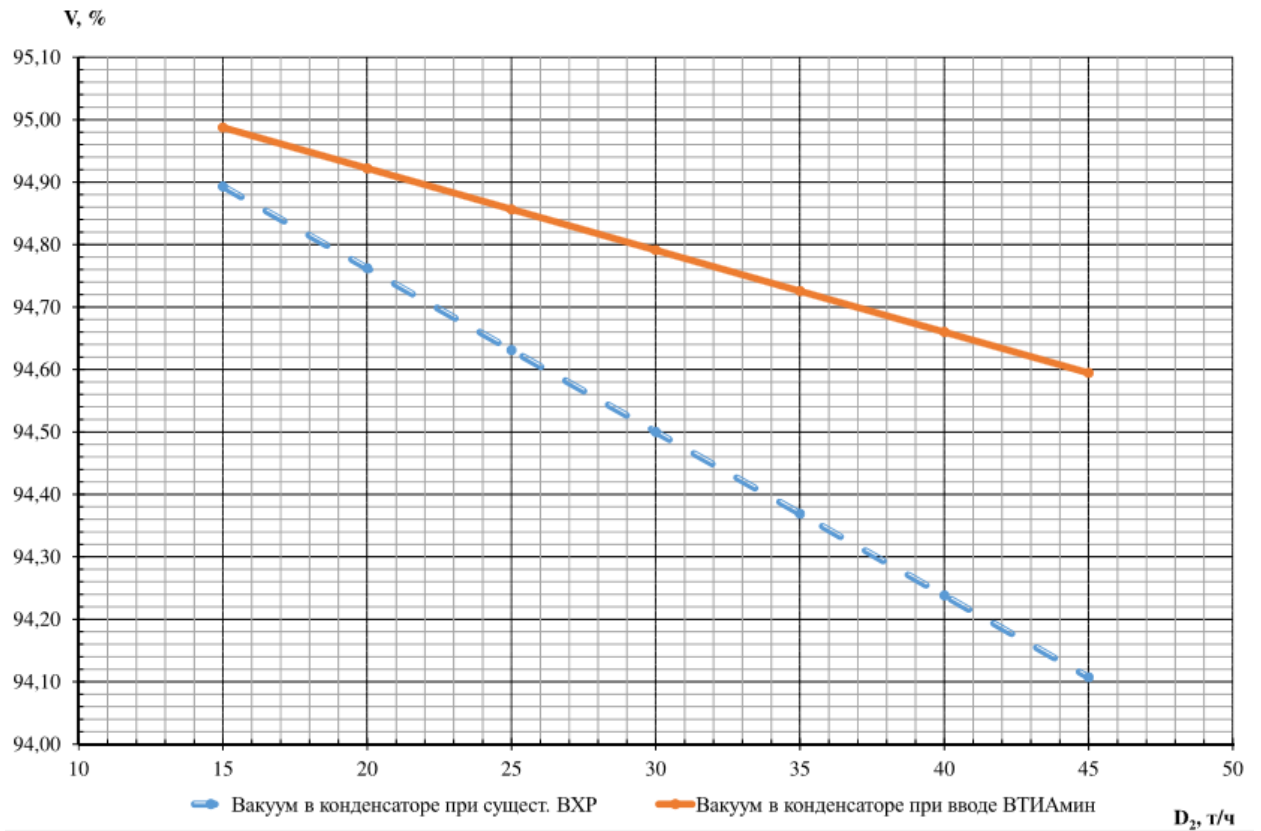


Рис. 5.15. Вакуум в конденсаторе

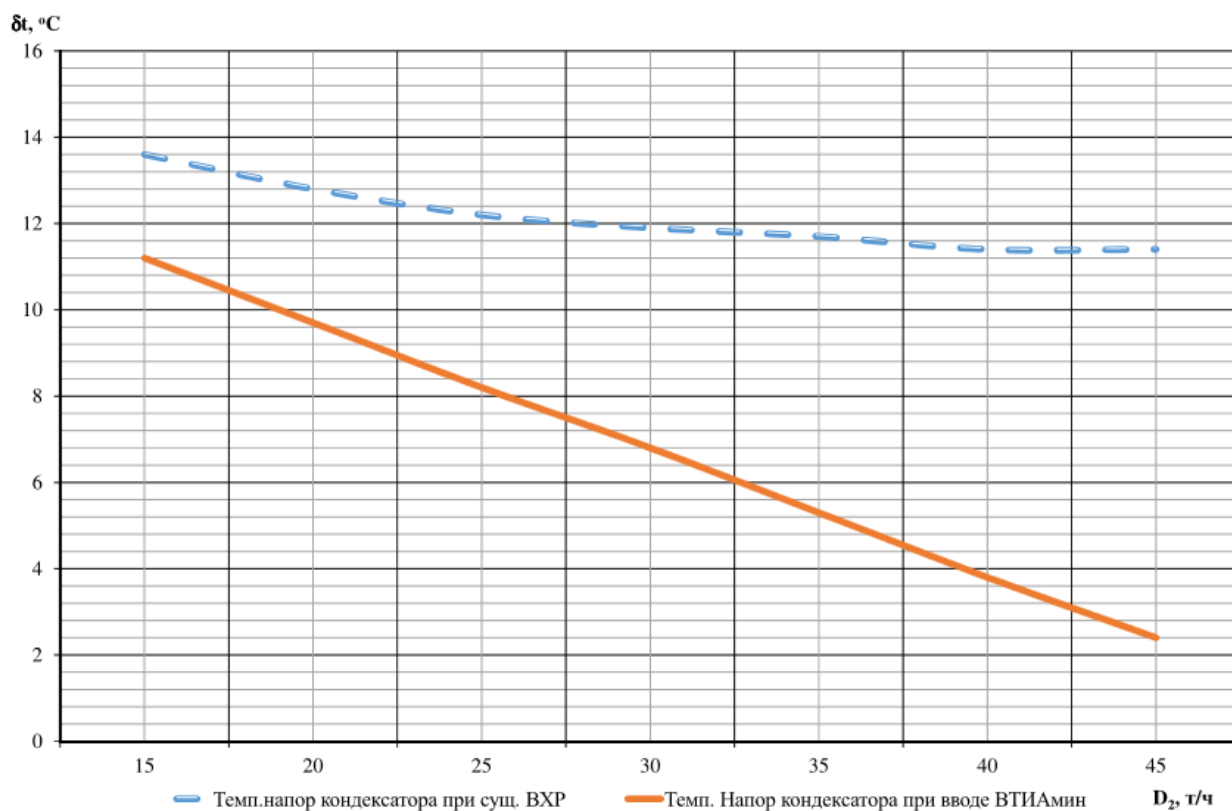


Рис. 5.16. Температурный напор конденсатора

Таким образом, по итогам выполненных опытно-промышленных испытаний новой марки реагента для ведения водно-химического режима системы оборотного охлаждения на Салаватской ТЭЦ необходимо отметить, что:

1. В результате проведенной работы на Салаватской ТЭЦ ООО «БГК» была осуществлена замена режима стабилизационной обработки воды оборотного цикла с использованием отечественных реагентов марки ВТИАМИН. Анализ эксплуатационных данных свидетельствует о достижении безнакипного режима эксплуатации оборудования, минимизации образования минеральных отложений на теплопередающих поверхностях, микробиологического обрастания и коррозии элементов градирни, трубопроводов и теплообменников.

2. В результате введения реагента ВТИАМИН ТС-5 величина вакуума в конденсаторе возрастает в среднем на 0,29%, абсолютное давление в конденсаторе при этом уменьшается в среднем на 0,0026 ата. Температурный напор, который является важнейшей характеристикой эффективности работы конденсатора, в среднем уменьшился на 4,2 °C. Увеличение мощности турбогенератора из-за уменьшения абсолютного давления в конденсаторе составляет в среднем 700 кВт.

### 5.2.3 Исследование применения реагента марки ВТИАМИН на Уфимской ТЭЦ-1 ООО «БГК»

Краткая характеристика системы представлена в табл. 5.11. Тип системы - брызгальный бассейн

СОО предусмотрена для охлаждения систем газо- и маслоохлаждения, подшипников вращающихся механизмов. Основным источником подпиточной воды является речная вода (р. Белая), поступающая в бассейн по двум техническим водоводам. Циркуляционная вода направляется в ХЦ с последующей обработкой на элементах мембранных обратноосмотических DOWFILMTECBW30XFR-400/34i.

Таблица 5.11. Основные технические параметры СОО

Общий объем в системе, м <sup>3</sup>	953909
Расход воды в системе, м <sup>3</sup> /час	108,9
Расход подпиточной воды, м <sup>3</sup> /час	77,8
Испарение, м <sup>3</sup> /час	0,44- испарение; 0,49- унос
Расход продувочной воды, м <sup>3</sup> /час	1,85
Поддерживаемый коэффициент упаривания	Не данных
Тип материалов системы	Материалы, контактирующие с оборотной водой – ЛО70, МНЖ5, Сталь 20, Л-68, Полиэтилен, асбестоцемент
Количество теплообменных аппаратов (тип, шт.)	
-маслоохладители ПЭН + генераторы	- 12
-газоохладители ПЭН + турбины	-22
Применяемая обработка воды	Биоцидная,
Марки реагентов, применяемые для обработки воды:	- Ферроцид 8583 (аналог Турбанион 104М)
-Биоциды	- Гипохлорит натрия

Особенностью системы является проточный характер оборотной воды. Вода из технического водовода (р.Белая) попадает в чашу градирни, откуда идет забор технической воды в химический цех. Вода из бассейна используется для охлаждения механизмов. Все турбины являются противодавленческими.




Для предупреждения биологического обрастания и микробиологической коррозии элементов брызгального бассейна, трубопроводов и теплообменников на станции была предусмотрена периодическая залповая обработка охлаждающей воды импортным биоцидом марки Турбанион М104 и Ферроцид. Доза биоцидов в летний

период для циркуляционной воды ТЭЦ составляла  $0,2 \text{ мг/дм}^3$ . Совместно с биоцидами применялся гипохлорит натрия в дозе  $0,1 \div 0,15 \text{ мг/дм}^3$  (доза определялась по хлоридам).

### 5.2.3.1. Проведение обработки циркуляционной воды реагентом ВТИАМИН Б-6

По предлагаемой программе была предусмотрена замена используемого импортного биоцида на ВТИАМИН Б-6 в дозировке  $0,2 \text{ мг/дм}^3$ . Малая доза биоцида связана с использованием совместно с ним гипохлорита натрия. Основная цель биоцидной обработки – борьба с водорослевым обрастанием. Контроль за качеством биоцидной обработки ведется визуально (по состоянию сопел разбрызгивателей) и по биотестам (табл. 5.12, 5.13).

Таблица 5.12. Контроль содержания ОМЧ (до и после обработки)

23.04 через 24 ч		
		

25.04  
через  
24 ч

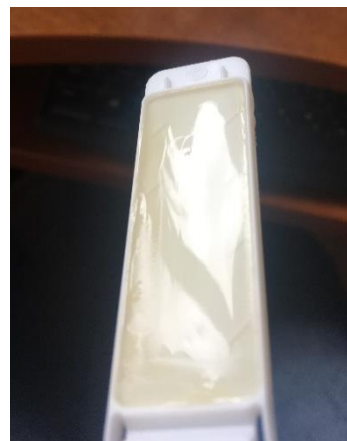


27.04  
через  
24 ч





04.07  
через  
24 ч



04.07  
через  
48 ч



31.07 через 48 ч		
------------------------	---	--

Таблица 5.13. Визуальный контроль за наличием биообрастаний в СОО

Визуальное  
обследование до  
ввода ВТИАМИН  
Б-6 23.04.2018  
Температура  
воздуха 5 °С





Визуальное  
обследование  
после ввода  
ВТИАМИН Б-6  
05.07.2018  
Температура  
воздуха 31 °С



Визуальное  
обследование  
после ввода  
ВТИАМИН Б-6  
21.06.2019  
Температура  
воздуха 26 °С



### 5.2.3.2. Выводы по применению реагента ВТИАМИН Б-6

1) Предложенный в качестве отечественного биоцида ВТИАМИН Б-6 подавляет биологическое обрастание в чаше градирни. Эффективность реагента

подтверждается результатами анализов на содержание ОМЧ по контактными слайдам (биотесты Microbiology Environcheck Contact TVC), а также при визуальных осмотрах при различных температурах окружающего воздуха, проведенных во время плановых сервисных посещений.

2) Реагент отечественного производства ВТИАМИН Б-6 в полной мере заменил ранее применяемые реагенты импортного производства KURITAEUROPE GmbH.

### **5.3. Выводы по пятой главе**

Обобщая результаты, полученные при внедрении альтернативных реагентов марки ВТИАМИН в рамках политики РФ об импортозамещении технологий на всех объектах, входящих в различные Генерирующие компании, был достигнут положительный технический и экономический эффект. Помимо непосредственного эффекта от внедрения новых реагентов отечественной разработки была доказана состоятельность программы импортозамещения в части реагентной обработки как систем оборотного охлаждения.

В результате испытаний по применению ингибитора коррозии и накипеобразования «ВТИАМИН ЭКО-1» для системы оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 и на основании проведенного технико-экономического анализа было установлено следующее:

1. Подпиточная вода ТЭЦ с ПГУ-450 МВт при упаривании в системе оборотного охлаждения без применения коррекционной (реагентной) обработки обладает повышенной накипеобразующей способностью и коррозионной агрессивностью по отношению к углеродистым сталям и средней накипеобразующей способностью и коррозионной агрессивностью по отношению к латуни;

2. При применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в оптимальной дозировке, по сравнению с безреагентным опытом, удалось снизить скорость коррозии углеродистой стали в 3,7 раза, линейную скорость образования отложений в 27,5 раза, обеспечить коэффициент транспорта кальция на уровне 95,72%, не превышая при этом нормативы по основным компонентам реагента для водных объектов рыбохозяйственного назначения;

3. Реагент «ВТИАМИН ЭКО-1» при среднем содержании в оборотной воде на

уровне  $9,54 \text{ мг/дм}^3$  доказал свою эффективность по защите от коррозии и предотвращению накипеобразования. Расчетная потребность в реагенте составляет 33397 кг/год.

4. Применение реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» является наиболее оптимальным решением с технической и экономической точки зрения. При его использовании за счет снижения интенсивности накипеобразования в трубках конденсатора, прогнозируемый расчетный прирост мощности одной турбины будет максимальным по сравнению с существующим типом коррекционной обработки и достигает значения  $\Delta N = 1220$  (кВт).

5. Применение реагента ВТИАМИН ЭКО-1 показало, что проба оборотной воды со стандовой установки по исследуемым показателям не превышает допустимые уровни гигиенических нормативов и соответствует требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

6. Применение реагента ВТИАМИН ЭКО-1 обеспечивает отказ от применения токсичной неорганической серной кислоты, что позволяет сократить негативное воздействие на окружающую среду.

7. Отказ от применения серной кислоты позволяет исключить громоздкое оборудование, которое необходимо для обеспечения дозирования серной кислоты в СОО.

8. Переход на водно-химический режим с применением реагента ВТИАМИН ЭКО-1 позволяет сократить ремонтные и эксплуатационные затраты.

9. В результате опытно-промышленных испытаний реагента ВТИАМИН ТС-5 на Салаватской ТЭЦ ООО «БГК» был достигнут безнакипный режим эксплуатации оборудования и минимизации образования минеральных отложений на теплопередающих поверхностях.

10. В результате проведения опытно-промышленных испытаний реагента ВТИАМИН ТС-5 на Салаватской ТЭЦ ООО «БГК» помимо безнакипного эффекта был достигнут и эффект сокращения микробиологического обрастания и коррозии элементов градирни, трубопроводов и теплообменников.

11. В результате введения реагента ВТИАМИН ТС-5 увеличивается величина вакуума в конденсаторе в среднем на 0,29%, абсолютное давление в конденсаторе при этом уменьшается в среднем на 0,0026 ата. Температурный напор, который является

важнейшей характеристикой эффективности работы конденсатора, в среднем уменьшается на 4,2°C. Увеличение мощности турбогенератора из-за уменьшения абсолютного давления в конденсаторе составляет в среднем 700 кВт.

12. Таким образом, по итогам выполненных опытно-промышленных испытаний на различных объектах автором доказана эффективность реагентов ВТИАМИН для различных типов систем оборотного охлаждения с различной длительностью наработки с момента ввода в эксплуатацию.

Результаты исследований, отраженные в пятой главе, опубликованы в работах автора [83, 101, 102, 106].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана комплексная методика исследования состояния водно-химического режима систем оборотного охлаждения, которая позволяет в условиях работы электростанции выполнить количественную оценку эффективности как применяемых, так и вновь созданных реагентов. Методика обеспечивает возможность параллельного исследования образования отложений, скорости коррозии и интенсивности биологических обрастаний в системах оборотного охлаждения при использовании мобильной стендовой установки с получением расчетных зависимостей показателей эффективности водно-химического режима на базе химических анализов добавочной и циркуляционной воды.

2. Методика отработана на московской воде. Продолжительность опытов на стендовой установке выбрана из условий получения представительных результатов по отложениям и коррозии на контрольных образцах (360 часов) с учетом воспроизводимости параметров: качества воды, коэффициента упаривания, температурного режима.

3. Исследования водно-химического режима систем оборотного охлаждения с использованием отечественных ингибиторов коррозии (ВТИАМИН ЗС-6 дозой 2,5÷5,0 г/т) и накипеобразования (ВТИАМИН ТС-5 дозой 5÷7 г/т) в условиях промышленной эксплуатации системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ показали высокую эффективность работы: расчетная скорость коррозии латуни снизилась до допустимых значений (менее 0,1 мм/год), коэффициент стабилизации определялся на уровне от 90 до 105 %.

4. Промышленные испытания водно-химического режима систем оборотного охлаждения на ряде ТЭС в условиях действующих дозировок импортных реагентов и реагентов ВТИАМИН подтвердили эффективность предложенной методики и показали возможность импортозамещающей технологии для разных типов оборотных систем. Так, для условий работы блоков ПГУ-450 Калининградской ТЭЦ-2 применение реагента ВТИАМИН ЭКО-1 при оптимальных дозировках позволило снизить скорость коррозии стали (Ст. 20) с 0,191 мм/год до 0,052 мм/год и повысить коэффициент стабилизации до 95%. Технико-экономическими расчетами показана возможность увеличения мощности паровой турбины.

5. Для отдельных систем оборотного охлаждения ТЭС получены допустимые значения таких важных показателей, как кратность упаривания, транспорт кальция, скорость коррозии, концентрация примесей; определен характер и степень микробиологического обрастания конструктивных элементов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепловые и атомные электростанции. Справочник. Кн. 3. М. Издат. Дом МЭИ. 2003. С. 519-524.
2. Воронов В.Н. Водно-химические режимы ТЭС и АЭС / В.Н. Воронов, Т.И. Петрова. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – С. 227–229.
3. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод, 2000.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / Минэнерго России. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003.
5. РД 34.22.503-89 Методические указания по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксиэтилидендифосфоновой кислотой, 1989.
6. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, 2003.
7. Бушуев В.В. Энергетика России: взгляд в будущее (Обосновывающие материалы к Энергетической стратегии России на период до 2030 года) / В.В. Бушуев, Ю.Л. Барон. – М.: Издательский дом «Энергия», 2010. – С. 454-460.
8. Абалихина А. Б. Микробиологические аспекты оборотного водоснабжения / Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Обзорная информация. – М.: НИИТЭхим, 1988. – Вып. 2. – С. 26.
9. Кузнецов О.Ю., Бабич К.А., Козлова Н.М. Исследование ингибирующего воздействия полигексаметиленгуанидина на образование биобрастаний в системах технического водоснабжения с повторным использованием очищенных сточных вод // Материалы семинара «Очистка сточных вод при сбросе в водоемы и повторном использовании» – М: МДНТП, 1988.
10. ГОСТ 9.502-82 (СТ СЭВ 6194-88) Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Ингибиторы коррозии металлов для водных систем, 1988.
11. Бродов Ю.М. Конденсационные установки паровых турбин / Ю.М. Бродов, Р.З. Савельев – М.: Энергоатомиздат, 1994 – С. 288.
12. Inhibition of  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4$  precipitation for industrial recycling water / Fu Change, Zhou Yuming, Liu Guangqing, Huang Jingyi, Sun Wei, Wu Wendao // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2011. V. 50. P. 10393–10399.

