

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново 2021

Работа выполнена на кафедре «Химия и химические технологии в энергетике» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент **Ларин Андрей Борисович**

Официальные оппоненты:

Веселовская Елена Вадимовна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», профессор кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника»;

Орлов Константин Александрович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники им. М.П. Вукаловича».

Ведущая организация:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань.

Защита состоится «11» марта 2022 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.064.01 при ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по адресу: 153003, Иваново, Рабфаковская, 34, корпус «Б», аудитория 237.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановского государственного энергетического университета.

Текст диссертации размещен:

http://ispu.ru/files/Dissertaciya_Kozlovskiy_V.V..pdf

Автореферат диссертации размещен на сайте ИГЭУ www.ispu.ru.

Автореферат разослан « ___ » _____ 20__ г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.064.01



Ледуховский
Григорий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»: **в части формулы специальности:** «проблемы совершенствования действующих и обоснования новых ... водных режимов..., проблемы обеспечения надежности... оборудования тепловой электростанции, её систем»; **в части области исследования специальности** – пункту 1: «Разработка научных основ методов расчета... и оптимизации параметров, показателей качества ... систем»; пункту 2: «Исследование и ... моделирование процессов, протекающих в агрегатах, системах ...»; пункту 3: «... исследование, совершенствование действующих ... технологий ... использования ... водных и химических режимов ...».

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/(м²·ч)) и низкокоррозионный (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/см².

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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены актуальность работы, ее общая характеристика, определены цель и задачи, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе в качестве предмета исследования принят ВХР систем оборотного охлаждения конденсаторов паровых турбин ТЭС. Анализ состояния ВХР показывает, что системы оборотного охлаждения конденсаторов паровых турбин имеют проблемы, связанные с образованием отложений минерального и органического (биологического) характера и коррозией оборудования контуров. Основным направлением решения проблем ВХР является применение комплексных реагентов (ингибиторов) отечественного производства, обеспечивающих высокий эффект по предотвращению образования отложений, снижению скорости коррозии и не нарушающих экологические требования по сбросу продувочных вод. Показано, что исследования по применению ингибиторов следует проводить с учетом качества подпиточной воды, специфики технологической схемы, процессов и оборудования в условиях экологических требований.

Во второй главе представлен методический подход к решению задач исследования. Подход состоит в разработке мобильной стендовой установки (лабораторного стенда), объединении методик лабораторных исследований и промышленных испытаний, с целью определения характеристик существующих и разработки более эффективных ВХР систем оборотного охлаждения на базе новых отечественных реагентов семейства ВТИАМИН. Структурная схема комплексной методики представлена на рис. 1. Комплексная методика исследования реагентов для ведения ВХР систем оборотного охлаждения ТЭС позволяет непосредственно в условиях работы электростанции выполнять количественную оценку эффективности как применяемых реагентов, так и реагентов семейства ВТИАМИН.

Расчетная часть методики на основании данных химического анализа добавочной, циркуляционной воды и отложений обеспечивает определение таких показателей, как коэффициент упаривания (K_y), транспорт кальция:

$$T_{P_{Ca}} = \frac{K_y^{Ж_{Ca}}}{K_y^{Cl}} \cdot 100\%$$

(где $K_y^{Ж_{Ca}}$, K_y^{Cl} коэффициенты упаривания по кальциевой жесткости и хлоридам), скорость коррозии ($V_{кор}$):

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

где 8760 – число часов работы оборудования в год (ч/год), m_0 , m – масса образца до и после экспозиции, г; S – площадь образца, $см^2$; t – время экспозиции образца, ч; ρ – плотность материала образца, $г/см^3$, а также интенсивность накипеобразования и др.

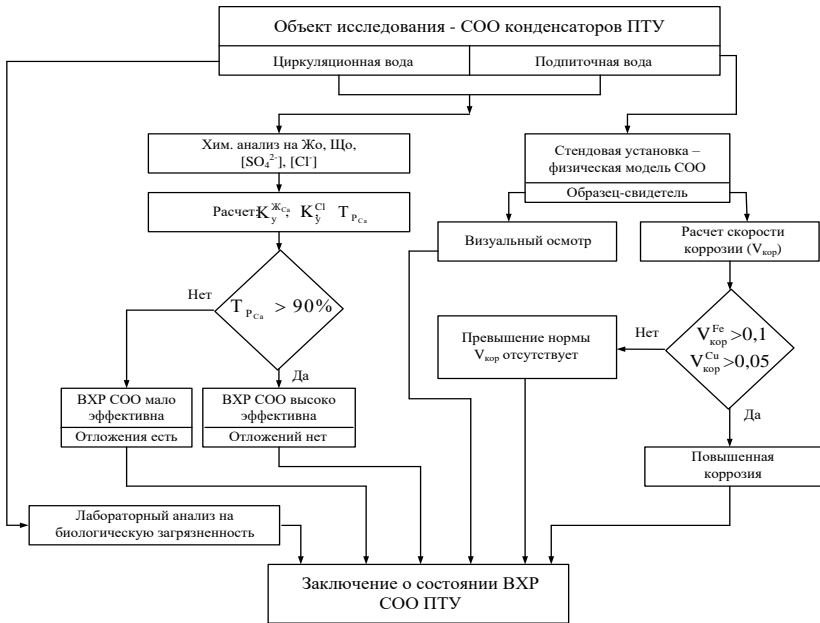


Рис. 1. Структурная схема методики промышленных исследований состояния ВХР систем оборотного охлаждения

Экспериментальная часть методики предполагает исследование процессов низкотемпературного накипеобразования ($45^{\circ}C$) и коррозии процессов конструкционных материалов (сталь, медь) в условиях упаривания циркуляционной воды ($K_y=1\div 3$) на стендовой установке (рис. 2).

В процессе работы стендовой установки поддерживается заданный коэффициент упаривания K_y^{Cl} путём регулирования продувки и добавления заданных количеств подпиточной воды, выполняются текущие химические анализы, производится расчет показателей. После 240-360 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 «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС)». При испытаниях на стенде поддерживается заданный ВХР путем дозирования растворов реагентов.