13. A new evaluation method of scale inhibitors for controlling CaCO<sub>3</sub> scale in reverse osmosis system based on pH measurement / Xiaoni Zhanga, Wenlong Wu, Dongmei Li, Guangjin Zhao // *Advanced Materials Research*. 2012. V. 356. P. 2146–2152.
14. Comparative performance of polyepoxysuccinic acid and polyaspartic acid on scaling inhibition by static and rapid controlled precipitation methods / Liu Dan, Dong Wenbo, Li Fengting, Hui Franck, Ledion Jean // *Desalination*. 2012. V. 304. P. 1–10.
15. Scale Inhibitor Market by Type and by Application – Global Trends & Forecast to 2019 // URL: [http://www.researchandmarkets.com/reports/2933881/scale\\_inhibitor\\_market\\_by\\_type\\_and\\_by\\_application#pos\\_0](http://www.researchandmarkets.com/reports/2933881/scale_inhibitor_market_by_type_and_by_application#pos_0).
16. Федосеев Б.С. Обобщение опыта применения фосфорорганических антинакипинов и ингибиторов коррозии / Б.С. Федосеев, Ю.В. Балабан-Ирменин, А.М. Рубашов // *Энергетик*. – 2006. – №3. – С. 13-14.
17. Гомеля М.Д. Ингибиторы коррозии для водооборотных систем охлаждения / М.Д. Гомеля, Т.О. Шабляй // *Экология и ресурсосбережение*. – 2001. – №1. – С. 3-9.
18. Дриккер Б.Н. Изучение возможности использования цинковых комплексонов ИОМС для ингибирования коррозии конструкционных сталей / Б.Н. Дриккер, И.П. Сикорский, Н.В. Цирульников // *Энергосбережение и водоподготовка*. – 2006. – №2. – С. 7-9.
19. Чичеров А.А. Методы снижения бактериального загрязнения систем оборотного охлаждения ТЭЦ / А.А. Чичеров, С.М. Власов, А.Ю. Власова // *Теплоэнергетика*. – 2015. – №7. – С. 62-67.
20. Nowack B. Environmental chemistry of phosphonates // *Water Research*. 2003. V. 37. P. 2533–2546.
21. Held S. The environmental behavior of complex forming phosphates // *Textilverwendlung*. 1989. Bd 24. № 11. S. 394–398.
22. Исследование рынка реагентов для промышленной водоподготовки и водоочистки. Россия. 2010–2011 г.: Аналитический обзор AT Consulting Company // URL: <http://www.atconsult.ru/vodopodgotovka.html>.
23. Химические очистки теплоэнергетического оборудования / Под ред. Т.Х. Моргуловой. Вып. 2. – М.: Энергия, 1978.



24. Попов К.И. Исследование состава промышленно производимых фосфонатов. Ингибитор солеотложений 1-гидроксиэтилидендифосфоновая кислота ОЭДФ МА / К.И. h1C. 663–665.
25. РД 153-34.1-17.465-00 «Методические указания по оценке интенсивности процессов внутренней коррозии в тепловых сетях», 2000.
26. Применение комплексонов в теплоэнергетике / Т. Х. Маргулова, 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 278.
27. Хасанова Д. И., Сафин Д. Х. Исследование проблем биокоррозии и биообрастаний в системах оборотного водоснабжения и технологии их предотвращения // Сборник докладов V Научно-практической конференции «Современные методы водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования». – М., 2013. – С. 62–65.
28. Maguire J.J., Betz W.H., Betz L.D. Biological fouling in recirculating cooling-water systems. Ind. Eng. Chem., 48, No. 12, 2162-7, Dec. 1956.
29. Updegraff D.M. Microbiological corrosion of iron and steel. Corrosion, 11, No. 10; 442t-6t, Oct. 1955.
30. ГОСТ 9.908-82 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Методы коррозионных испытаний. Общие требования (с Изменением N 1), 1982.
31. РД 34.22.501-87 Методические указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке, 1987.
32. Ларин А.Б. Методика исследования качества конденсата пара и охлаждающей воды конденсатора паровой турбины / А.Б. Ларин, В.В. Козловский, М.П. Савинов // Вестник ИГЭУ. – 2020. – №4. – С. 14-22.
33. Репин Д. А. Оптимизация водно-химических режимов систем охлаждения конденсаторов: Автореферат диссертации канд. техн. наук.– М.: МЭИ, 2008. С. 16.
34. Моргулова Т.Х. Очистка и защита поверхностей теплоэнергетического и технологического оборудования с помощью комплексонов / Т.Х. Моргулова, В.И. Новосельцев, Р.К. Гронский [и др.] // Журнал ВХО им Д.И. Менделеева. – 1985. – №3.
35. Бубликов И.А. Загрязнение теплообменного оборудования ТЭС и АЭС / И.А. Бубликов. – Ростов-на-Дону: Изд. СКНЦ ВШ, 2003. – С. 232.

36. Занин, А. И. Паровые турбины: учебное пособие. А.И. Занин, В.С. Соколов., - М.: Высшая школа. 1988. -
37. Петрова Т.И. Технология организации водно-химического режима атомных электростанций: учебное пособие / Т.И. Петрова, В.Н. Воронов, Б.М. Ларин. – М.: МЭИ, 2012. – 272 с.
38. Харвей М. Хирроу. Руководство Налко по анализу причин коррозионных повреждений в системах водяного охлаждения / Харвей М. Хирроу, Роберт Д. Порт.– Нью-Йорк: McGraw-Hill, 1993.
39. Кишнеvский В.А. Технологии подготовки воды в энергетике: учебник для вузов по направлениям "Теплоэнергетика" и "Атомная энергетика" / В.А. Кишнеvский. – Одесса: Фенікс, 2008. – С.110-168.
40. Крицкий В.Г. О склонности охлаждающей воды к выделению солей жесткости на теплопередающей поверхности: Препринт ВНИПИЭТ-10 / В.Г. Крицкий, П.С. Стяжкин. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1989. – №10. – С. 22.
41. Колбаева И.Л. Основные закономерности накипеобразования: Автореферат дисс. канд. наук. – М.: МЭИ, 1993.
- 42.State of art of natural inhibitors of calcium carbonate scaling: A review article / M. Chaussemier, E. Pour- mohtasham, D. Gelus, N. Pécoul, H. Perrot, J. Lédi- on, H. Cheap-Charpentier, O. Horner // Desalination. 2015. V. 356. P. 47–55.
- 43.Jensen M.K., Kelland M.A. A new class of hyper- branched polymeric scale inhibitor // Journal of Petroleum Science Engineering. 2012. V. 94–95. P. 66–72.
44. MONSANTO Technical Bulletin 53-39 (T) ME Multifunctional Metal Ion Control Agents in Aqueous Solutions. Dequest 2040, 2050, 2060. 1983.
- 45.Held S. The environmental behavior of complex forming phosphates // Textilverwendlung. 1989. Bd 24. № 11. S. 394–398.
46. Попов К.И. Современное состояние разработок биоразлагаемых ингибиторов солеотложений для различных систем водопользования (обзор) / К.И. Попов, Н.Е. Ковалева, Г.Я. Рудакова [и др.] // Теплоэнергетика.–2016.–№2. –С. 46-53.
47. MacAdam J., Parsons S.A. Calcium carbonate scale formation and control // Reviews in Environmental Science and BioTechnology Control. 2004. V. 3. Issue 2. P. 159–169.

48. Scale Inhibitor Market by Type and by Application – Global Trends & Forecast to 2019  
//URL:[http://www.researchandmarkets.com/reports/2933881/scale\\_inhibitor\\_market\\_by\\_type\\_and\\_by\\_application#pos\\_0](http://www.researchandmarkets.com/reports/2933881/scale_inhibitor_market_by_type_and_by_application#pos_0).
49. Мировой рынок реагентов для водоподготовки и очистки сточных вод в 2009 г.: Аналитический обзор компании Abercade //URL:<http://www.abercade.ru/research/reports/316.html>.
50. Рудакова Г.Я., Ларченко В.Е., Тушева М.А., Разработка и исследование ингибиторов солеотложений и коррозии нового поколения // VII Научно-Практическая конференция «Современные технологии водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования». – 2017. – С. 65-68.
51. Репин Д.А., Петрова Т.И. Способы коррекции ВХР оборотной системы охлаждения конденсаторов турбин // Тринадцатая междунар. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: Тез. докл. – М.: 2007. – Т.3. – С. 141-142.
52. Ларин Б.М. Водный режим системы охлаждения статора электрогенератора энергоблока ТЭС / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин, А.Б. Ларин // Теплоэнергетика. – 2011. – №7. – С. 17-20.
53. Ларин Б.М. Водный режим системы охлаждения вспомогательного оборудования ПГУ / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин, А.Б. Ларин// Теплоэнергетика. – 2013. – №4. – С. 48-50.
54. Балабан-Ирменин Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых систем / Ю.В. Балабан-Ирменин, В.М. Липовский, А.М. Рубашов. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – С. 245.
55. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: Физматлит, 2002. – С. 324.
56. Эдельштейн С.А. О мерах по снижению скорости коррозии тепловых сетей и водогрейных котлов при их заполнении перед отопительным сезоном и в процессе ввода в работу / С.А. Эдельштейн, А.А. Колбаса, С.Т. Прищепов [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2002. – №1. – С. 63-67.
57. Семенова И.В., Ануфриев Н.Г., Хорошилов А.В. и др. Исследование влияния методов обессоливания воды на ее коррозионные свойства / И.В. Семенова,

- Н.Г. Ануфриев, А.В. Хорошилов [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка.– 2004.– №2.– С. 56-58.
58. Балабан-Ирменин Ю.В. Исследование ингибиторов внутренней коррозии трубопроводов систем теплоснабжения при высоком содержании кислорода в сетевой воде / Ю.В. Балабан-Ирменин, Н.Г. Фокина // Электрические станции. – 2007. – №6. – С. 35-39.
59. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.Г. Первов – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. – С. 213-215.
60. Кострикин Ю.М. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: справочник / Ю.М. Кострикин, Н.А. Мещерский, О.В. Коровина. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
61. Морыганова Ю. А. Химический анализ в энергетике / Ю. А. Морыганова, В. Л. Меньшикова, В. Н. Кулешов, В. Ф. Очков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – С. 405.
62. Кучеренко Д.И. Обратное водоснабжение (Системы водяного охлаждения) / Д.И. Кучеренко. –М.: Стройиздат, 1980.
63. СО 34.37.536-2004 Методические рекомендации по применению антинакипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС-1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России», 2004.
64. ГОСТ 9.905-2007. Методы коррозионных испытаний. Общие требования., 2007.
65. ГОСТ 9.908-85. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости, 1985.
66. Воронов В.Н. Проблемы организации водно-химического режима на тепловых электростанциях / В.Н. Воронов, Т.И. Петрова // Теплоэнергетика.– 2002.– №7.– С. 2-7.
67. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов-2е изд. / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф.Очков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
68. Разработка нового водного режима системы обратного охлаждения на Калининградской ТЭЦ-2 // Матер. конф. Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бернардосовские чтения). – Иваново, 2019. – С. 171-175.
69. Крушель Г.Е. Образование и предотвращение отложений в системах водяного охлаждения / Г.Е. Крушель.– М.-Л.: Госэнергоиздат. 1955.– С. 223.

70. Дрикер Б.Н. Методологические аспекты выбора реагентов для предотвращения минеральных отложений / Б.Н. Дрикер, А.И. Мурашова, А.Г. Тарантаев, А.Ф. Никифоров // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 2(88). – С. 2-4.
71. Дрикер Б.Н. Опыт применения композиций на основе органофосфонатов для стабилизационной обработки воды в энергетике и металлургии / Б.Н. Дрикер, А.В. Микрюков, А.Г. Трантаев // Водоснабжение и канализация. – 2014. – № 1-2. – С. 60-62.
72. Козловский В.В. Методика исследования состояния водного режима системы оборотного охлаждения на ТЭС / В.В. Козловский, А.Б. Ларин А.Б // Вестник ИГЭУ.– 2019.– №3.– С. 14-21.
73. Кирилина А.В. Разработка водного режима системы оборотного охлаждения на ТЭС на основе реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» / А.В. Кирилина, С.Ю. Суслов, В.В. Козловский, А.Б. Ларин // Теплоэнергетика.– 2019.– №10.– С. 74-83.
74. Васина Л.Г. Предотвращение накипеобразования с помощью антинакипинов / Л.Г. Васина, О.В. Гусева // Теплоэнергетика. – 1999. – №7. – С. 35-38.
75. С.С. Берман. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок Учебник. - М.: Машгиз, 1959. - 428 с.
76. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремизов.– М.: Издательство МЭИ, 2002. - 584 с.
77. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара / С.Л. Ривкин, А.А. Александров – М.: Энергоатомиздат, 1984. -
78. ГОСТ Р 9.907-2007 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний, 2007.
79. Кузнецов О.Ю. Энерго- и ресурсосберегающая технология оборотного водоснабжения охлаждающих систем теплоэлектростанций / О.Ю. Кузнецов, Е.А. Панкратова, С.Ю. Дударев, В.В. Бутылин // Энергоресурсосбережение и энергоэффективность.– 2012.– №1.– С. 16-19.
80. Петрова Т.И. Влияние пленкообразующих аминов на скорость коррозии латуни в охлаждающей воде конденсаторов турбин / Т.И. Петрова, Д.А. Репин // Новое в российской электроэнергетике.– 2008.– №5.– С. 49-54.

81. Иванов Е.Н. Управление водно-химическим режимом оборотных систем охлаждения / Е.Н. Иванов, А.М. Рубашов, Н.Г. Фокина, А.А. Крюков // Энергетик. – 2008.– №6.– С. 24-27.
82. Ларин Б.М. Водный режим системы охлаждения статора электрогенератора энергоблока ТЭС / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин, А.Б. Ларин// Теплоэнергетика.– 2011.– №7.– С. 17-20.
83. Козловский В.В. Опыт применения реагентов марки ВТИАМИН для коррекции водно-химического режима систем оборотного охлаждения на ТЭС / В.В. Козловский, Е.Ф. Нартя, Ю.В. Улановская, А.Б. Ларин // Теплоэнергетика. – 2021. – №1 – С. 1-7.
84. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М.. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. - М: Энергоиздат., 1982.
85. Попов К.И. Современное состояние разработок биоразлагаемых ингибиторов солеотложений для различных систем водопользования / К.И. Попов, Н.Е. Ковалева, Г.Я. Рудаков, С.П. Комбарова, В.Е. Ларченко // Теплоэнергетика.– 2016.– №2.– С. 46-53.
86. Власов С.Н. Разработка технологий стабилизационной обработки воды системы оборотного охлаждения на ТЭС / С.Н. Власов, Н.Д. Чичерова, А.А. Чичеров, А.Ю. Власова, А.А. Филимонова, Д.В. Просвирина // Теплоэнергетика.– 2018.– №2.– С. 44-49.
87. СО 34.37.536-2004 «Методические рекомендации по применению антинакипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС-1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России», на энергопредприятиях», 2004.
88. РД 34.30.501. «Методические указания по эксплуатации конденсационных установок паровых турбин электростанций», 2005.
89. Рудомино М.В. Новые комплексообразующие реагенты – фосфорорганические комплексоны / М.В. Рудомино, М.И. Кабачник, Н.М. Дятлова, Т.Я. Медведь // Журнал всесоюзного химич. Общества им. Д.И. Менделеева.– 1968.
90. Кузнецов Ю.И. Применение фосфорсодержащих комплексонов в качестве ингибиторов коррозии металлов водооборотных систем. Второе всесоюзное совещание по химии и применению комплексонов и комплексонов металлов / Ю.И. Кузнецов, Е.А. Трунов, В.А. Исаев – М.: 1983. –С. 124.

91. Машанов А.В. Предотвращение карбонатных отложений в водоохлаждаемом оборудовании / А.В. Машанов // Сталь. – 1984. – №10. –С. 15-17.
92. ГОСТ 31859-2012 «Вода. Метод определения химического потребления кислорода», 2012.
93. ГОСТ Р 55684-2013 «Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости», 2013.
94. Патент на изобретение РФ №2 693 243, СПК С23F 11/167 (2019.05); С23F 14/02 (2019.05). Ингибитор коррозии и накипеобразования для обработки воды теплосетей и других теплофикационных систем / Суслов С.Ю., Козловский В.И., Козловский В.В., заявл. №2019103540, 07.02.2019.
95. Патент на изобретение РФ №2702542, СПК С23F 11/167 (2019.08); С02F 5/04 (2019.08). Ингибитор коррозии и накипеобразования для применения в системах оборотного охлаждения электростанций или других промышленных предприятий / Нартя Е. Ф., Козловский В.И., Козловский В.В., заявл. №2019120629, 02.07.2019.
96. Патент на изобретение РФ №2725925, МПКС23F 11/14 (2006.01) (52) СПКС23F 11/14 (2020.02), Способ защиты от коррозии конденсаторов паровых турбин, Кирилина А. В., Козловский В.В., Галимова Н.Ф., Улановская Ю.В., Нартя Е.Ф., Исхаков И.Р., заявл. № 2019132272, 11.10.2019.
97. Ларин А.Б. Проблемы организации водно-химического режима систем оборотного охлаждения на ТЭС / А.Б. Ларин, В.В. Козловский // Матер. конф. Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бернардосовские чтения).– Иваново, 2019.– С.168-171.
98. **Козловский, В.В.** Применение реагента «ВТИАМИН ТС-5» в системах оборотного охлаждения ТЭС / В.В. Козловский, А.В. Челышева, А.Б. Ларин // Матер. XV всеросс. (VII междунар.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия – 2020». – Иваново: ИГЭУ, 2020. С. 70.
99. **Козловский, В.В.** Определение скорости коррозии металла на стенде, моделирующем оборотную систему охлаждения открытого типа / В.В. Козловский, И.С. Никитина // Матер. XXIV междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». – Москва, 2018. С. 872.
100. Кирилина, А.В. Применение реагента ВТИАМИН КР-33 для ведения водно-химического режима на ТЭС/ А.В. Кирилина, С.Ю. Суслов, В.В. Козловский,

Е.Ф. Нартя // Матер. V науч.-практ. конф. «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике». – г. Н. Новгород, ООО «ВЗОР», 2019. С. 85-87.

101. Нартя, Е.Ф. Опыт применения аминных водно-химических режимов на ТЭЦ среднего давления / Е.Ф. Нартя, А.В. Кирилина, С.Ю. Суслов, В.В. Козловский // Матер. V науч.-практ. конф. «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике». – г. Н. Новгород, ООО «ВЗОР», 2019. С. 35-36.

102. Козловский, В.В. Совершенствование водно-химического режима систем оборотного охлаждения на ТЭС / В.В. Козловский, А.Б. Ларин // Матер. V науч.-практ. конф. «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике». – г. Н. Новгород, ООО «ВЗОР», 2019. С. 83.

103. Ларин Б.М. Состояние технологии обработки воды на тепловых электростанциях/Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, В.В. Козловский//V-я Научно-практическая конференция «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике» ООО «ВЗОР». – Нижний Новгород, 2019.104. СТО 1.1.1.02.006.1550-2018 «Коррекционная обработка охлаждающей воды башенных испарительных градирен атомных станций», 2018.

105. Ларин, А.Б. Разработка нового водного режима системы оборотного охлаждения на Калининградской ТЭЦ-2 // А.Б. Ларин, В.В. Козловский // Материалы междунар. (XX Всероссийской) науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электро-и теплотехнологии (Бенардосовские чтения)». – Иваново, 2019. С.171-175.

106. Зидиханова, А.А. Проведение опытно промышленных испытаний по применению комплексного реагента для обработки сетевой воды контура теплофикационной установки Уфимской ТЭЦ-3 / А.А. Зидиханова, В.В. Козловский, Е.Ф. Нартя, А.В. Кирилина, С.Ю. Суслов // Матер. V науч.-практ. конф. «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике». – г. Н.Новгород, ООО «ВЗОР», 2019. С. 33-34.



## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## ПРИКАЗ

от 13 декабря 2016 года N 552

Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

В соответствии с пунктом 1 постановления Правительства Российской Федерации от 28 июня 2008 г. N 484 "О порядке разработки и утверждения нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2008, N 27, ст.3286; 2012, N 44, ст.6026)

приказываю:

1. Утвердить прилагаемые нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

2. Настоящий приказ вступает в силу по истечении трех месяцев со дня его официального опубликования.

Министр  
А.Н.Ткачев

Зарегистрировано  
в Министерстве юстиции  
Российской Федерации  
13 января 2017 года,  
регистрационный N 45203

Приложение  
к приказу  
Минсельхоза России  
от 13 декабря 2016 года N 552

Таблица N 1.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения

### Методика по определению общего микробного числа (ОМЧ)

В основе методики определения микробного числа лежат «Слайды EnvirochekContact TVC» (био-тесты) используются для тестирования жидкости.

1) Открутить крышку пробирки и аккуратно достать слайд из пробирки, чтобы не затронуть агаровые поверхности. Перед использованием проверить, чтобы не было обезвоживания или загрязнения поверхности.

2) Процедура прививки- тестирования.

Тестирование жидкости:

- окунуть слайд на 5-10 секунд в анализируемую воду. Обе агаровые поверхности должны быть полностью намочены;

- встряхнуть слайд, чтобы удалить избыток воды;

- вставить слайд обратно в пробирку и плотно закройте крышкой.

3) Маркирование.

Подписать пробирку, указав источник воды, дату и время.

4) Инкубация

Поместить пробирку в вертикальном положении в термостат на 24–48 часов при температуре  $35\div 37^{\circ}\text{C}$  (для роста бактерий). Однако, в соответствии с индивидуальными потребностями может использоваться альтернативное время и температура.

5) Чтение результатов.

Достать слайд из пробирки и сравнить плотность расположения красных точек на агарной поверхности № 1 со схемой плотности на рис. П. 2.1, при этом не считая количество колоний. Если плотность расположения красных точек по рис. П. 2.1 превышает  $10^7$  числа колоний, анализируемая вода может быть разбавлена.

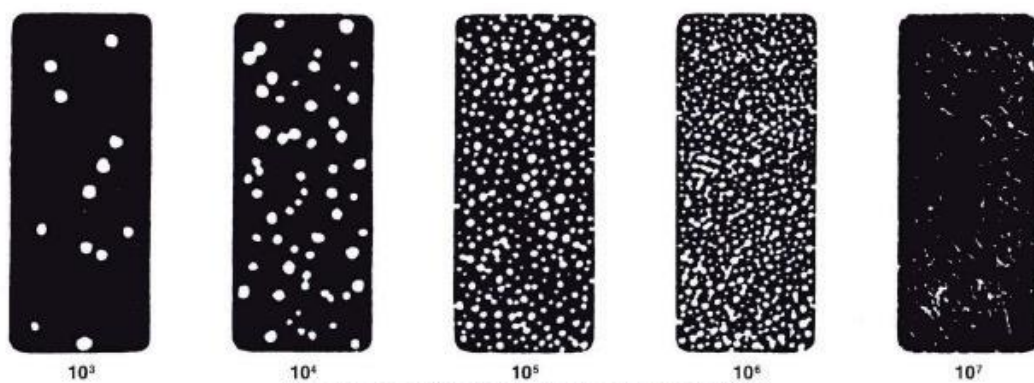


Рис. П. 2.1. Карта распределения плотностных слоев и степень загрязненности:  
 $10^3$  – незначительная,  $10^4$  – низкая,  $10^5$  – средняя,  $10^6$  – высокая,  $10^7$  – очень высокая.

#### 6.) Меры безопасности

С зараженными слайдами следует обращаться аккуратно. Слайды должны быть автоклавированы, обожжены или размочены с помощью дезинфицирующего средства.

#### 7.) Срок хранения

Хранить слайды при температуре меньше  $15^{\circ}\text{C}$ . Оптимальная температура хранения  $12\div 15^{\circ}\text{C}$ . Срок хранения указан на каждой коробке. Перед использованием проверить – нет ли новообразований на слайдах. Неиспользованные слайды с новообразованиями следует уничтожить.

### Основные характеристики исследуемых реагентов

Таблица П. 3.1. Характеристики некоторых реагентов марки ВТИАМИН и аналогов

Реагент	Внешний вид	Плотность при 20 <sup>0</sup> С, г/см <sup>3</sup>	Водородный показатель, рН реагента	Область применения
ВТИАМИН ТС-4	Жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета	1,20÷1,30	6,0÷9,0	СОО
ВТИАМИН ТС-6	Жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета	1,07÷1,17	менее 3,0	СОО
ВТИАМИН ТС-34	Жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета	1,15÷1,25	менее 6,0	СОО
ВТИАМИН Б-1	Прозрачная жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета	1,14÷1,25	3,0÷7,0 (1% р-ра)	СОО
ВТИАМИН Б-2	Мутная жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета. Допускается незначительный осадок	0,95÷1,05	6,0÷9,0	СОО
ВТИАМИН Б-6	Прозрачная жидкость от бесцветного до желто-зеленого цвета	1,00÷1,10	2,0÷4,0	СОО и УОО
ВТИАМИН МО-29	Жидкость от бесцветного до светло-зеленого цвета	1,0÷1,10	2,0÷4,0	СОО
ВТИАМИН Б-8	Прозрачная жидкость	1,0÷1,10	-	СОО
ВТИАМИН Б-11	Жидкость от бесцветного до желтого цвета	1,35÷1,50	6,5÷8,0	СОО

## Показатели качества исследуемых вод

Таблица П. 4.1. Показатели качества циркуляционной воды

Дата (время отбора)	Речная вода, точка отбора - ЦНС						Циркуляционная вод, точка отбора- конденсатор ТГ										Работающее оборудование
	Ж общ,	С/С	Ж са,	Щ,	Сl,	Сu	С/С	Ж Са	Ж общ	Щ,	Сl,	К упар	Сu	ТрСа	Доза ЗС-6	Доза ТС-5	
ед.изм	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	экв/дм <sup>3</sup>	экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	По Сl	мкг/дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	ТГ №, Насос ПНС-2 №, насос-дозатор ВТИАМИНа и т.д.
02.07.2018	5,1		4,1	2,4	54		330	4,3	6	0,2/2,8	64	1,19		88,49			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
03.07.2018	5		4	2,4	42		380	5,6	7	0,3/3,3	76	1,81		77,37	0,5		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
04.07.2018	4,6		3,7	2,5	38	3,9	328	3,8	5,9	0,3/3,3	55	1,45	41	70,96			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
05.07.2018	4,8		3,8	2,5	38		311	4,3	5,6	0,3/3,1	47	1,24	9	91,49			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
06.07.2018	5,3		4,2	2,7	40	5	332	4,3	6	0,3/3,1	47	1,18	35	87,13		5,6	ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
07.07.2018	5,4		4,3	2,7	44		343	4,7	6,4	0,3/3,2	50	1,14		96,19			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
08.07.2018	4,9		3,9	2,6	54		331	4,3	5,9	0,2/3,1	58	1,07		102,65	0,1		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
09.07.2018	5,7		4,6	2,5	58		345	4,4	6	0,3/3	66	1,14	29	84,06			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
10.07.2018	5,5		4,4	2,6	58	4,7	365	4,4	6,5	0,3/3,1	69	1,19		84,06			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
11.07.2018	5,5		4,4	2,5	44		362	3,8	6,5	0,3/3	60	1,36		63,33			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
12.07.2018	5,6		4,5	2,7	51		360	4,1	6,5	0,2/3,2	59	1,16	26,5	78,76	0,57		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
13.07.2018	5,4	303	4,3	2,7	48		363	4,2	6,5	0,2/3,1	60	1,25		78,14	0,55	2,2	ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
14.07.2018	5,1		4,1	2,6	42		342	4,7	6,2	0,3/3,1	53	1,26		90,84			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
15.07.2018	5	298	3,4	2,5	50		340	4,6	6,2	0,3/3,1	57	1,14		118,68			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
16.07.2018	5	298	4	2,4	52		362	4,4	6,3	0,2/3,2	62	1,19	24,7	92,26	0,13		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
17.07.2018	4,9	273	3,5	2,7	39	5,6	368	4,5	6,2	0,3/3,3	58	1,49		86,45	0,11		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
18.07.2018	4,7	262	3,4	2,4	34		350	5	6,5	0,2/3,2	54	1,59		92,59			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
19.07.2018	4,5	254	3,6	2,4	30		315	4,8	6	0,2/3,0	43	1,43	29	93,02	0,3		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6
20.07.2018	4,5	254	3,7	2,5	30		307	3,9	5,7	0,3/3,1	40	1,33		79,05	0,2	6,1	ТГ-2, ЦН-№2,3, НД- ТС5,НД-ЗС6

Дата (время отбора)	Речная вода, точка отбора - ЦНС						Циркуляционная водв, точка отбора- конденсатор ТГ										Работающее оборудование
	Ж общ,	С/С	Ж са,	Щ,	СІ,	Сu	С/С	Ж Са	Ж общ	Щ,	СІ,	К упар	Сu	ТрСа	Доза ЗС-6	Доза ТС-5	
ед.изм	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	экв/дм <sup>3</sup>	экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	По СІ	мкг/дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	
21.07.2018	4,6	254	3,5	2,5	32		313	4,4	5,8	0,2/3,3	41	1,28		98,12			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
22.07.2018	4,5	244	3,4	2,5	29		296	4,3	5,8	0,3/3,2	39	1,34		94,04			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
23.07.2018	4,9	225	3,5	2,6	34		293	4,5	6	0,3/3,3	41	1,21	29	106,62	0,57		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
24.07.2018	5	247	3,3	2,8	36		299	4,2	5,8	0,2/3,2	43	1,19	29,1	106,55	0,42		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
25.07.2018	4,7	253	3,2	2,6	30		302	4,2	5,8	0,2/3,2	44	1,47		89,49	0,3	7,2	ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
26.07.2018	4,8	270	3,7	2,6	33		316	4,7	5,8	0,2/3,1	40	1,21	25,6	104,80	0,3		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
27.07.2018	5,3	298	4,1	2,6	39		342	4,9	6,2	0,2/3,2	44	1,13		105,93	0,32		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
28.07.2018	5,8	292	4,5	2,8	43		315	4,9	6,9	0,4/3,4	53	1,23		88,34			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
29.07.2018	6,2	308	4,8	3	46		343	5,7	7,4	0,3/3,6	56	1,22		97,54			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
30.07.2018	6,4	318	5	2,9	53		386	5,6	7,4	0,4/3,4	58	1,09	25	102,34	0,4	9,8	ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
31.07.2018	6,6	351	4,7	3	55		411	6	7,6	0,4/3,5	63	1,15		111,45	0,43		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
01.08.2018	6,4	333	4,9	3	51		373	6	7,7	0,4/3,5	63	1,24		99,13	0,48		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
02.08.2018	6,4	352	4,5	2,9	50		390	5,9	7,8	0,3/3,6	63	1,26	21,8	104,06	0,64		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
03.08.2018	6,4	320	4,9	2,9	51		356	6	7,7	0,2/3,4	62	1,22		100,72	0,55		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
04.08.2018	6,1	314	4,8	2,9	50		352	5,9	7,5	0,2/3,5	61	1,22		100,75			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
05.08.2018	6,1	384	4,5	2,8	53		393	5,5	7,4	0,3/3,7	69	1,30		94,02			ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
06.08.2018	6,4	324	4,7	2,8	52		397	5,9	8,3	0,2/3,8	70	1,35	53 (ТГ-1)	93,25	0,58	6	ТГ-1,2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
07.08.2018	6,3	282	4,8	2,9	55	8,5	431	7,2	9,2	0,4/4,3	77	1,40	44 (ТГ-2)	107,14	0,5		ТГ-2, ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
08.08.2018	6,3	269	4,7	2,9	55	6,5	421	6,7	8,6	0,3/4,0	76	1,38	140	103,16	0,6		ТГ-2, ТГ-3 ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
09.08.2018	6	312	4,7	2,8	48		430	6,5	8,5	0,2/3,8	74	1,54	45,7	89,71	0,2 (9 <sup>00</sup> ) 0,57 (16 <sup>45</sup> )	5,3	ТГ-2, ТГ-3 ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
10.08.2018	6,2	339	4,6	2,8	45		454	6,2	8	0,2/3,8	70	1,56	37	86,65	0,6		ТГ-2, ТГ-3 ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
11.08.2018	6	334	4,7	2,8	45		478	7,3	9,2	0,3/4,4	74	1,64		94,45			ТГ-1,2,3 ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
12.08.2018	5,9	332	4,8	2,9	45		526	7,8	9,9	0,3/4,3	85	1,89		86,03			ТГ-1,2,3 ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6

Дата (время отбора)	Речная вода, точка отбора - ЦНС						Циркуляционная водв, точка отбора- конденсатор ТГ										Работающее оборудование
	Ж общ,	С/С	Ж са,	Щ,	СІ,	Сu	С/С	Ж Са	Ж общ	Щ,	СІ,	К упар	Сu	ТрСа	Доза ЗС-6	Доза ТС-5	
ед.изм	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	мг- экв/дм <sup>3</sup>	экв/дм <sup>3</sup>	экв/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	По СІ	мкг/дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	
13.08.2018	5,9	330	4,6	3	49		526	6,9	9,7	0,3/3,8	95	1,94	44	77,37	0,74		ТГ-№, Насос ПНС-2 №, насос-дозатор ВТИАМИНа и т.д.
14.08.2018	6,1	345	4,6	2,9	58	10	486	6,5	9	0,3/3,9	88	1,52	43	93,13	0,35		ТГ-1, ТГ-2 ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
15.08.2018	6,3	355	4,9	2,9	64		504	7	9,2	0,4/4,2	92	1,44	32	99,38	0,9		ТГ-1, ТГ-2 ЦН-№2,3, НД-ТС5,НД-ЗС6
16.08.2018	6,1	347	4,7	2,9	56		486	6,9	8,9	0,4/4,1	87	1,55	32,3	94,50	0,3		ТГ-1, ТГ-2 ЦН-№2,3, НД-ТС5
17.08.2018	6,4	341	4,9	3	49		517	7,2	9,3	0,4/4,1	86	1,76	46	83,72	0,05	5,8	ТГ-1,2,3 ЦН-№2,3, НД- ТС5
18.08.2018	6,2	317	4,5	3	50		512	7,2	9,3	0,3/4,1	85	1,70		94,12	0		
19.08.2018	6,3	314	4,9	2,9	49		470	7,9	9,9	0,3/4,4	87	1,78		90,80	0		
20.08.2018	6,3	311	4,9	2,8	48		336	6,8	7,9	0,3/3,8	64	1,33	32,7	104,08	0	5,5	ТГ-2, ЦН-№3, НД-ТС5



**Внешний вид индикаторов коррозии во время проведения ОПИ на  
Приуфимской ТЭЦ**



Рис. П. 5.1. Индикатор латунный перед ОПИ. Установка 06.07.18



Рис. П. 5.2. Внешний вид индикатора коррозии во время осмотра 24.07.18 (18 дней в потоке)



Рис. П. 5.3. Внешний вид индикатора коррозии во время осмотра 03.08.2018 (28 дней в потоке)

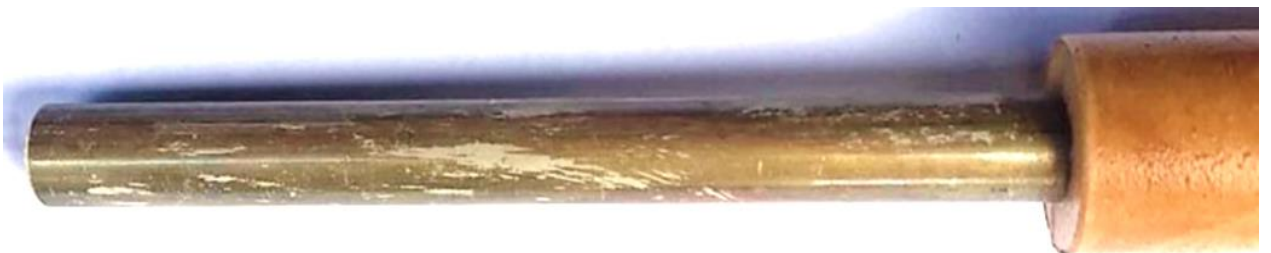


Рис. П. 5.4. Внешний вид индикаторов коррозии во время осмотра 15.08.18, неочищенные



Рис. П. 5.5. Внешний вид индикатора коррозии во время осмотра 15.08.18, очищенные после снятия

### **Пример расчета прогнозируемого экономического эффекта от углубления величины вакуума в конденсаторе и прироста мощности турбины**

Температура охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор, непосредственно влияет на температуру конденсации отработавшего в турбине пара и, следовательно, на глубину вакуума в конденсаторе и КПД турбины. Кроме того, при повышении температуры охлаждающей воды сверх определенного значения снижается мощность, отдаваемая турбиной. Установлено, что снижение температуры конденсации выходящего из турбины пара на  $10^{\circ}\text{C}$  и связанное с этим углубление вакуума на 3,2% приводит к повышению термического КПД турбины примерно на 1,4%, что равносильно увеличению мощности турбины примерно на 2,7% при том же расходе пара и топлива.

Ниже приведен пример расчета прогнозируемого эффекта от углубления величины вакуума в конденсаторе и прироста мощности турбины при реализации безнакипного режима эксплуатации оборудования системы оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1». Расчет проводился по РД 34.30.501. «Методические указания по эксплуатации конденсационных установок паровых турбин электростанций» для одного конденсатора. Так как на Калининградской ТЭЦ в работе находятся два конденсатора – расчетный технический и экономический эффект удваивается.

Исходные данные по конденсатору типа 150КП-10000-4:

1. Количество трубок - 11494 шт.;
2. Наружный диаметр трубок - 28 мм;
3. Толщина стенки трубок-1 мм;
4. Площадь поверхности охлаждения –  $10050 \text{ м}^2$ ;
5. Фактическая удельная тепловая нагрузка – 250 Гкал;
6. Материал труб - медно-никелевый сплав (МНЖ5-1), коэффициент теплопроводности -  $130 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ ;
7. Минимально допустимый расход охлаждающей воды - 2639 кг/с ( $9500 \text{ м}^3/\text{час}$ );
8. Фактический расход охлаждающей воды –  $22000 \text{ м}^3/\text{час}$ ;

9. Фактическая минимальная разница температур прямой и обратной охлаждающей воды – 11 °С.

10. Абсолютное давление отработавшего пара в конденсаторе  $p^{\phi 2} = 0,0917$  кгс/см<sup>2</sup>;

11. Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор  $t_{1в} = 25,5$  °С.

При расчете принимается, что реагентная обработка с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» позволит значительно уменьшить термическое сопротивление конденсаторной трубки и поддерживать коэффициент чистоты ( $a$ ) на уровне 0,9. При помощи инженерных расчетов по формулам, представленным ниже, определяется температурный напор, который при общих равных условиях будет соответствовать коэффициенту чистоты ( $a_1$ ) равному 0,85:

$$\delta t = \frac{\Delta t}{e^n - 1} = 1,397 \quad (\text{П.6.1})$$

$$n = \frac{k \cdot F}{c_{ж} \cdot G_0 \cdot 10^3} = 2,182 \quad (\text{П.6.2})$$

$$k = 4070 \cdot a \cdot \Phi_w \cdot \Phi_t \cdot \Phi_z \cdot \Phi_{\delta} = 5557,456 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (\text{П.6.3})$$

где  $n$  – показатель степени;  $F = 10050 \text{ м}^2$  – поверхность охлаждения конденсатора (суммарная поверхность охлаждения);  $G_0 = 22000 \text{ т/ч} = 6111,11 \text{ кг/с}$  – фактический расход охлаждающей воды;  $c_{ж} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг К})$  – удельная теплоемкость воды;  $k$  – коэффициент теплопередачи конденсатора.

Множитель, учитывающий влияние скорости охлаждающей воды:

$$\Phi_w = \frac{1,1 \cdot w^x}{\sqrt[4]{d_{вн}}} = 1,576 \quad (\text{П.6.4})$$

где  $x = 0,6 \cdot a = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54$ ;  $d_{вн} = 28 \text{ мм}$  – внутренний диаметр трубки конденсатора;  $w$  – скорость охлаждающей воды в конденсаторных трубках,

$$w = \frac{G_0 \cdot 4}{\pi \cdot d_{вн}^2 \cdot N} = 0,86346 \text{ мм/с} \quad (\text{П.6.5})$$

где  $z = 2$  – число ходов охлаждающей воды;  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды;  $N = 11494$  шт. – общее число трубок в конденсаторе.

Множитель, учитывающий влияние температуры охлаждающей воды:

$$\Phi_t = \left(1 - \frac{b \cdot \sqrt{a}}{1000} \cdot 35 - t_{1в}\right)^2 = 0,962 \quad (\text{П.6.6})$$

где  $b = 0,52 - 0,0072 \cdot dk = 0,435$ , где  $dk$  – удельная паровая нагрузка,

$$dk = \frac{D_k \cdot 1000}{F} = 11,683 \text{ г/(м}^2\text{сек)} \quad (\text{П.6.7})$$

где  $D_k$  – расход пара в конденсатор,

$$D_k = \frac{G_0 \cdot C_{ж} \cdot \Delta t}{\Delta h_k} = 117,142 \text{ кг/сек} \quad (\text{П.6.8})$$

$\Delta h_k = 2397$  кДж/кг – разница энтальпий пара и конденсата. Множитель, учитывающий влияние числа ходов:

$$\phi_z = 1 + \frac{z-2}{15} \left( 1 - \frac{t_{1в}}{45} \right) = 1,00 \quad (\text{6.9})$$

Множитель, учитывающий влияние паровой нагрузки конденсатора:  $\Phi\delta = 1,0$ .

Таким образом, определив величину температурного напора, вычислим значение температуры насыщения пара в конденсаторе:

$$Ts = t_{1в} + \Delta t + \delta t = 37,897^\circ\text{C} \quad (\text{П.6.10})$$

Следовательно, давление отработавшего пара в конденсаторе, соответствующее коэффициенту чистоты,  $a = 0,85$ , будет равно  $p_2^H = 0,06836$  кгс/см<sup>2</sup>.

Применение реагентной обработки позволит получить углубление вакуума в конденсаторе:

$$\Delta p_2 = p_2^\phi - p_2^H = 0,0244 \text{ кгс/см}^2 \quad (\text{П.6.11})$$

Получаем, что при применении реагента «ВТИАМИЭКО-1» углубление вакуума в конденсаторе составит:

$$\Delta N = \Delta N_{0,01} \cdot \Delta p_2 \cdot 10^2 = 1220 \text{ кВт} \quad (\text{П.6.12})$$

где  $\Delta N_{0,01} = 500$  кВт – изменение мощности турбины при изменении вакуума в конденсаторе на 1 % (для паровой турбины Т-150-7,7 ЛМЗ определяется по диаграмме рис. П. 6.1).

Для расчета экономического эффекта принималось среднее количество часов работы турбоагрегата, с учетом времени нахождения блока в ремонте или в резерве,  $T=8760$  ч; отпускная стоимость электроэнергии потребителям  $St = 1,054$  руб./кВтч.



Поправка мощности паровой турбины Т-150-7,7 на изменение давления пара в конденсаторе

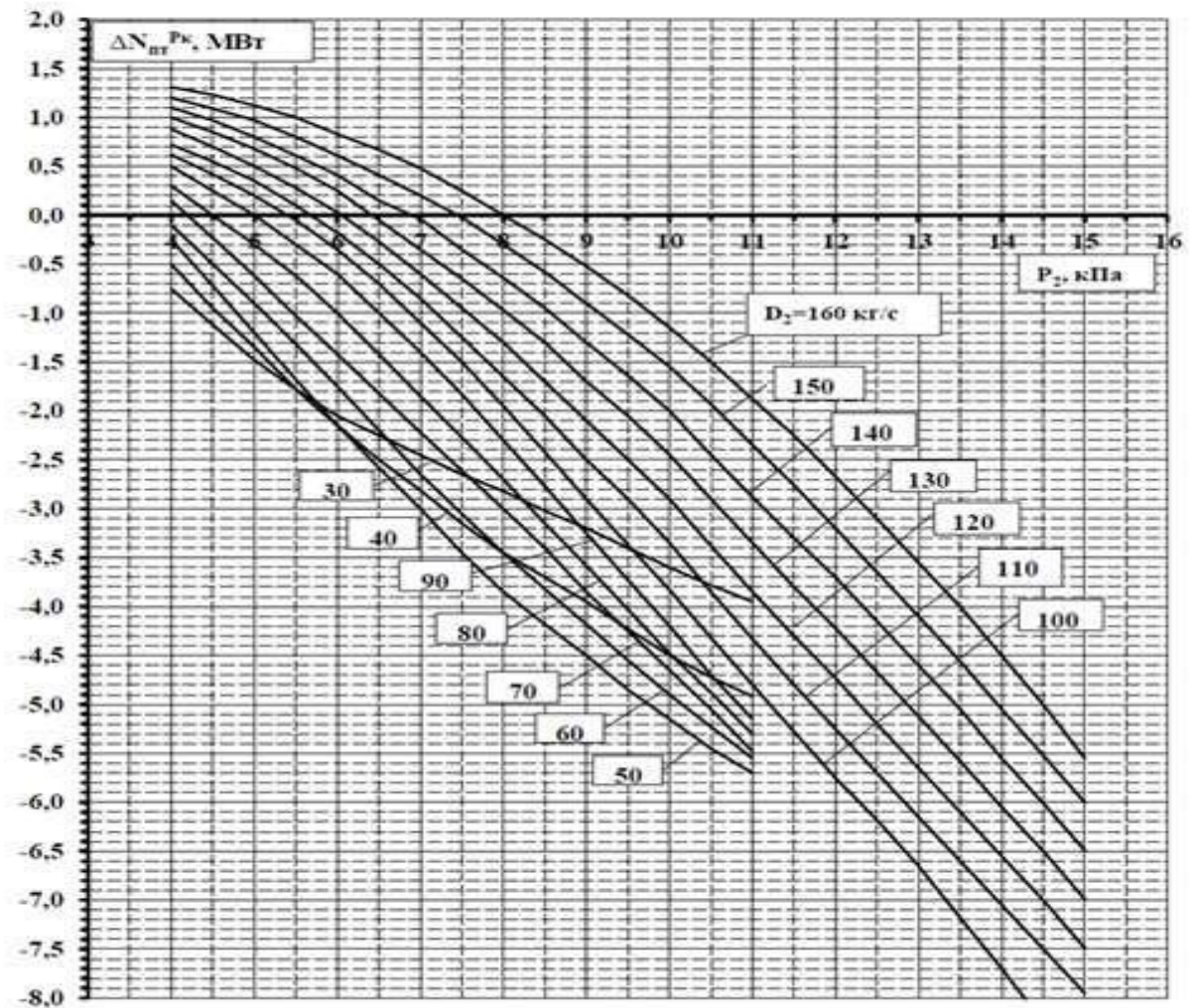


рис.ПТ-13

Давление пара в конденсаторе

Рис. П. 6.1. Диаграмма поправки мощности паровой турбины Т-150-7,7 на изменение давления пара в конденсаторе.

В результате расчета прогнозируемый денежный доход за счет выработки дополнительной электроэнергии, при поддержании необходимой чистоты трубок двух конденсаторов и снижения давления отработавшего пара в результате применения реагента «ВТИАМИН ЭКО-1», составит:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_в + P_{p1} - P_{p2} = 18\,872\,334 \text{ рублей в год}$$

Помимо выработки дополнительной мощности, снижение интенсивности образования накипных отложений позволит обеспечить оптимально гидросопротивление в трубках конденсатора и напорных водоводах системы обратного охлаждения. Это улучшит характеристики энергопотребления и эффективности циркуляционных насосов.

## Технико-экономический расчет применяемой обработки системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ ООО «БГК»

### 7.1. Краткое описание турбины ПТ-60-90

Паровая турбина ПТ-60-90 конденсационная с одним регулируемым теплофикационным отбором и нерегулируемым дополнительным отбором пара с давлением  $35 \text{ кгс/см}^2$  представляет собой двухцилиндровый одновальный агрегат. Основные характеристики турбины приведены в Таблица П. 7.1.

Таблица П. 7.1. Основные характеристики турбины

№ п/п	Наименование показателя	Обозн.	Значение	Ед. Изм.
1.	Номинальная мощность турбины	$N_n$	60 000	кВт
2.	Максимальная мощность турбины	$N_{max}$	75 000	кВт
3.	Число оборотов	$n$	3000	об/мин
4.	Давление свежего пара перед стопорным клапаном	$P_0$	90	кгс/см <sup>2</sup>
5.	Температура свежего пара перед стопорным клапаном	$t_0$	535	°С
6.	Давление в конденсаторе	$P_k$	0,035	кгс/см <sup>2</sup>
7.	Температура охлаждающей воды	$t_{ов}^1$	20 С	°С
8.	Номинальный расход свежего пара	$D_0$	291	т/ч
9.	Максимальный расход свежего пара	$D_{max}$	365	т/ч
10.	Максимальный пропуск пара в конденсатор	$D_{2max}$	170	т/ч
11.	Давление пара регулируемого теплофикационного отбора	$P_{по}$	0,7÷2,5	ата

### 7.2. Масляная система

Масляная система турбины снабжает маслом, как САР при давлении  $20 \text{ кгс/см}^2$ , так и систему смазки подшипников при давлении  $0,8 \text{ кгс/см}^2$  после маслоохладителей (замеряется па уровне подшипников). Подача масла на САР при работе ТГ производится с помощью центробежного насоса, приводимого от вала турбины. В систему смазки до маслоохладителей масло подается инжектором, расположенным в масляном баке.

Для пуска и останова турбины предусмотрен ПМН производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч, который обеспечивает маслом как систему регулирования, так и систему смазки с электродвигателем переменного тока с вращением 1000 об/мин.

Резервный МНС производительностью 108 м<sup>3</sup>/ч при 1450 об/мин обеспечивает систему смазки до включения ПМН. На одном валу МНС установлены два электродвигателя: один постоянного, а другой переменного тока.

Емкость масляной системы составляет около 16 тонн, емкость масляного бака 14 м<sup>3</sup>.

Маслоохладители типа МП–65–90 служат для охлаждения масла и поддержания температуры в пределах 40÷45 °С.

### 7.3. Конденсационная установка

Для охлаждения отработанного пара турбины и создания вакуума установлен двухходовой конденсатор типа 50–КСЦ–4 с поверхностью охлаждения 3000 м<sup>2</sup>.

Гидравлическое сопротивление конденсатора при расходе охлаждающей воды 8000 м<sup>3</sup>/ч равно 3.6 м вод. ст. Максимально допустимое рабочее давление внутри водяного пространства конденсатора составляет 1,6 кгс/см<sup>2</sup>.

После реконструкции часть трубок в верхней части конденсатора выделена для предварительного подогрева артезианской воды. Также организована возможность перевода левой половины конденсатора на артезианскую воду, при этом максимально допустимое рабочее давление внутри водяного пространства составляет 1,6 кгс/см<sup>2</sup>.

На турбине установлено два основных трехступенчатых эжектора типа ЭП–3–600–4, и один пусковой эжектор типа ЭП–1–600–3 для быстрого подъема вакуума до – 0,81 кгс/см<sup>2</sup> (600 мм рт. ст.). Расход пара на основной эжектор составляет 600 кг/ч. Расход пара на пусковой эжектор составляем 800 кг/ч.

Источником питания эжекторов служит пар из трубопровода пара ДВД или из цехового коллектора промотбора. Слив конденсата рабочего пара основных эжекторов по ступеням выполнен каскадным, с отводом из первых ступеней в конденсатор.

Для откачки конденсата из конденсатора установлены два конденсатных насоса с производительностью 120 м<sup>3</sup>/ч каждый.



#### 7.4. Регенеративная система

Для подогрева конденсата турбины и питательной воды паром, отбираемым из промежуточных ступеней турбины, установлены четыре ПНД и три ПВД. Для охлаждения пара из промежуточных камер лабиринтовых уплотнений служит СП, а для отсоса и охлаждения пара из крайних концевых уплотнений ВО и ОВ (см.табл. П. 7.2). Конденсат после КН поступает в поверхностный охладитель основного эжектора (см.табл. П. 7.3)., гидравлическое сопротивление которого при расходе 100 т/ч составляет 1 м вод. ст. Отсос пара из первых (считая снаружи) камер лабиринтовых уплотнений обоих цилиндров турбины производится в вакуумный охладитель (ВО) горизонтального типа эжектором, поддерживающим давление в охладителе  $-0,06 \div 0,04$  кгс/см<sup>2</sup>. Рабочим паром эжектора служит пар из уравнительного трубопровода ДВД.

Во вторые камеры уплотнений ЦВД и ЦНД подается пар из уравнительной линии ДВД через клапан, управляемый регулятором подачи пара на уплотнения, который автоматически поддерживает давление «после себя» таким, чтобы в коллекторе подачи было давление пара и диапазоне от 0,1 до 0,3 кгс/см<sup>2</sup>.

Пар из третьих камер уплотнения ЦВД и переднего уплотнения ЦНД отсасывается в сальниковый подогреватель (СП) вертикального типа, в котором поддерживается давление не более 0,3 ата. Охладители по охлаждающей воде включены в линию основного конденсата: первый – после основных эжекторов, а второй – после ПНД-1.

Пар из четвертой камеры переднего уплотнения ЦВД отводится в трубопровод третьего отбора (на ПВД-5) до КОС.

Пар из пятой камеры переднего уплотнения ЦВД отводится в трубопровод первого отбора (на ПВД-7) до КОС. На линии этого отвода установлена задвижка, позволяющая отсечь трубопровод отсоса от первого отбора и подать через специальный трубопровод в первую камеру переднего каминного уплотнения свежий пар для подогрева ротора, что позволяет маневрировать относительным расширением РВД.

Таблица П. 7.2. Характеристики СП, ВО, ОВ

№ п/п	Наименование показателя	Ед. Изм.	СП	ВО	ОВ
1.	Тип	–	БО–90	ПС–50	ОГ–28
2.	Площадь теплообмена	м <sup>2</sup>	90	50	28
3.	Давление в корпусе	кгс/см <sup>2</sup>	0,5	0,5	4
4.	Температура теплоносителя в корпусе	°С	175	140	150
5.	Давление в трубной системе	кгс/см <sup>2</sup>	14	16	16
6.	Температура теплоносителя в трубной системе	°С	110	180	130

Таблица П. 7.3. Характеристики ОЭ

№ п/п	Наименование показателя	Ед. Изм.	Значения
1.	Тип	–	ЭП–3–600–4
2.	Расход пара на эжектор	кг/ч	600
3.	Давление в корпусе	кгс/см <sup>2</sup>	0,5
4.	Давление в трубной системе	кгс/см <sup>2</sup>	16

После поверхностных ПНД–1÷4 подогретый конденсат направляется на ДВД. ПНД–1 встроен в конденсатор турбины и обогревается паром из 7–го отбора. По конструкции ПНД–2÷4 одинаковы. ПНД–2÷4 снабжены регулируемыми клапанами для отвода конденсата и поддержания уровня в корпусах ПНД. Слив конденсата греющего пара из ПНД–2÷4–каскадный, а из ПНД–1–через гидрозатвор в конденсатор. При нагрузке до 30 % конденсат после ПНД–2 через гидрозатвор сливается в конденсатор. При нагрузке более 30 % конденсат греющего пара подъемными насосами подается в линию основного конденсата до ПНД–3.

ПВД–5÷7 рассчитаны для последовательного подогрева питательной воды после ДВД. Водяная сторона подогревателей рассчитана на давление 230 кгс/см<sup>2</sup>. Полное давление питательных насосов составляет 180 кгс/см<sup>2</sup>. Трубная система подогревателей состоит из стальных трубок. ПВД снабжены регулируемыми клапанами отвода конденсата для поддержания уровня конденсата в корпусах ПВД. Конденсат греющего пара ПВД отводится каскадно: из ПВД–7 в ПВД–6, из ПВД–6 в ПВД–5, и далее на ДВД.

ПВД имеет групповое защитное устройство, которое отключает его по пару и питательной воде, и направляет питательную воду помимо ПВД.

#### 7.5. Предельные режимы работы турбоустановки

Работа турбины не допускается при давлении пара в камере ТО выше 1,5 кгс/см<sup>2</sup> и ниже 0,3 кгс/см<sup>2</sup>. Допустимый расход охлаждающей воды через

конденсатор – 8000 м<sup>3</sup>/ч. При нагрузке 50 МВт, давлении в камере ТО 0,2 кгс/см<sup>2</sup> максимальная величина ТО составляет 160 т/ч. Нерегулируемый производственный отбор в количестве 40 т/ч обеспечивается при расходе свежего пара свыше 263 т/ч.

При нагрузке 60 МВт, давлении в камере ТО 0,2 кгс/см<sup>2</sup> номинальная величина ТО составляет 115 т/ч. Минимальный пропуск пара в ЧНД при закрытой поворотной диафрагме с давлением в камере ТО 0,2 кгс/см<sup>2</sup> составляет 12 т/ч. При работе турбины с отключенными отборами пара (чисто конденсационный режим) мощность составляет 60 МВт. Турбина может быть нагружена при включенных отборах до 75 МВт за счет увеличения расхода пара и комбинации величин отборов. Величины и сочетания отборов определяются диаграммой режимов при соблюдении следующих условий:

- номинальных параметрах пара, номинальной температуре охлаждающей воды и полностью включенной регенерации;
- давление в камере регулирующей ступени ВД не должно превышать 76 кгс/см<sup>2</sup>;
- давление в камере ТО должно находиться в диапазоне 0,1÷0,5 кгс/см<sup>2</sup>;
- давление в камере регулирующей ступени ЧНД (за 16 ступенью) не должно превышать 14,5 кгс/см<sup>2</sup>;
- расход пара в конденсатор не должен превышать 170 т/ч.

При работе с перегрузом давления в камерах отборов повышаются максимально допустимые значения давления и температуры в отборах (табл. П.7.4).

Таблица П. 7.4. **Параметры отборов пара**

№ п/п	№ отбора	Подогреватель	Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Температура, °С	Ступень
1.	Доп. отбор		49	450	5
2.	I	ПВД-7	39	435	8
3.	II	ПВД-6	25	375	12
4.	III	ПВД-5, ДВД	19	330	15
5.	IV	ПНД-4	11	272	18
6.	V	ПНД-3	7	225	20
7.	VI	ПНД-2	0,2÷1,5	127	24
8.	VII	ПНД-1	-0,5	80	26

Давление в подогревателях должно быть ниже давления в отборах на 5÷6 %. Контрольным в эксплуатации является давление в камере за регулирующей

ступенью, которое не должно превышать при включенных регенеративных отборах  $76 \text{ кгс/см}^2$ . Прекращение работы регенеративных подогревателей происходит, как правило, при следующих условиях:

- ПНД–1. Встроен в конденсатор, по пару не отключается. При номинальной температуре охлаждающей воды нагрев в нем прекращается при снижении расхода пара на конденсатор ниже  $39 \text{ т/ч}$ .
- ПНД–2. При давлении в камере ТО, равном  $0,2 \text{ кгс/см}^2$  и увеличении отбора свыше  $110 \text{ т/ч}$  может произойти закрытие обратного клапана на паропроводе шестого отбора.
- ПНД–4. При увеличении давления пара за ЦВД выше  $11,4 \text{ кгс/см}^2$  происходит естественное повышение давления в камере 4 отбора до  $5 \div 8 \text{ кгс/см}^2$ . В результате этого температура основного конденсата доходит до  $160^\circ\text{C}$ , что критично для деаэрата. Поэтому на режимах с давлением в 3–м отборе от  $11,4 \text{ кгс/см}^2$  и более следует контролировать режим работы ПНД–4 не допуская перегрева основного конденсата свыше  $155^\circ\text{C}$  прикрытием задвижки по пару.
- ПВД–5,6,7. При снижении давления пара в камере 3–го отбора ниже  $6,8 \text{ кгс/см}^2$  (при температуре насыщения ниже  $169^\circ\text{C}$ ) подача пара на ПВД–5 перекрывается обратным клапаном из–за невозможности нагреть питательную воду, выходящую из питательных насосов с температурой  $161^\circ\text{C}$ . ПВД–6 перекрывается обратным клапаном при снижении давления во втором отборе до  $6,9 \text{ кгс/см}^2$ . При снижении давления пара в камере 3–го отбора ниже  $10 \text{ кгс/см}^2$  группу ПВД следует отключить.
- При расходе свежего пара менее  $114 \text{ т/ч}$  следует отключить питание деаэрата из 3–го отбора турбины.

#### 7.6. Обработка исходных данных

Анализ работы и обработка результатов испытаний проводятся при работе конденсатора в следующих режимах:

1. Начальный (первый) этап – в период с 20.08.18 по 06.09.18 до начала введения «ВТИАМИН ТС–5»;

2. Экспериментальный промежуточный (второй) этап – в период с 20.10.18 по 05.11.18 – переходный период, в котором происходила начальная отмывка поверхности нагрева и стабилизация водно-химического режима;

3. Экспериментальный стабильный (третий) этап – в период с 16.12.18 по 26.12.18 при стабильном водно-химическом режиме с применением «ВТИАМИН ТС–5»;

В период с 20.08.18 по 06.09.18 турбоагрегат работал в переменном режиме с характерным изменением нагрузки в течении суток.

В среднем с 0 часов по 10 часов утра мощность турбогенератора составляла  $N_3=30\div 32$  МВт, расход острого пара  $D_0$  от 155 до 185 т/ч и расход основного конденсата  $G_{двд}$  от 25 до 55 т/ч. С 10 до 0 часов мощность турбогенератора составляла  $N_3=60$  МВт, расход острого пара  $D_0\approx 315$  т/ч и расход основного конденсата  $G_{двд}$  от 100 до 125 т/ч (Приложение 5).

Второй и третий периоды характеризуются стабильной работой турбогенератора со следующими показателям:

- мощность турбогенератора составляла  $N_3=61\div 63$  МВт;
- расход острого пара  $D_0$  от 375 до 400 т/ч;
- расход основного конденсата  $G_{двд}$  от 30 до 40 т/ч.

Для анализа были выбраны режимы работы с более–менее одинаковой нагрузкой конденсатора, т.е. с расходом основного конденсата на ДВД в диапазоне от 25 до 55 т/ч.

В первоначальных расчетах использованы значения барометрического давления, предоставленные Заказчиком, в котором приведены только среднесуточные значения. Повторно заказчиком также не были предоставлены часовые значения барометрического давления. Принимая во внимание замечание Заказчика, были использованы данные с сайта <https://www.meteoservice.ru/archive/salavat/2018>.

Так как Заказчиком повторно не были предоставлены температуры основного конденсата за СП и ОЖ, в расчете использован рекомендованный в литературе подогрев основного конденсата в этих теплообменниках

При повторном расчете ПНД-2,3,4 использованы фактические температур основного конденсата за подогревателями. Также при повторном расчете использована предоставленная температура греющего пара на ПНД.

Из расчета экономического эффекта исключена величина переохлаждения конденсата.

### 7.7. Методика расчета

Основным показателем эффективности работы конденсатора является давление пара  $P_k$  в его переходном патрубке или производные этого параметра—разрежение, или вакуум  $V$ , т. е. разность между барометрическим давлением  $B$  и давлением пара в конденсаторе  $P_k$ , а также вакуум, выраженный в процентах барометрического давления.

Давление в конденсаторе зависит от следующих основных параметров: температуры охлаждающей воды на входе, кратности охлаждения, коэффициента теплопередачи и удельной паровой нагрузки. Необходимо также иметь в виду, что в общем случае на эффективность работы оказывают влияние паровое сопротивление конденсатора и переохлаждение конденсата.

Абсолютное давление в конденсаторе рассчитывается по формуле:

$$P_k = \frac{B - V}{735.6}, \text{ ата.} \quad (\text{П.7.1})$$

где:  $V$ —вакуум в конденсаторе, мм. рт. ст,  $B$ —барометрическое давление, мм. рт. ст.

Вакуум в конденсаторе рассчитывается по формуле:

$$V_0 = \frac{V}{B} \cdot 100, \% \quad (\text{П.7.2})$$

Давление в конденсаторе  $P_k$  однозначно определяется температурой насыщения  $t_n$ , соответствующей этому давлению. Зная абсолютное давление в конденсаторе из термодинамических таблиц определяется температура насыщения, соответствующая данному давлению.

Недогрев охлаждающей воды в конденсаторе (или температурный напор)  $\delta t$  до температуры насыщения зависит от удельной паровой нагрузки конденсатора, чистоты его поверхности теплообмена (отложений), воздушной плотности, температуры и скорости охлаждающей воды, материала трубок и т.д.

Температурный напор характеризует эффективность работы конденсатора и любые мероприятия, приводящие к увеличению коэффициента теплопередачи, к интенсификации теплообмена в конденсаторе (удаление отложений на трубках), однозначно приводят к его снижению. Температурный напор рассчитывается по формуле:

$$\delta t = t_n - t_{ов}^2, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{П.7.3})$$

где:  $t_n$ —температура насыщения, соответствующая абсолютному давлению в конденсаторе,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{ов}^2$ —температура охлаждающей воды на выходе из конденсатора,  $^\circ\text{C}$ .

Приведенная зависимость (П.7.3) является основополагающей для анализа эффективности работы конденсатора и всей конденсационной установки в целом, как на номинальном, так и переменном режимах работы турбоустановки.

Расход пара в конденсатор определяется расчетным путем из уравнения теплового баланса подогревателей низкого давления, так как нет данных по расходу конденсата на выходе из конденсатора. Расчетная схема для определения расхода отработанного пара приведена на рис. П. 7.1.

$$D_2 = G_{двд} - \sum D_{пнд}, \text{ кг/с}, \quad (\text{П.7.4})$$

где:  $G_{двд}$ —расход основного конденсата на ДВД, кг/с;

$\sum D_{пнд}$ —суммарный расход пара на подогреватели низкого давления, кг/с.

Суммарный расход пара на подогреватели низкого давления (рис. П. 7.1) определяется по формуле:

$$\sum D_{пнд} = D_{оэ} + D_{сп} + D_{пнд-2} + D_{пнд-3} + D_{пнд-4}, \text{ кг/с}, \quad (\text{П.7.5})$$

где:  $D_{оэ}$ —расход пара на основной эжектор, кг/с;

$D_{сп}$ —расход пара на сальниковый подогреватель, кг/с;

$D_{пнд-2}$ —расход пара на ПНД-2, кг/с;

$D_{пнд-3}$ —расход пара на ПНД-3, кг/с;

$D_{пнд-4}$ —расход пара на ПНД-4, кг/с.

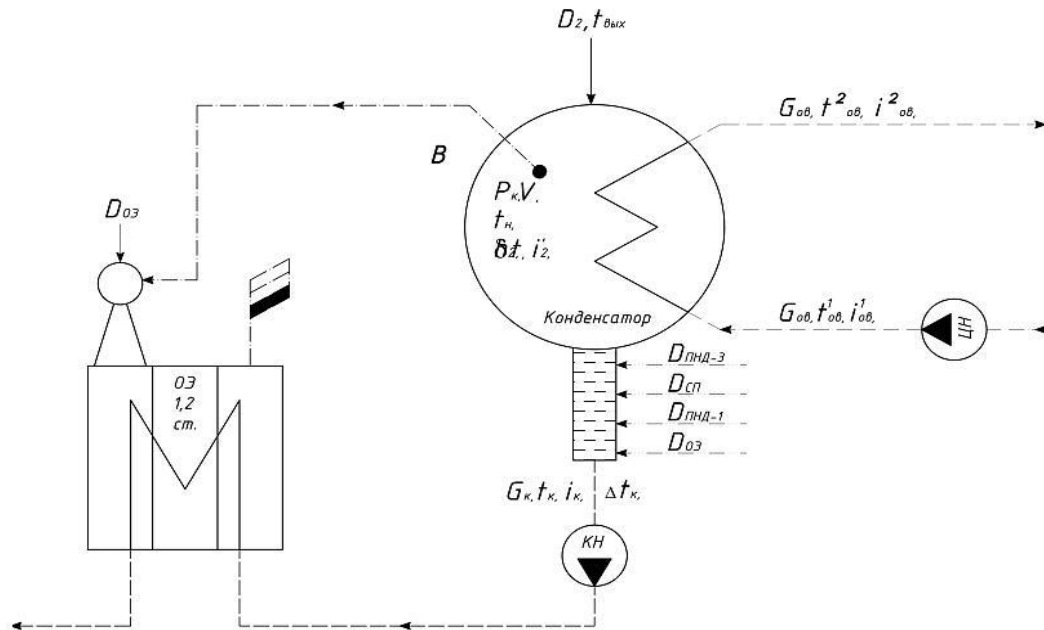


Рис. П. 7.1. Расчетная схема конденсатора

За отправную точку принимается расход конденсата на ДВД 5. Суммарный подогрев основного конденсата в основном эжекторе и в сальниковом подогревателе определяется по формуле:

$$\Delta t_{кСП+эж} = \Delta t_{кэж} + \Delta t_{кСП}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (\text{П.7.6})$$

Подогрев конденсата в основном эжекторе принимается равным  $\Delta t_{кэж}=3^\circ\text{C}$ , а в сальниковом подогревателе  $\Delta t_{кСП}=4^\circ\text{C}$ .

Расход пара на ОЭ равен 600 кг/ч, расход на СП принимается равным 0,5 % от расхода острого пара. В данном случае ПНД-1 не работает, при номинальной температуре охлаждающей воды нагрев в нем прекращается при снижении расхода пара на конденсатор ниже 39 т/ч.

Температура основного конденсата перед ПНД-2 будет равна:

$$t'_{\text{ПНД-2}} = t_{ок} + \Delta t_{кСП+эж}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (\text{П.7.7})$$

Температура основного конденсата после ПНД-2 принимается по полученным данным. Балансовая схема ПНД-2 представлена рис. П. 7.2.



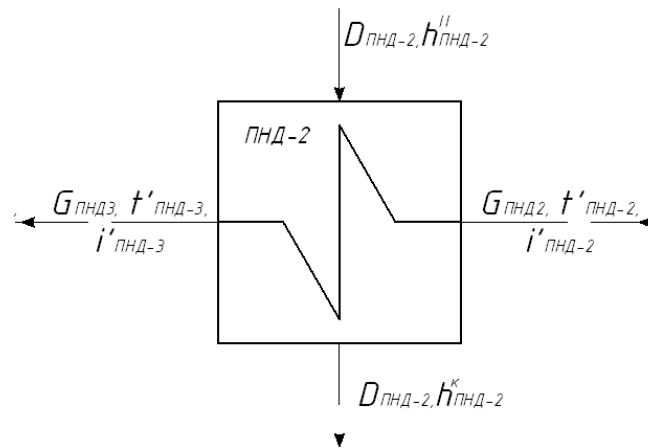


Рис.П. 7.2. Расчетная схема ПНД-2

Уравнение теплового баланса ПНД-2:

$$Q_{\text{ПНД-2}} = D_{\text{ПНД-2}} \cdot (h_{\text{ПНД-2}}^n - h_{\text{ПНД-2}}^k) = G_{\text{ДВД}} \cdot (i'_{\text{ПНД-3}} - i'_{\text{ПНД-2}}), \text{ кВт}, \quad (\text{П.7.8})$$

где:  $i'_{\text{ПНД-2}}$  – теплосодержание конденсата до ПНД-2, кДж/кг;

$h_{\text{ПНД-2}}^n$  – теплосодержание греющего пара на ПНД-2, кДж/кг;

$h_{\text{ПНД-2}}^k$  – теплосодержание конденсата греющего пара на ПНД-2, кДж/кг.

Теплосодержания пара и конденсата определяются по соответствующим параметрам.

Тепловой поток в ПНД-2 определяется по формуле:

$$Q_{\text{ПНД-2}} = G_{\text{ДВД}} \cdot (i'_{\text{ПНД-3}} - i'_{\text{ПНД-2}}), \text{ кВт}. \quad (\text{П.7.9})$$

Исходя из уравнения 7.9 расход греющего пара на ПНД-2 будет равен:

$$D_{\text{ПНД-2}} = \frac{G_{\text{ДВД}} \cdot (i'_{\text{ПНД-3}} - i'_{\text{ПНД-2}})}{h_{\text{ПНД-2}}^n - h_{\text{ПНД-2}}^k}, \text{ кг/с}, \quad (\text{П.7.10})$$

Затем определяется расход греющего пара на ПНД-3. При составлении теплового баланса третьего подогревателя учитывается каскадный слив конденсата из второго подогревателя. Балансовая схема ПНД-3 представлена рис. П. 7.3.

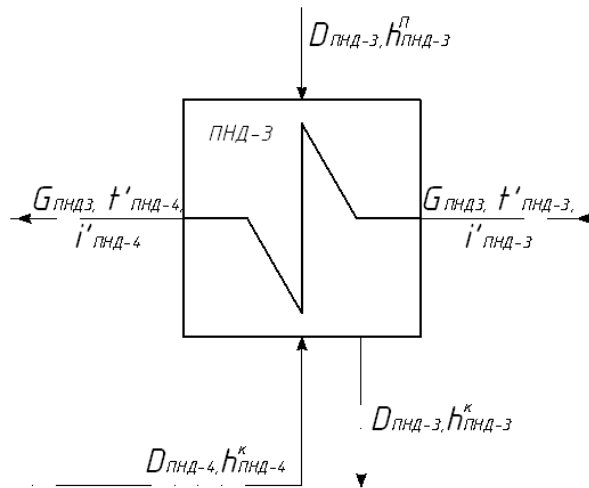


Рис. П. 7.3. Расчетная схема ПНД-3

Уравнение теплового баланса ПНД-3:

$$Q_{\text{ПНД-3}} = D_{\text{ПНД-3}} \cdot (h_{\text{ПНД-3}}^n - h_{\text{ПНД-3}}^k) - D_{\text{ПНД-4}} \cdot h_{\text{ПНД-4}}^n = G_{\text{ДВД}} \cdot (i'_{\text{ПНД-4}} - i'_{\text{ПНД-3}}), \text{ кВт}, \quad (\text{П.7.11})$$

где:  $i'_{\text{ПНД-3}}$ —теплосодержание конденсата до ПНД-3, кДж/кг;

$h_{\text{ПНД-3}}^n$ —теплосодержание греющего пара на ПНД-3, кДж/кг;

$h_{\text{ПНД-3}}^k$ —теплосодержание конденсата греющего пара на ПНД-3, кДж/кг.

Теплосодержания пара и конденсата определяются по соответствующим параметрам.

Далее определяется расход греющего пара на ПНД-3 (рис. П. 7.3). Тепловой поток в ПНД-3 определяется по формуле:

$$Q_{\text{ПНД-3}} = G_{\text{ДВД}} \cdot (i'_{\text{ПНД-4}} - i'_{\text{ПНД-3}}), \text{ кВт}. \quad (\text{П.7.12})$$

Исходя из уравнения (7.12) расход греющего пара на ПНД-3 будет равен:

$$D_{\text{ПНД-3}} = \frac{G_{\text{ДВД}} \cdot (i'_{\text{ПНД-4}} - i'_{\text{ПНД-3}}) - D_{\text{ПНД-4}} \cdot h_{\text{ПНД-4}}^n}{h_{\text{ПНД-3}}^n - h_{\text{ПНД-3}}^k}, \text{ кг/с}, \quad (\text{П.7.13})$$

И, наконец, рассчитывается расход греющего пара на ПНД-4 из уравнения теплового баланса подогревателя. Для определения расхода пара составляем уравнения теплового баланса для ПНД-4 в соответствии с расчетной схемой, приведенной на рис. П. 7.4

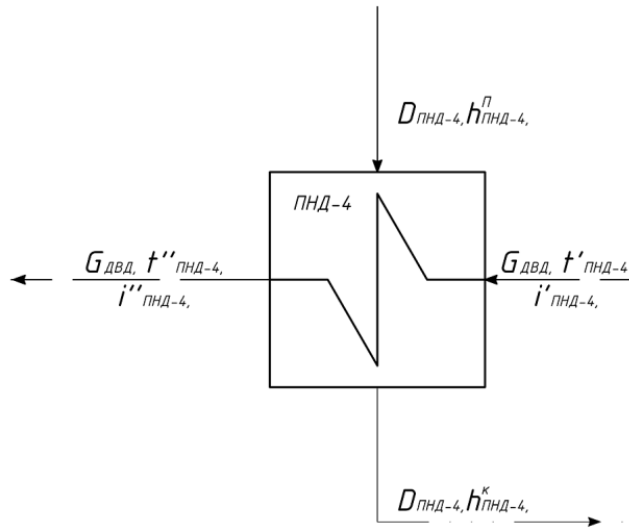


Рис. П. 7.4. Расчетная схема ПНД-4

Уравнение теплового баланса подогревателя:

$$Q_{\text{ПНД-4}} = D_{\text{ПНД-4}} \cdot (h_{\text{ПНД-4}}^n - h_{\text{ПНД-4}}^k) = G_{\text{двд}} \cdot (i''_{\text{ПНД-4}} - i'_{\text{ПНД-4}}), \text{ кВт}, \quad (\text{П.7.14})$$

где:  $G_{\text{двд}}$ —расход основного конденсата на ПНД-4, кг/с;

$i''_{\text{ПНД-4}}$ —теплосодержание конденсата после ПНД-4, кДж/кг;

$i'_{\text{ПНД-4}}$ —теплосодержание конденсата до ПНД-4, кДж/кг;

$h_{\text{ПНД-4}}^n$ —теплосодержание греющего пара на ПНД-4, кДж/кг;

$h_{\text{ПНД-4}}^k$ —теплосодержание конденсата греющего пара на ПНД-4, кДж/кг.

Теплосодержание греющего пара определяется по давлению и температуре греющего пара на ПНД-4. Теплосодержание конденсата греющего пара определяется по температуре насыщения греющего пара.

Температура основного конденсата после ПНД-4 принимается по исходным данным, температура основного конденсата до ПНД-4 равна выходной температуре конденсата после ПНД-3.

Теплосодержание основного конденсата до и после ПНД-4 определяется по его температурам. Тепловой поток в ПНД-4 определяется по формуле:

$$Q_{\text{ПНД-4}} = G_{\text{двд}} \cdot (i''_{\text{ПНД-4}} - i'_{\text{ПНД-4}}), \text{ кВт}. \quad (\text{П.7.15})$$

Расход греющего пара на ПНД-4 вытекает из уравнения (7.15):

$$D_{\text{ПНД-4}} = \frac{Q_{\text{ПНД-4}}}{h_{\text{ПНД-4}}^n - h_{\text{ПНД-4}}^k}, \text{ кг/с}, \quad (\text{П.7.16})$$

Электрическая мощность турбогенератора, выработанная в конденсационном режиме с расходом пара  $D_2$  определяется по уравнению:

$$N_2 = N_{цвд} + N_{цнд}, \text{ кВт}, \quad (\text{П.7.17})$$

где:  $N_{цвд}$ —электрическая мощность в конденсационном режиме ЦВД, кВт;

$N_{цнд}$ —электрическая мощность в конденсационном режиме ЦНД, кВт.

Электрическая мощность ЦВД в конденсационном режиме

$$N_{цвд} = D_2 \cdot (h_0 - h_{он}^n) \cdot \eta_m \cdot \eta_{эГ}, \text{ кВт}. \quad (\text{П.7.18})$$

где:  $h_0$ —теплосодержание острого пара, кДж/кг;

$h_{он}^n$ —Теплосодержание перегретого пара на выходе ЦВД, кДж/кг;

$\eta_{эГ}$ — КПД электрогенератора;

$\eta_m$ —механический КПД турбины.

Значения КПД генератора находятся в пределах  $0,96 \div 0,99$ , механического турбины—в пределах  $0,97 \div 0,99$ .

Электрическая мощность ЦНД в конденсационном режиме

$$N_{цнд} = D_2 \cdot (h_{он}^n - h_2) \cdot \eta_m \cdot \eta_{эГ}, \text{ кВт}. \quad (\text{П.7.19})$$

где:  $h_2$ —теплосодержание отработанного пара, кДж/кг;

Нагрев охлаждающей воды определяется как разница температур циркулирующей воды на входе и выходе из конденсатора:

$$\Delta t_{ов} = t_{ов}^2 - t_{ов}^1, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (\text{П.7.20})$$

где:  $t_{ов}^1$ —температура охлаждающей воды на входе в конденсатор,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{ов}^2$ —температура охлаждающей воды на выходе из конденсатора,  $^\circ\text{C}$ .

Количество тепла, воспринятое охлаждающей водой, рассчитывается по уравнению:

$$Q_{ов} = W \cdot (i_{ов}^2 - i_{ов}^1), \text{ кВт}. \quad (\text{П.7.21})$$

где:  $i_{ов}^1$ —теплосодержание охлаждающей воды на входе в конденсатор,  $^\circ\text{C}$ .

$i_{ов}^2$ —теплосодержание охлаждающей воды на выходе из конденсатора,  $^\circ\text{C}$ .

Отношение расхода охлаждающей воды к расходу поступающего в конденсатор пара называется кратностью охлаждения.

Нагрев охлаждающей воды  $\Delta t_k$  изменяется обратно пропорционально кратности охлаждения: чем больше  $m$ , тем меньше  $\Delta t_k$  и тем ниже может быть давление в конденсаторе.

Это соотношение показывает, какое количество воды необходимо для конденсации 1 кг пара и определяется по формуле:

$$m = \frac{W}{D_2} \frac{\text{кг воды}}{\text{кг пара}}, \quad (\text{П.7.22})$$

где:  $W$ —расход охлаждающей воды, т/ч;  $D_2$ —расход пара в конденсатор, т/ч.

Удельная паровая нагрузка конденсатора определяется по формуле:

$$d_k = \frac{D_2}{S} \cdot 10^3, \quad \text{кг/м}^2\text{ч}. \quad (\text{П.7.23})$$

где:  $D_2$ —расход пара в конденсатор, кг/ч;  $S$ —площадь поверхности теплообмена конденсатора, м<sup>2</sup>;

Расчет по вышеприведенному алгоритму произведены для режима работы 20.08.2018 и приводятся в табл. П.7.5. Результаты расчета представлены в табл. П.7.6. Расчет для остальных дней аналогичен. Исходные данные для расчетов приведены в табл. П. 7.7-П. 7.9.

Таблица П. 7.5. Расчет режима работы турбогенератора за 20.08.2018

№ п/п	Параметр	Обозн.	Источник, формула, расчет	Значение	Ед. Изм.
1.	Барометрическое давление	B		751	мм.рт.ст
2.	Вакуум в конденсаторе	V		715	мм.рт.ст
3.	Абсолютное давление в конденсаторе	P <sub>к</sub>	$P_k = \frac{746 - 715}{735.6}$	0,049	ата
4.	Вакуум в конденсаторе	V <sub>0</sub>	$V_0 = \frac{715}{745} \cdot 100$	95,2	%
5.	Температура насыщения в конденсаторе	t <sub>к</sub>	По давлению P <sub>к</sub> =0.049 ата	32,5	°C
6.	Температурный напор конденсатора	δt	$\delta t = 29.8 - 18$	14,50	°C
7.	Теплосодержание конденсата в состоянии насыщения	i' <sub>2</sub>	По температуре насыщения t <sub>ок</sub> =32,5 °C	136,5	кДж/кг
8.	Расход основного конденсата	G <sub>к</sub>		25	т/ч
				25/3,6	6,944
9.	Подогрев конденсата в основном эжекторе	Δt <sub>кэж</sub>	–	3	°C
10.	Подогрев конденсата в сальниковом подогревателе	Δt <sub>кСП</sub>	–	4	°C
11.	Подогрев конденсата в основном эжекторе и в сальниковом подогревателе	Δt <sub>кСП+эж</sub>	$\Delta t_{кСП+эж} = \Delta t_{кэж} + \Delta t_{кСП}$	7,0	°C
12.	Температура основного конденсата за конденсатором	t <sub>ок</sub>		21	°C
13.	Температура основного конденсата за сальниковым подогревателем	t <sub>кСП</sub>	$t_{кСП} = 21 + 7$	28,0	°C
14.	Расход пара на основной эжектор	D <sub>ОЭ</sub>		0,60	т/ч
15.	Расход пара на сальниковый подогреватель	D <sub>СП</sub>		0,915	т/ч
16.	Давление греющего пара на ПНД-2	P <sub>ПНД-2</sub>		1,04	ати
17.	Температура греющего пара на ПНД-2	t <sub>ПНД-2</sub>		105	°C
18.	Теплосодержание греющего пара на ПНД-2	h <sup>п</sup> <sub>ПНД-2</sub>	По давлению и температуре P <sub>ПНД-2</sub> и t <sub>ПНД-2</sub>	2 697,1	кДж/кг
19.	Температура насыщения при давлении греющего пара на ПНД-2	t <sub>н2</sub>	По давлению греющего пара P <sub>ПНД-2</sub>	100,7	°C
20.	Переохлаждение конденсата в ПНД-2	Δt <sub>кПНД-2</sub>	Принимается	2,0	°C
21.	Температура конденсата греющего пара на ПНД-2	t <sub>к2</sub>	100,7-2	98,7	°C
22.	Теплосодержание конденсата греющего пара на ПНД-2	h <sup>к</sup> <sub>ПНД-2</sub>	По температуре насыщения при давлении греющего пара на ПНД-3	413,3	кДж/кг
23.	Температура основного конденсата до ПНД-2	t' <sub>ПНД-2</sub>		28	°C

№ п/п	Параметр	Обозн.	Источник, формула, расчет	Значение	Ед. Изм.
24.	Теплосодержание основного конденсата до ПНД-2	$i'_{\text{ПНД-2}}$	По температуре основного конденсата до ПНД-2	117,9	кДж/кг
25.	Температура основного конденсата после ПНД-2	$t''_{\text{ПНД-2}}$		101	°С
26.	Теплосодержание основного конденсата после ПНД-2	$i''_{\text{ПНД-2}}$	По температуре основного конденсата до ПНД-2	423,0	кДж/кг
27.	Тепло воспринятое основным конденсатом в ПНД-2	$Q_{\text{ПНД-2}}$	$Q_{\text{ПНД-2}} = 6,944 \cdot (423 - 117,5)$	2 121,4	кВт
28.	Расход греющего пара на ПНД-2	$D_{\text{ПНД-2}}$	$D_{\text{ПНД-2}} = \frac{2121,4}{2697,1 - 413,3}$	0,929	кг/с
			0,929·3,6	3,344	т/ч
29.	Давление греющего пара на ПНД-3	$P_{\text{ПНД-3}}$		2,4	ати
	Температура греющего пара на ПНД-3	$t_{\text{ПНД-3}}$		193	°С
30.	Теплосодержание греющего пара на ПНД-3	$h''_{\text{ПНД-3}}$		2 865,6	кДж/кг
31.	Температура насыщения при давлении греющего пара на ПНД-3	$t_{\text{н3}}$	По давлению греющего пара $P_{\text{ПНД-3}}$	126,1	°С
32.	Переохлаждение конденсата в ПНД-3	$\Delta t_{\text{кПНД-3}}$	Принимается	2,0	°С
33.	Температура конденсата греющего пара на ПНД-3	$t_{\text{к3}}$	126,1-2	124,1	°С
34.	Теплосодержание конденсата греющего пара на ПНД-3	$h_{\text{к3}}$	По температуре насыщения при давлении греющего пара на ПНД-3	520,8	кДж/кг
35.	Температура основного конденсата до ПНД-3	$t'_{\text{ПНД-3}}$		101	°С
36.	Теплосодержание основного конденсата до ПНД-3	$i'_{\text{ПНД-3}}$	По температуре основного конденсата до ПНД-3	423	кДж/кг
37.	Температура основного конденсата после ПНД-3	$t''_{\text{ПНД-2}}$		138	°С
38.	Теплосодержание основного конденсата после ПНД-3	$i''_{\text{ПНД-2}}$	По температуре основного конденсата до ПНД-3	580,3	кДж/кг
39.	Тепло воспринятое основным конденсатом в ПНД-3	$Q_{\text{ПНД-3}}$	$Q_{\text{ПНД-3}} = 6,944 \cdot (580,3 - 423)$	1092,3	кВт
40.	Расход греющего пара на ПНД-3	$D_{\text{ПНД-3}}$	$D_{\text{ПНД-3}} = \frac{1092,3 - 0,147 \cdot 599,6}{2865,6 - 520,8}$	0,428	кг/с
41.	Давление греющего пара на ПНД-4	$P_{\text{ПНД-4}}$		4,1	ати
42.	Температура греющего пара на ПНД-4	$t_{\text{ПНД-4}}$		152	°С
43.	Теплосодержание греющего пара на ПНД-4	$h''_{\text{ПНД-4}}$		2783	кДж/кг
44.	Температура насыщения при давлении греющего пара на ПНД-4	$t_{\text{н4}}$	По давлению греющего пара $P_{\text{ПНД-4}}$	144,5	°С
45.	Переохлаждение конденсата в ПНД-4	$\Delta t_{\text{кПНД-4}}$	Принимается	2,0	°С
46.	Температура конденсата греющего пара на ПНД-4	$t_{\text{к4}}$	144,5-2	142,5	°С

№ п/п	Параметр	Обозн.	Источник, формула, расчет	Значение	Ед. Изм.
47.	Теплосодержание конденсата греющего пара на ПНД-4	$h^k_{\text{ПНД-4}}$	По температуре насыщения при $P_{\text{ПНД-4}}$	599,6	кДж/кг
48.	Температура основного конденсата до ПНД-4	$t^1_{\text{ПНД-4}}$		138,0	°С
49.	Теплосодержание основного конденсата до ПНД-4	$i^1_{\text{ПНД-4}}$	По температуре основного конденсата до ПНД-4	580,3	кДж/кг
50.	Температура основного конденсата после ПНД-4	$t^2_{\text{ПНД-4}}$		151	°С
51.	Теплосодержание основного конденсата после ПНД-4	$i^2_{\text{ПНД-4}}$	По температуре основного конденсата за ПНД-4	636,3	кДж/кг
52.	Тепло воспринятое основным конденсатом в ПНД-4	$Q_{\text{ПНД-4}}$	$Q_{\text{ПНД-4}} = 6,944 \cdot (636,3 - 580,3)$	388,9	кВт
53.	Расход греющего пара ПНД-4	$D_{\text{ПНД-4}}$	$D_{\text{ПНД-4}} = \frac{388,9}{2783 - 580,3}$	0,147	кг/с
			$0,147 \cdot 3,6$	0,529	т/ч
54.	Суммарный расход пара на подогреватели низкого давления	$\Sigma D_{\text{ПНД}}$	$\Sigma D_{\text{ПНД}} = 0,6 + 0,915 + 3,344 + 1,541 + 0,529$	6,9	т/ч
				1,77	кг/с
55.	Расход пара в конденсатор	$D_2$	$D_2 = 25 - 6,9$	18,1	т/ч
56.	Теплосодержание отработанного пара	$h_2$	По абсолютному давлению в конденсаторе $P_k$	2559,7	кДж./кг
57.	КПД электрогенератора	$\eta_{\text{ЭГ}}$	–	0,98	–
58.	Механический КПД турбины	$\eta_m$	–	0,99	–
59.	Электрическая мощность ЦВД в конденсационном режиме	$N_{\text{ЦВД}}$	$N_{\text{ЦВД}} = 6,944 \cdot (3550,7 - 3045,4) \cdot 0,98 \cdot 0,99$	3404,2	кВт
60.	Электрическая мощность ЦНД в конденсационном режиме	$N_{\text{ЦНД}}$	$N_{\text{ЦНД}} = 6,944 \cdot (3045,4 - 2559,7) \cdot 0,98 \cdot 0,99$	3272,2	кВт
61.	Электрическая мощность турбины в конденсационном режиме	$N_2$	$N_2 = 3404,2 + 3272,2$	6676,4	кВт
62.	Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор	$t^1_{\text{ов}}$		18	°С
63.	Температура охлаждающей воды на выходе из конденсатора	$t^2_{\text{ов}}$		15	°С
64.	Подогрев охлаждающей воды	$\Delta t_{\text{ов}}$	$\Delta t_{\text{ов}} = 18 - 15$	3,0	°С
65.	Теплосодержание охлаждающей воды на входе в конденсатор	$i^1_{\text{ов}}$	По температуре охлаждающей воды на входе в конденсатор $t^1_{\text{ов}} = 15$ °С	62,3	кДж/кг
66.	Теплосодержание охлаждающей воды на выходе из конденсатора	$i^2_{\text{ов}}$	По температуре охлаждающей воды на выходе из конденсатора $t^2_{\text{ов}} = 18$ °С	75,1	кДж/кг
67.	Расход охлаждающей воды	$W$		4000	т/ч



№ п/п	Параметр	Обозн.	Источник, формула, расчет	Значение	Ед. Изм.
			$4000/3.6$	1111,1	кг/с
68.	Тепло охлаждающей воды	$Q_{ов}$	$Q_{ов} = \frac{4000}{3.6} \cdot (75.1 - 62.3)$	14222,2	кВт
			$14222,2/4187$	12,0	Гкал/ч
69.	Кратность охлаждения конденсатора	m	$m = \frac{4000}{18,1}$	221	$\frac{кг\ воды}{кг\ пара}$
70.	Удельная паровая нагрузка конденсатора	$d_k$	$d_m = \frac{18,1}{3000} \cdot 10^3$	6	кг/м <sup>2</sup> ч

Таблица П. 7.6. Усредненные значения экспериментальных данных

Расход пара в конденсатор $D_2$ , т/ч	15	20	25	30	35	40	45
	Температурный напор $\delta t$ , °C						
Начальный период	13,6	12,8	12,2	11,9	11,7	11,4	11,4
Конечный период	11,2	9,7	8,2	6,8	5,3	3,8	2,4
Уменьшение температурного напора	2,4	3,1	4	5,1	6,4	7,6	9
	Вакуум в конденсаторе $V$ , %						
Начальный период	94,89	94,76	94,63	94,50	94,37	94,24	94,11
Конечный период	94,99	94,92	94,86	94,79	94,73	94,66	94,59
Углубление вакуума в конденсаторе	-0,094	-0,160	-0,225	-0,291	-0,356	-0,422	-0,487
	Абсолютное давление в конденсаторе $P_k$ , ата						
Начальный период	0,0510	0,0525	0,0540	0,0555	0,0570	0,0585	0,0600
Конечный период	0,0499	0,0509	0,0519	0,0529	0,0539	0,0549	0,0559
Уменьшение абсолютного давления в конденсаторе	0,0011	0,0016	0,0021	0,0026	0,0031	0,0036	0,0041
	Электрическая мощность, $\Delta N_2$ кВт						
Конечный период	5697,21	7275,26	8853,31	10431,36	12009,41	13587,46	15165,51
Начальный период	5797,7	7576,3	9354,9	11133,5	12912,1	14690,7	16469,3
Увеличение мощности турбогенератора	100,49	301,04	501,59	702,14	902,69	1103,24	1303,79

Таблица П. 7.7. Сводная таблица исходных данных за период 20.08.18–06.09.18

Дата	N	Пар										Питательная вода				Конденсатор и охлаждающая вода						Давление			Температура			Давление				Бар-кое давление					
		Расход		Давление			Температура					G <sub>пв</sub>		G <sub>двд</sub>		G <sub>ов</sub>		t <sup>1</sup> <sub>ов</sub>		t <sup>2</sup> <sub>ов</sub>		V		Р <sub>пвд-5</sub>			Р <sub>пвд-6</sub>			Р <sub>пвд-7</sub>			Перег. Отборы				
		D <sub>0</sub>	D <sub>по</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>по</sub>	P <sub>то</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>по</sub>	t <sub>то</sub>	t <sub>вых</sub>	t <sub>ок</sub>	t <sub>за пвд пв</sub>	t <sub>за пвд пв</sub>	G <sub>пв</sub>	G <sub>двд</sub>	G <sub>ов</sub>	t <sup>1</sup> <sub>ов</sub>	t <sup>2</sup> <sub>ов</sub>	V	R <sub>пвд-5</sub>	R <sub>пвд-6</sub>	R <sub>пвд-7</sub>	t <sub>пвд-5</sub>	t <sub>пвд-6</sub>	t <sub>пвд-7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	В							
		МВт	т/ч	т/ч	ати	ати	ати	°С	°С	°С	°С	°С	°С	°С	т/ч	т/ч	т/ч	°С	°С	мм.рт.ст	ати	ати	ати	°С	°С	°С	ати	ати	ати	ати	мм.рт.ст						
Источник	Оперативные ведомости																		Оперативные ведомости																		
20.08.18–06.09.18	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	18				19	20	21	54	55	56	57	58	59	62	63	64	65						
20.08.2018	32	183	16,0	90	7,8	0,16	532	279	110	31	21	149	206	230	25	4000	15	18	715	7,6	11,5	16,0	285	188	363	17,5	11,5	4,1	2,4	746							
20.08.2018	60	321	16,0	90	13,0	0,12	534	298	109	41	38	149	228	340	100	4000	23	31	685	13,0	18,8	25,8	308	309	392	28,0	19,0	7,2	4,2	746							
20.08.2018	60	321	14,0	90	13,4	0,13	534	291	109	41	39	150	230	335	104	4000	23	31	683	13,0	18,8	25,8	308	309	392	28,0	19,0	7,2	4,2	746							
21.08.2018	32	183	16,0	90	23,0	0,13	533	273	109	32	24	149	206	215	30	4000	17	23	709	7,8	18,5	15,0	286	188	361	18,0	11,5	4,0	2,4	746							
21.08.2018	60	320	10,0	91	13,2	0,13	534	283	109	43	41	149	229	330	100	4000	24	33	676	15,0	19,0	26,0	307	311	389	28,0	19,0	7,0	4,3	746							
22.08.2018	32	178	16,0	90	7,5	0,28	532	275	114	34	30	147	208	225	42	4000	21	25	700	7,8	11,5	15,0	283	188	331	18,0	11,5	4,0	2,4	746							
22.08.2018	60	313	11,0	91	13,3	0,28	534	290	113	50	48	149	228	335	125	4000	28	39	644	13,1	19,0	26,0	308	306	390	28,0	19,2	7,0	4,2	745							
23.08.2018	30	158	15,4	91	6,8	0,27	534	275	118	36	34	148	204	207	50	4000	22	27	693	7,3	11,2	14,5	287	188	365	16,0	10,5	3,7	2,1	742							
23.08.2018	30	166	16,5	92	7,1	0,27	533	275	116	34	29	150	205	215	36	4000	20	24	700	7,3	11,3	14,5	284	188	363	16,0	10,5	3,7	2,1	742							
23.08.2018	60	315	13,6	91	13,4	0,29	535	291	114	45	44	148	228	330	120	4000	23	33	670	13,3	19,0	26,0	309	313	392	28,0	19,0	7,3	4,4	742							
24.08.2018	30	165	15,5	90	33,0	0,3	535	276	120	32	26	149	202	230	40	4000	18	21	709	7,4	11,0	15,0	284	186	361	16,5	10,8	3,9	2,3	745							
24.08.2018	60	315	14,8	90	13,5	0,33	536	294	115	40	39	147	229	340	108	4000	22	30	690	13,5	19,0	26,0	310	313	391	28,2	19,2	7,4	4,5	745							
25.08.2018	30	160	13,8	91	7,0	0,18	532	270	115	34	30	148	201	208	51	4000	21	24	704	7,0	10,0	15,0	283	188	360	16,5	11,5	4,0	2,3	745							
25.08.2018	45	225	14,0	91	10,4	0,36	534	278	116	36	33	146	218	257	79	4000	22	27	698	10,5	15,0	21,0	317	201	273	22,8	15,0	5,5	3,4	745							
25.08.2018	60	317	11,0	91	13,2	0,29	535	288	114	41	39,0	147	228	330	117	4000	23	30	688	13,0	19,0	26,0	300	307	393	28,0	19,0	7,5	4,0	745							
26.08.2018	30	163	16,4	92	7,2	0,29	535	275	118	33	27	148	204	205	45	4000	19	22	709	7,1	11,8	16,0	285	300	362	16,2	12,0	4,0	2,3	745							
26.08.2018	60	327	12,0	91	13,5	0,28	535	290	114	42	40,0	145	229	325	120	4000	24	31	686	13,5	19,0	26,0	310	394	128	28,0	19,0	7,3	4,4	745							
27.08.2018	34	188	22,4	92	7,5	0,28	535	272	113	36	33,0	150	208	255	45	4000	22	28	703	7,5	12,0	16,5	281	220	363	18,2	12,0	4,1	2,4	746							
27.08.2018	60	307	18,0	91	12,9	0,52	535	299	120	50	48,0	140	227	320	105	4000	27	38	650	12,5	18,0	25,0	308	318	391	27,0	18,0	7,0	4,3	746							
27.08.2018	62	309	9,0	91	13,6	0,63	535	289	122	52	51,0	126	228	371	117	4000	28	40	642	15,5	19,5	26,0	308	318	391	28,0	19,0	7,5	4,6	746							
27.08.2018	32	161	19,2	91	7,5	0,27	538	272	138	38	35,0	148	205	195	77	4000	22	28	700	7,1	11,7	15,0	287	188	364	16,0	10,5	3,8	2,2	746							
27.08.2018	60	310	17,4	91	13,6	0,53	539	305	120	52	49,0	138	229	369	139	4000	28	38	647	13,5	19,0	26,0	313	323	391	28,0	19,5	7,6	4,6	746							
28.08.2018	32	162	19,2	91	7,0	0,54	538	277	138	38	35,0	148	204	195	77	4000	22	28	700	7,1	11,7	15,0	288	190	365	16,0	10,5	3,8	2,20	747							
28.08.2018	60	302	19,2	91	13,1	0,45	538	302	118	49	48,0	137	228	330	133	4000	27	37	658	13,5	19,0	26,0	313	323	391	19,3	7,6	4,6	0,37	747							
28.08.2018	60	310	17,3	91	13,6	0,51	538	305	120	52	49,0	138	228	370	139	4000	28	37	647	13,0	18,5	26,5	310	319	394	18,9	7,2	4,3	0,33	747							
28.08.2018	61	310	13,0	91	13,5	0,46	539	294	117	49	48,0	138	229	360	135	4000	27	38	660	13,5	19,0	26,0	313	330	396	19,5	7,6	4,6	0,31	747							
29.08.2018	30	147	10,0	91	6,3	0,31	537	273	129	37	34,0	144	201	190	80	4000	22	27	704	6,5	8,5	12,0	286	184	363	14,0	8,0	3,2	1,8	748							
29.08.2018	30	141	8,0	91	6,1	0,31	537	270	134	36	33,0	143	200	190	88	4000	18	25	707	6,5	10,0	13,0	286	184	363	14,0	8,0	3,2	1,8	748							
29.08.2018	62	311	17,0	90	13,7	0,63	538	297	120	50	48,0	151	228	366	157	4000	28	38	654	13,5	19,0	26,0	310	327	394	28,0	19,2	7,4	4,4	748							
30.08.2018	30	140	7,0	91	6,2	0,36	537	270	135	41	39,0	144	198	178	102	4000	23	31	695	6,5	10,5	13,5	288	182	362	15,0	9,5	3,4	1,9	749							
30.08.2018	60	308	2,0	91	14,0	0,58	535	255	120	51	43,0	150	229	360	160	4000	29	39	650	14,5	19,0	25,0	317	332	397	28,0	19,0	7,0	4,6	749							
31.08.2018	31	142	10,0	91	6,2	0,34	538	281	125	42	41,0	147	200	194	99	4000	25	31	691	6,5	10,5	13,0	292	184	367	14,4	9,5	3,3	1,9	750							
31.08.2018	60	315	11,0	90	14,4	0,46	538	298	118	45	43,0	147	231	320	107	4000	28	35	685	14,2	20,0	27,2	316	233	398	29,5	20,2	8,0	4,8	750							
01.09.2018	31	163	12,9	91	6,9	0,35	537	273	127	34	30	148	202	200	52	4000	22	26	716	7,2	11,5	1,5	288	187	363	16,0	1,4	3,7	2,2	752							
02.09.2018	31	158	10,0	90	6,7	0,30	536	273	128	36	32	147	203	200	72	4000	21	25	710	7,0	11,0	1,4	288	186	360	15,0	10,0	3,5	2,0	752							
03.09.2018	30	147	9,8	90	6,6	0,26	538	277	132	36	33,0	146	200	200	85	4000	19	24	709	6,5	10,0	13,0	288	184	365	14,5	9,5	3,3	1,9	751							
04.09.2018	30	149	9,3	91	5,5	0,24	537	276	130	35	31,0	146	198	203	76	4000	19	24	714	6,7	10,5	13,5	290	183	366	14,5	9,8	3,5	2,0	751							
05.09.2018	30	152	11,0	90	6,6	0,2	536	277	122	36	33,0	146	201	210	64	4000	22	26	710	7,0	11,0	14,0	289	185	365	15,5	10,0	3,6	2,1	753							
06.09.2018	30	150	12,0	91	6,5	0,2	536	278	124	37	35,0	146	201	207	70	4000	22	28	703	7,0	10,0	13,5	289	182	364	15,0	10,0	3,5	2,0	753							

Таблица П. 7.8. Сводная таблица исходных данных за период 20.10.18–05.11.18

Дата	N	Пар									Питательная вода						Конденсатор и охлаждающая вода						Давление			Температура			Давление				Бар-кое давление
		Расход			Давление			Температура									ПВД-5			ПВД-6			ПВД-7			Нерег. Отборы							
		D <sub>0</sub>	D <sub>ПО</sub>		P <sub>0</sub>	P <sub>ПО</sub>	P <sub>ТО</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>ПО</sub>	t <sub>ТО</sub>	t <sub>вых</sub>	t <sub>ок</sub>	t <sub>за ПВД</sub>	t <sub>за ПВД</sub>	G <sub>пв</sub>	G <sub>двд</sub>	G <sub>ов</sub>	t <sub>ов</sub> <sup>1</sup>	t <sub>ов</sub> <sup>2</sup>	V	P <sub>ПВД-5</sub>	P <sub>ПВД-6</sub>	P <sub>ПВД-7</sub>	t <sub>пвд-5</sub>	t <sub>пвд-6</sub>	t <sub>пвд-7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	B		
МВт	т/ч	т/ч	ати	ати	ати	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	т/ч	т/ч	т/ч	°C	°C	мм.рт.ст	ати	ати	ати	°C	°C	°C	ати	ати	ати	ати	мм.рт.ст			
Источник	Оперативные ведомости															Оперативные ведомости																	
20.10.18–05.11.18	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	20	21	54	55	56	57	58	59	62	63	64	65					
20.10.2018	61	375	39,0	89	16,1	0,19	538	312	109	32	30	148	234	280	35	4000	17	24	705	16,0	22,0	32,0	327	331	409	34,0	23,0	8,5	5,2	745			
21.10.2018	62	375	35,0	89	16,2	0,19	538	315	109	34	31	148	235	389	33	4000	17	27	704	16,0	22,0	32,0	328	323	410	34,5	23,0	8,7	5,2	745			
21.10.2018	61	376	40,0	73	16,1	0,17	535	309	110	31	28	149	235	378	34	4000	15	23	717	16,0	32,0	32,0	294	136	413	35,0	23,0	8,7	5,0	745			
22.10.2018	62	376	42,0	90	16,2	0,17	535	309	110	32	28	148	234	380	32	4000	13	24	719	16,0	22,0	32,0	324	318	405	34,0	23,0	8,7	5,3	750			
22.10.2018	62	385	49,0	89	15,5	0,15	535	310	109	32	28	148	235	378	32	4000	13	24	716	16,0	22,0	32,0	324	318	405	34,0	23,0	8,7	5,3	750			
23.10.2018	62	380	60,0	90	15,5	0,15	535	305	109	31	28	149	235	370	34	4000	10	24	717	15,5	22,0	32,0	320	329	405	34,5	23,0	8,2	5,0	748			
23.10.2018	62	392	54,0	90	15,1	0,15	535	304	108	32	29	148	232	400	34	4000	17	24	707	14,6	21,8	31,0	318	334	403	33,5	22,0	8,0	4,8	748			
24.10.2018	61	392	54,0	90	15,3	0,15	535	304	108	32	29	148	232	400	34	4000	18	24	706	15,5	22,0	31,0	320	326	403	34,0	23,0	8,5	5,2	746			
25.10.2018	62	385	46,0	90	15,8	0,18	537	308	109	33	30	150	233	400	33	4000	19	28	700	15,0	22,0	31,0	321	323	405	34,0	22,5	8,2	5,0	744			
25.10.2018	62	392	50,0	90	15,4	0,18	536	306	109	33	31	149	235	400	32	4000	20	26	694	15,0	22,0	31,0	321	328	407	34,0	22,5	8,2	5,0	744			
26.10.2018	62	387	51,0	90	15,3	0,19	536	305	109	34	31	150	235	404	34	4000	21	26	690	15,4	22,0	31,2	322	327	407	34,0	22,6	8,2	5,0	743			
27.10.2018	62	391	52,0	90	15,5	0,17	536	308	109	31	29	148	235	390	33	4000	16	24	705	15,4	22,0	31,5	322	328	408	34,2	22,9	8,3	5,1	740			
28.10.2018	62	390	45,0	90	15,6	0,15	535	308	109	30	27	150	234	385	33	4000	13	23	716	15,5	22,0	31,5	324	331	407	34,0	23,0	8,5	5,2	741			
28.10.2018	62	390	50,0	90	15,5	0,15	537	308	109	30	27	149	232	400	33	4000	13	21	710	15,4	22,0	31,5	323	333	407	34,0	22,8	8,4	5,1	741			
29.10.2018	62	380	50,0	90	15,7	0,15	536	309	109	32	29	149	233	390	34	4000	15	25	708	15,3	22,0	31,5	323	331	407	34,0	23,0	8,2	5,0	741			
29.10.2018	62	386	42,0	90	16,0	0,15	534	310	109	31	29	150	235	390	34	4000	15	24	715	15,2	22,0	31,5	322	331	407	34,0	23,0	8,2	5,0	741			
30.10.2018	62	370	78,0	90	15,6	0,14	538	311	109	31	28	144	237	390	33	4000	13	24	722	15,0	22,5	33,0	325	342	414	36,0	23,5	8,2	4,9	745			
30.10.2018	62	400	80,0	90	14,4	0,10	537	302	109	19	25	150	232	400	35	4000	11	22	733	14,2	21,8	31,0	319	328	405	33,6	22,0	7,2	4,5	745			
31.10.2018	62	400	80,0	90	14,4	0,11	537	302	109	30	27	150	232	400	35	4000	11	24	733	14,2	21,8	31,0	318	329	410	35,8	23,2	7,7	4,5	754			
31.10.2018	62	380	84,0	91	15,2	0,11	534	306	109	30	27	155	234	400	37	4000	14	21	735	15,1	22,1	33,0	323	330	410	35,8	23,2	8,2	4,8	754			
01.11.2018	62	385	88,0	90	15,2	0,12	535	306	109	31	28	154	235	400	36	4000	14	24	732	15,4	22,0	32,4	323	330	409	35,0	23,0	8,4	4,8	762			
02.11.2018	62	385	53,0	90	15,5	0,13	537	310	109	31	28	152	235	400	36	4000	14	24	729	15,0	22,0	33,0	325	334	412	35,5	23,0	8,3	4,9	760			
03.11.2018	63	373	88,0	90	15,2	0,14	537	307	109	31	28	152	236	395	37	4000	15	24	726	15,0	22,6	34,0	326	334	415	37,0	24,0	8,2	4,8	758			
04.11.2018	63	370	85,0	90	15,1	0,15	537	285	109	30	28	148	237	395	36	4000	14	23	716	14,9	22,4	33,1	326	332	414	36,2	23,2	8,0	4,8	751			
05.11.2018	63	372	85,0	90	15,4	0,16	535	280	109	30	27	154	237	400	37	4000	13	23	714	15,0	22,0	33,0	323	328	413	36,5	23,0	8,0	4,8	746			

Таблица П. 7.9. Сводная таблица исходных данных за период 16.12.18–26.12.18

Дата	N	Пар									Питательная вода						Конденсатор и охлаждающая вода				Давление			Температура			Давление				Бар-кое давление					
		Расход			Давление			Температура									ПВД-5			ПВД-6			ПВД-7			Перег. Отборы										
		D <sub>0</sub>	D <sub>по</sub>		P <sub>0</sub>	P <sub>по</sub>	P <sub>то</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>по</sub>	t <sub>то</sub>	t <sub>вых</sub>	t <sub>ок</sub>	t <sub>за ПВД</sub>	t <sub>за ПВД</sub>	G <sub>пв</sub>	G <sub>двд</sub>	G <sub>ов</sub>	t <sub>ов</sub> <sup>1</sup>	t <sub>ов</sub> <sup>2</sup>	V	P <sub>пвд-5</sub>	P <sub>пвд-6</sub>	P <sub>пвд-7</sub>	t <sub>пвд-5</sub>	t <sub>пвд-6</sub>	t <sub>пвд-7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>		В				
МВт	т/ч	т/ч	ати	ати	ати	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	т/ч	т/ч	т/ч	°C	°C	мм.рт.ст	ати	ати	ати	°C	°C	°C	ати	ати	ати	ати	мм.рт.ст							
Источник	Оперативные ведомости																		Оперативные ведомости																	
16.12.18–26.12.18	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	18		19	20	21	54	55	56	57	58	59	62	63	64	65							
16.12.2018	63	393	5,0	90	17,7	0,53	539	266	117	34	31	152	236	393	35	4000	15	28	713	17,0	23,5	35,0	335	346	415	35,2	24,4	9,4	5,8	749						
16.12.2018	63	394	5,0	90	17,3	0,44	539	266	116	31	28	152	235	400	38	4000	12	24	724	17,0	23,5	35,0	334	348	413	35,2	24,1	9,3	5,7	749						
17.12.2018	63	396	3,6	90	17,5	0,49	538	258	117	32	30	152	235	410	37	4000	13	25	723	17,0	23,5	35,0	332	348	412	35,2	24,1	9,3	5,7	753						
18.12.2018	63	399	3,7	90	17,2	0,43	538	260	116	31	28	150	235	400	36	4000	12	25	727	16,5	23,5	35,0	330	340	412	35,2	24,1	9,2	5,6	755						
18.12.2018	63	383	40,0	91	16,7	0,45	539	280	116	34	31	150	237	400	36	4000	15	27	722	16,0	23,5	36,0	333	347	419	37,0	24,2	8,9	5,5	755						
19.12.2018	63	380	33,0	91	17,0	0,46	539	280	116	33	30	151	237	400	35	4000	17	27	724	16,5	23,8	36,8	335	347	419	37,0	24,5	9,2	5,6	760						
20.12.2018	63	390	2,0	91	18,0	0,65	536	260	120	37	34	152	237	390	40	4000	16	31	718	17,0	23,0	34,0	338	342	416	35,0	24,5	9,5	5,8	762						
20.12.2018	62	396	2,0	90	17,5	0,50	537	250	117	33	31	150	236	380	35	4000	15	26	730	17,0	23,0	34,0	338	341	414	35,0	24,4	9,5	5,8	762						
21.12.2018	63	396	4,9	90	17,4	0,46	537	267	116	33	30	149	235	390	36	4000	15	26	728	17,0	23,0	34,0	338	342	416	35,0	24,5	9,5	5,8	758						
22.12.2018	63	394	4,9	90	17,6	0,53	536	267	117	34	32	150	236	394	38	4000	17	27	720	17,0	23,0	34,0	333	341	411	35,0	24,5	9,5	5,8	753						
22.12.2018	63	395	5,0	91	17,6	0,50	536	270	116	34	31	150	234	393	37	4000	17	27	717	17,0	23,5	36,0	334	339	412	35,5	24,5	9,4	5,4	753						
24.12.2018	63	394	5,6	91	17,6	0,50	536	269	116	34	32	150	235	395	38	4000	18	26	717	17,0	23,5	35,5	334	341	411	35,8	24,5	9,4	5,7	753						
24.12.2018	62	393	5,0	91	16,5	0,45	537	261	116	33	30	150	235	399	30	4000	14	26	720	16,0	23,0	35,0	334	338	412	35,2	23,8	8,9	5,9	753						
25.12.2018	62	395	4,5	91	16,8	0,45	535	261	115	32	29	149	234	395	33	4000	13	25	722	16,5	23,5	36,0	333	219	412	36,0	24,0	9,2	5,6	754						
26.12.2018	62	395	4,5	90	16,8	0,45	536	262	115	31	28	148	232	392	33	4000	12	26	722	16,5	23,5	36,0	331	338	409	36,0	24,0	9,2	5,6	752						
26.12.2018	62	394	4,7	90	16,7	0,44	536	262	115	32	29	151	233	395	32	4000	15	25	717	16,5	23,5	36,0	331	338	409	36,0	24,0	9,2	5,6	752						
26.12.2018	62	396	4,0	90	16,8	0,44	536	262	115	33	31	151	233	395	33	4000	16	26	710	16,5	23,5	36,0	331	338	409	36,0	24,0	9,2	5,6	752						

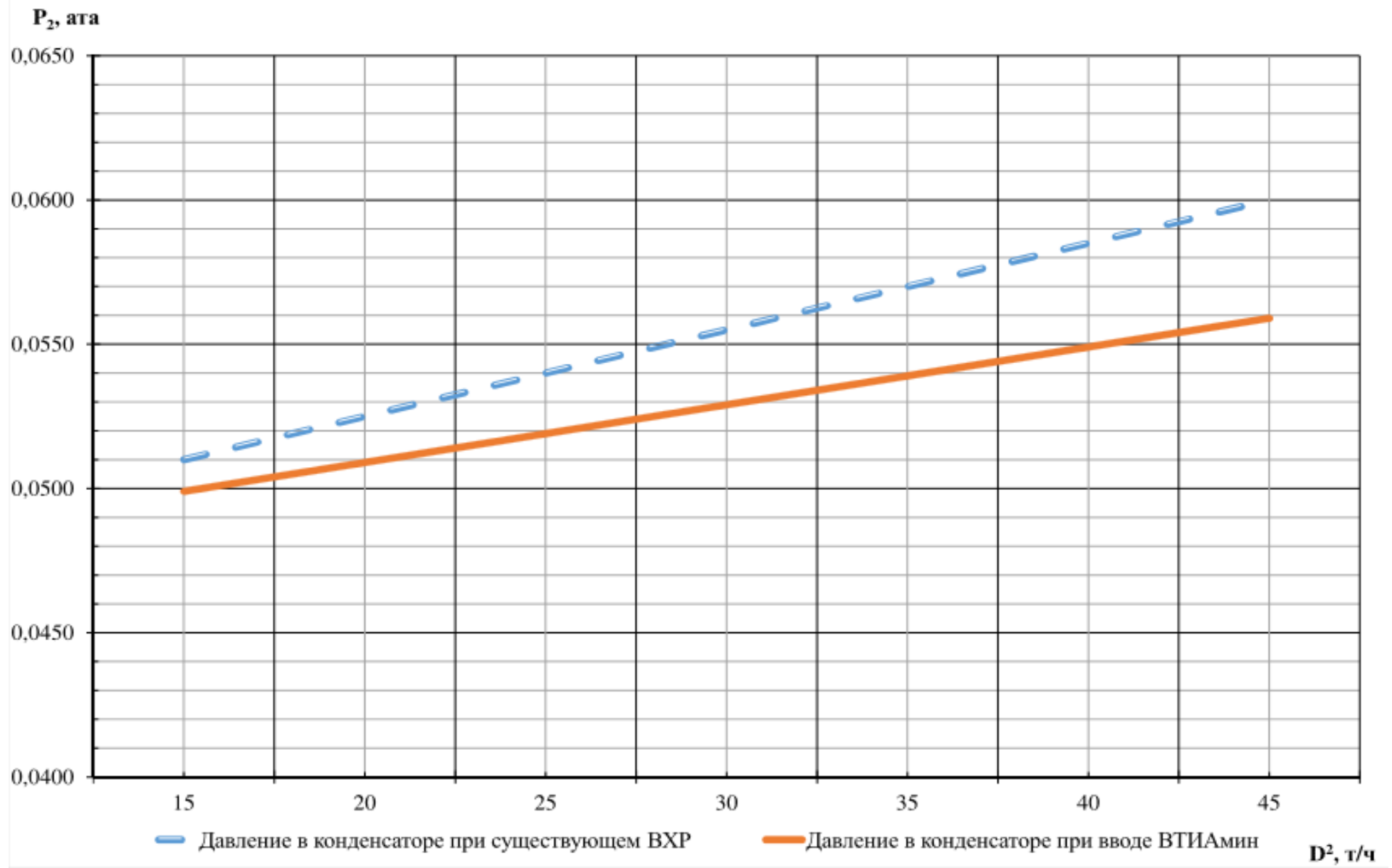


Рис. П. 7.5. Абсолютное давление в конденсаторе

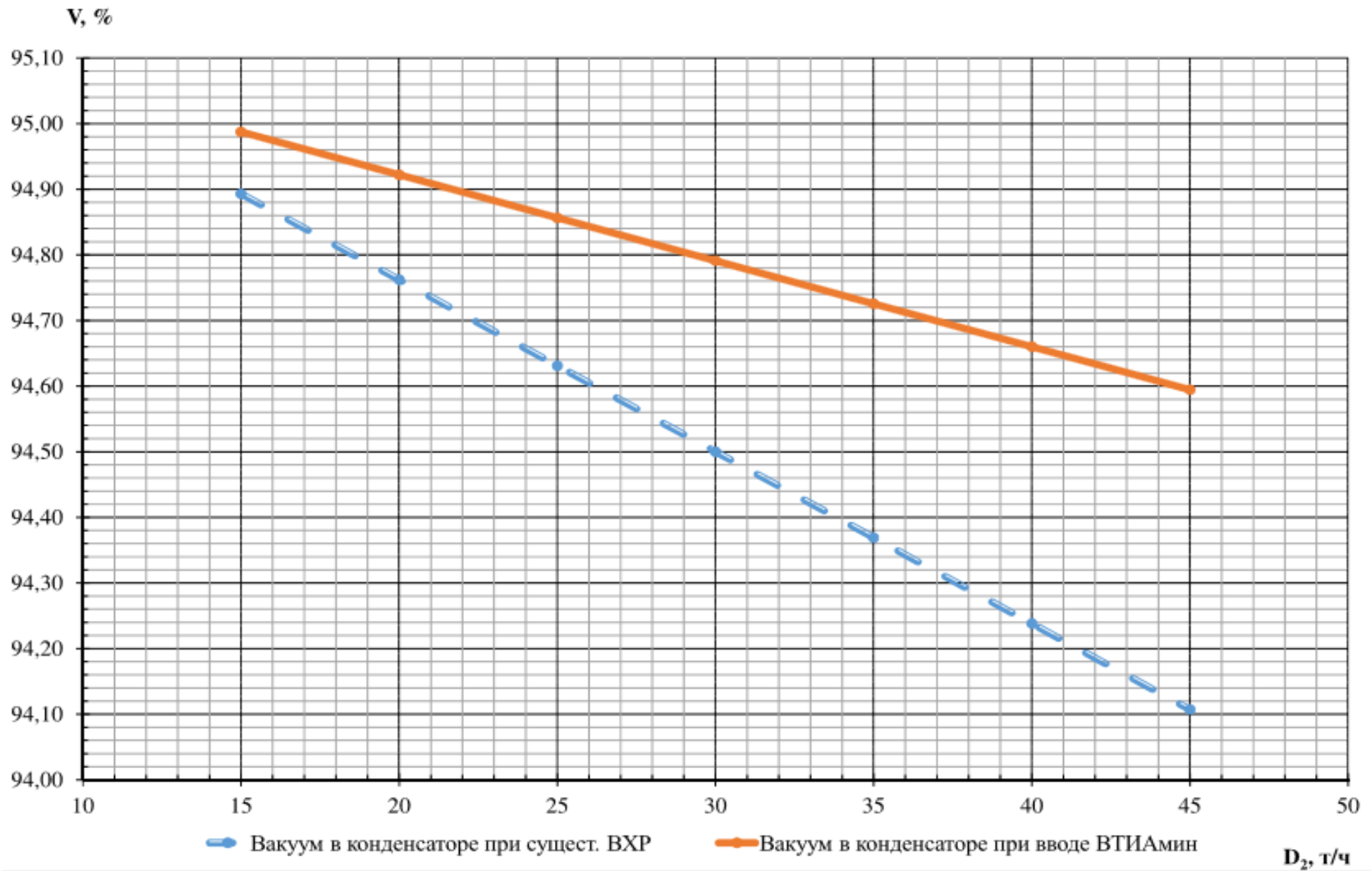


Рис.П. 7.6. Вакуум в конденсаторе

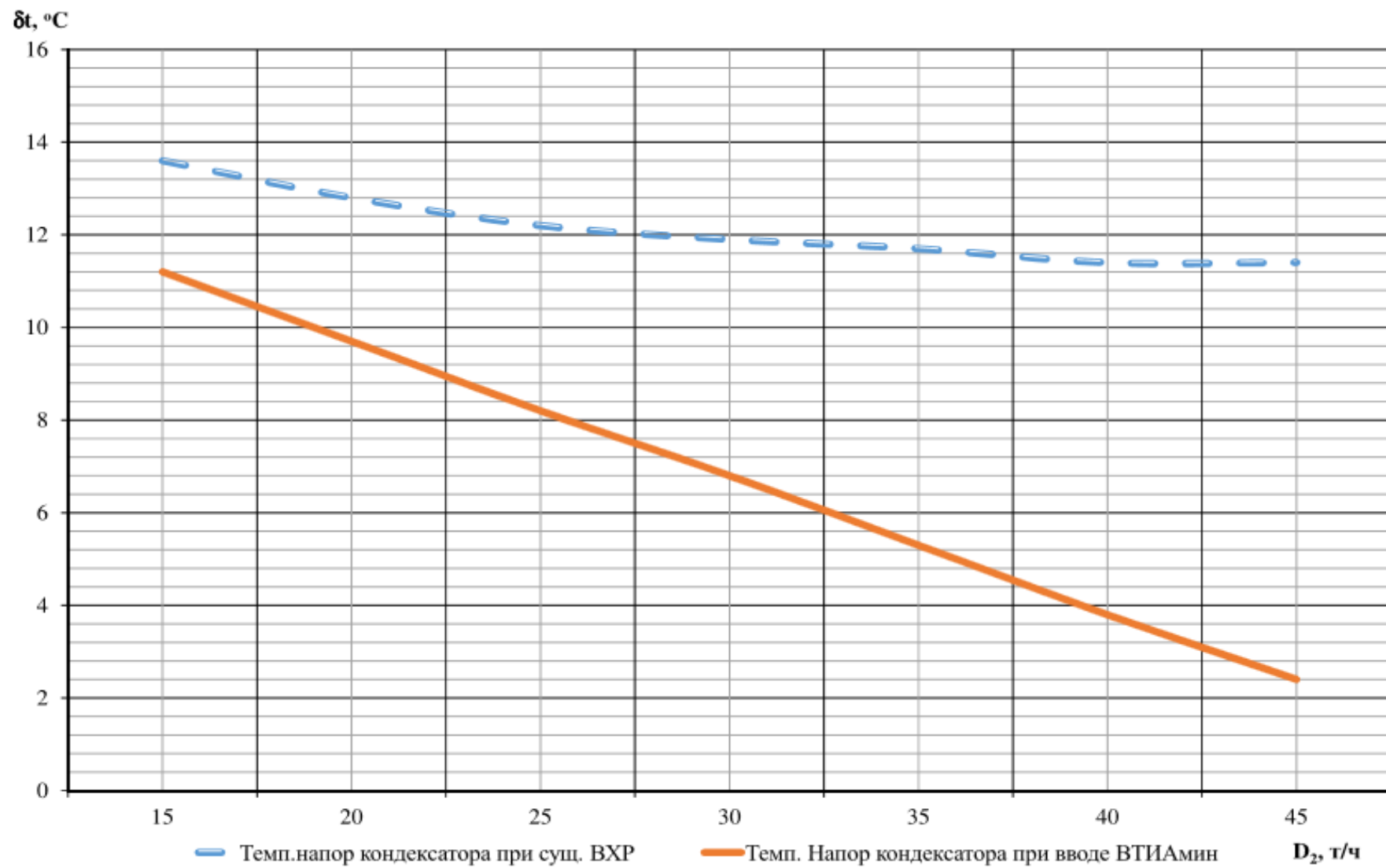


Рис.П. 7.7. Температурный напор конденсатора



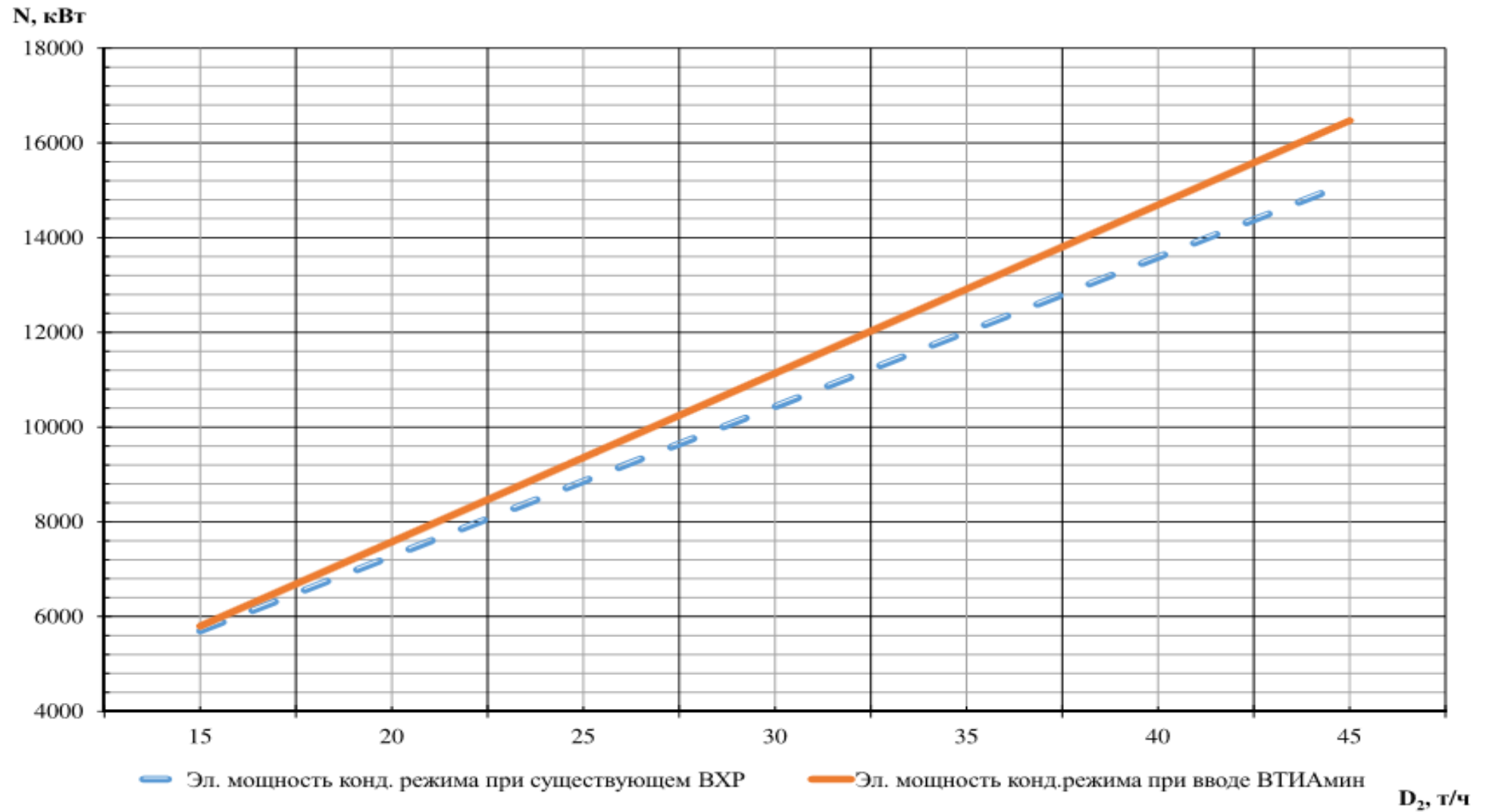


Рис.П. 7.8. Мощность турбогенератора в конденсационном режиме с расходом пара  $D_2$

## Отзывы электростанций о промышленных испытаниях и отчет о внедрении реагента ВТИАМИН в СОО ТЭС

Яуаплылығы  
сиклэнган йәмғиәте  
**«БАШКОРТОСТАН  
ГЕНЕРАЦИЯЛАУ КОМПАНИЯҒЫ»**  
Өфө яны ЙЭУ-е  
Юридик адресы: 450059, Өфө калаһы,  
Рихард Зорге урамы, 3-се йорт  
Почта адресы: 453430, Благовещен К.,  
Социалистик урамы, 52  
тел.: (347) 269-49-59  
ОКПО 96234116  
putec@bgkrb.ru  
www.bgkrb.ru



**ПРИУФИМСКАЯ ТЭЦ**

Общество с ограниченной  
ответственностью  
**«БАШКИРСКАЯ  
ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ»**  
Приуфимская ТЭЦ  
Юридик адрес: 450059, г. Уфа,  
ул. Рихарда Зорге, д. 3  
Почтовый адрес: 453430, г. Благовещенск  
ул. Социалистическая, 52  
тел.: (347) 269-49-59  
ОКПО 96234116  
putec@bgkrb.ru  
www.bgkrb.ru

02.11.18. №380- 2761

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Отзыв об ОПИ

Заместителю генерального директора  
по оперативному управлению  
ОАО «ВТИ»  
В.В. Мартынову

Уважаемый Вячеслав Владимирович!

Одной из важнейших и приоритетных задач и направлений в области развития производства РФ является программа импортозамещения, направленная на максимально возможное использование реагентов, материалов и оборудования отечественного производства.

В настоящее время с целью реализации программы импортозамещения реагентов, ионообменных материалов и масел реализуются технические решения по договору № №2016-ИРА-2.85 от 02.11.2016г. по выполнению опытно-технологических работ целевой программы поддержки научных исследований, опытно-конструкторских, опытно-технологических работ и инновационной деятельности Фонда «Энергия без границ».

В рамках данного договора с целью замещения реагентов импортного производства на отечественные аналоги генерирующая компания ООО «БГК приняла решение о выполнении опытно-промышленных испытаний реагентов марки «ВТИАМИН», применяемых для стабилизационной обработки систем оборотного охлаждения (СОО).

Разработкой данной марки реагентов занимается компания ООО «Водные технологии инжиниринг» и ОАО «ВТИ». Специалисты данных компаний обладают современной производственной базой, аналитическими приборами, обеспечивающими необходимый контроль за водным режимом и, что не маловажно, обладают высокой квалификацией.

На основании того, что по предлагаемым реагентам была предоставлена вся необходимая информация в области применения, в 2018 г. при содействии специалистов компании ООО «Водные технологии» совместно со специалистами ОАО «ВТИ» началась программа по внедрению новых ингибиторов отечественного производства на

Приуфимской ТЭЦ.

Основными задачами программы является:

-замена импортных реагентов для обработки теплоэнергетического оборудования от коррозии и биоотложений;

-обеспечение надежного водного режима системы оборотного охлаждения.

При выборе полных аналогов реагентов для программы опытно-промышленного испытания стабилизационной обработки СОО были выбраны следующие аналоги, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Импортный реагент	Отечественный аналог
Активос 640 Т	ВТИАМИН ТС-5
Корродекс 900	ВТИАМИН ЗС-6
Биоцид (Турбанион М 101)	ВТИАМИН Б2

В процессе проведения опытно-промышленных испытаний специалисты ООО «Водные технологии инжиниринг» осуществляли постоянный контроль за ведением водного режима, выполняли корректировку дозирования реагентов.

В результате проведенных опытно-промышленных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Реагенты отечественного производства проявили эффективность в полной мере, удовлетворили требования программы импортозамещения.
2. Предложенный реагент ВТИАМИН Б2 эффективно уничтожает биообрастания в системе оборотного охлаждения.
3. Реагент ВТИАМИН ТС-5 проявил высокую антинакипную эффективность, во время проведения ОПИ транспорт кальция, поддерживался на уровне не ниже 90%.
4. Реагент ВТИАМИН ЗС-6 обеспечивает достаточную защиту от коррозии медьсодержащих сплавов во время работы оборудования.

По результатам проведенных опытно-промышленных испытаний и накопленного опыта сотрудничества с ООО «Водные технологии» специалисты Приуфимской ТЭЦ удовлетворены профессиональными качествами сотрудников и выражают готовность к дальнейшему сотрудничеству с ООО «Водные технологии».

Главный инженер

А.Н. Строев

Галимова Н.Ф. т.69-387



*Галимова*





**ЗАКЛЮЧЕНИЕ № вт-02 от 13 января 2020 г.**  
**по результатам проведения программы импортозамещения с применением реагентов марки**  
**ВТИАМИН**

Настоящее заключение составлено по результатам проведения программы импортозамещения реагентов марки KURITA EUROPE GmbH на аналоги отечественного производства марки «ВТИАМИН».

С сентября 2018 г. для защиты системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ ООО «БГК» от процессов накипеобразования применялся реагент «ВТИАМИН ТС-5» (взамен ранее использованного Активос 640 Т) с дозировкой 20-25 г/м<sup>3</sup> циркуляционной воды, для защиты системы от процессов медной коррозии – «ВТИАМИН ЗС-6» (взамен ранее использованного Корродекс 900), в качестве биоцида – «ВТИАМИН Б-6» (взамен Ферроцид 8583).

Среднее значение транспорта кальция на период обработки реагентом ВТИАМИН ТС-5 составляло 90 - 105%. Применяемая биоцидная программа показала удовлетворительную эффективность.

С июля 2019 г. с целью повышения эффективности и упрощения подачи реагента в систему обработка СОО Салаватской ТЭЦ производится комплексным реагентом ВТИАМИН ТС-6, содержащим в своем составе как ингибиторы накипеобразования, так и ингибиторы медной коррозии. За период обработки системы среднее значение транспорта кальция стабильно находится в пределах 90 – 105%, значение индекса Ланжелье поддерживается на уровне 2,0 – 2,3, расход реагента в среднем составляет 10 мг/дм<sup>3</sup> циркуляционной воды.

По результатам проведенного 14.11.19 визуального осмотра индикаторов накипеобразования и коррозии, установленных на выходном коллекторе охлаждающей воды конденсатора П-7 (левая половина), отмечено, что программа реагентной обработки СОО в части защиты латунных трубок от процессов накипеобразования и коррозии проведена с положительным результатом. Исследования индикаторов коррозии, выполненных из Стали 20, показали высокую степень коррозии. Однако применяемая реагентная программа не предусматривает защиту металлических поверхностей СОО от влияния атмосферной коррозии, которая воздействовала на индикаторы в моменты простоя П-7 (более 50% времени).

По визуальному осмотру градирен и учитывая достаточно высокую степень биообрастания, обработка реагентом ВТИАМИН Б-7, как и ранее применяемым реагентом Ферроцид 8583, недостаточна, поэтому экономически целесообразно усилить реагентную программу дополнительной обработкой СОО гипохлоритом натрия. Для усиления эффекта действия гипохлорита натрия необходимо во время активного роста микрофлоры применять реагент ВТИАМИН Б-7.

От ИАП ООО «БГК»:  
 Руководитель НВТМ УЭОЭ

Ю.В. Улановская

Начальник ТТО УЭОЗ

Н.Л. Кармолин

От Салаватской ТЭЦ ООО «БГК»:

Главный инженер СТЭЦ

С.М. Черкасов

Начальник ПТО

В.В. Коробков

Начальник ПХАЛ

С.А. Горностаева

От ООО «ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»:

Технический директор

А.В. Кирилина

Инженер-технолог

В.В. Козловский



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ВСЕРОССИЙСКИЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»  
(ОАО «ВТИ»)

Отделение водно-химических процессов

Арх. № 15766

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель генерального директора  
по оперативному управлению  
ОАО «ВТИ»



В.В. Маргынков

ОТЧЕТ № 08-45 от «03» декабря 2018 г.  
по научно-исследовательской работе

на тему: «Идентификация вариантов применения альтернативных реагентов для  
стабилизационной обработки воды системы оборотного охлаждения и достижения  
нормируемых показателей сточных вод филиала «Калининградская ТЭЦ-2»  
АО «Интер РАО - Электрогенерация»

по Договору №8-КАЛ/008-0328-17/499 от 25.01.2018 г.

Этап №4: «Заключение по работе. Итоговый отчет».

На 78 листах

Заведующий Отделением водно-  
химических процессов  
тепломеханического оборудования  
электростанций (ОВХП) ОАО «ВТИ»

А.В. Филянов

«  »    2018 г.

Москва 2018 г.

*Данный документ предназначен для использования только теми физическими либо юридическими лицами, которым он адресован, и содержит конфиденциальную и охраняемую законом информацию.*

*Цитирование и репринт допускаются только с согласия Передávшей стороны с последующим надлежащим оформлением ссылки на первоисточник*

Йууылыгы  
сыскан эи йомыты  
«БАШКОРТОСТАН  
ГЕНЕРАЦИЯЛАУ КОМПАНИЯЫ»



БАШКИРСКАЯ  
ГЕНЕРИРУЮЩАЯ  
КОМПАНИЯ  
УФИМСКАЯ ТЭЦ-4

Общество с ограниченной  
ответственностью  
«БАШКИРСКАЯ  
ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ»

Юридик адресы:  
Рихард Зорге урамы, 3-се йорт,  
Өфө калаһы,  
Башкортостан Республикаһы, 450059

Почта адресы:  
ур. Энергетиктар, 60  
Өфө калаһы,  
Башкортостан Республикаһы, 450045  
тел. (347) 269-46-59  
факс (347) 269-45-54  
tec4@bgkrf.ru

Юридикский адрес:  
ул. Рихарда Зорге, д. 3,  
г. Уфа,  
Республика Башкортостан, 450059

Почтовый адрес:  
ул. Энергетиков, д. 60  
г. Уфа,  
Республика Башкортостан, 450045  
тел. (347) 269-46-59  
факс (347) 269-45-54  
tec4@bgkrf.ru

28.06.2014 № БГК/МП/00368

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Уважаемая Юлия Викторовна!

Направляем Вам отчет о применении реагента ВТИАМИН Б-6 в качестве биоцидной обработки брызгального бассейна Уфимской ТЭЦ-4 производственной площадки ТЭЦ-1.

Приложение: Отчет на 2л. в 1 экз.

Заместитель главного инженера Уф.ТЭЦ-4 –  
начальник площадки ТЭЦ-1

В.А. Гайсин



В рамках договора №2016-ИРАО-2.85 от 02.11.2016г. с целью замещения реагентов импортного производства на отечественные аналоги генерирующая компания ООО «БГК» приняла решение о выполнении опытно-промышленных испытаний реагентов марки «ВТИАМИН», применяемых для стабилизационной обработки систем оборотного охлаждения (СОО).

Компания ООО «Водные технологии» совместно с ОАО «ВТИ», занимающиеся разработкой линейки реагентов отечественного производства марки «ВТИАМИН», обладают высококвалифицированным кадровым составом и современной производственной базой. В 2018 г. при техническом сопровождении специалистов компании ООО «Водные Технологии» и ОАО «ВТИ» была проведена программа по внедрению новых отечественных ингибиторов на Уфимской ТЭЦ-4 филиала ООО «БГК».

Основным рассматриваемым вопросом в рамках реализации данной программы являлась реагентная обработка системы оборотного охлаждения и замена существующих импортных реагентов KURITA EUROPE GmbH на аналоги отечественного производства марки «ВТИАМИН». На основании проведенного обследования системы охлаждения были выявлены проблемы водорослевого обрастания элементов охладительного бассейна и рекомендовано внесение изменений в программу существующей реагентной обработки.

В результате проведенной работы взамен предусмотренной периодической залповой обработки охлаждающей воды биоцидом марки Ферроцид 8583 (аналог Турбанион 104М) совместно с гипохлоритом натрия было предложено применение биоцида марки ВТИАМИН Б-6. Для более эффективного предупреждения биологического обрастания и микробиологической коррозии элементов брызгального бассейна, трубопроводов и теплообменного оборудования было принято решение о проведении залповой обработки системы оборотного охлаждения биоцидом ВТИАМИН Б-6 в соответствии с рассчитанной дозой реагента 10 мг/дм<sup>3</sup> совместно с гипохлоритом натрия.

Контроль за качеством биоцидной обработки специалистами ООО «Водные Технологии» проводился визуальным осмотром состояния сопел



разбрызгивателей и с помощью биотестов Microbiology Envirocheck Contact TVC (подсчет общего числа биоколоний).

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Реагенты-аналоги отечественного производства проявили эффективность в полной мере, удовлетворив требованиям программы импортозамещения.
2. Предложенный реагент ВТИАМИН Б-6 решает проблемы бактериального обрастания в полной мере.

По результатам накопленного опыта сотрудничества с ООО «Водные Технологии» специалисты Уфимской ТЭЦ-4 удовлетворены профессиональными качествами персонала компании и выражают готовность к дальнейшему сотрудничеству.

Заместитель главного инженера  
Уф.ТЭЦ-4 – начальник площадки  
ТЭЦ-1

 В.А. Гайсин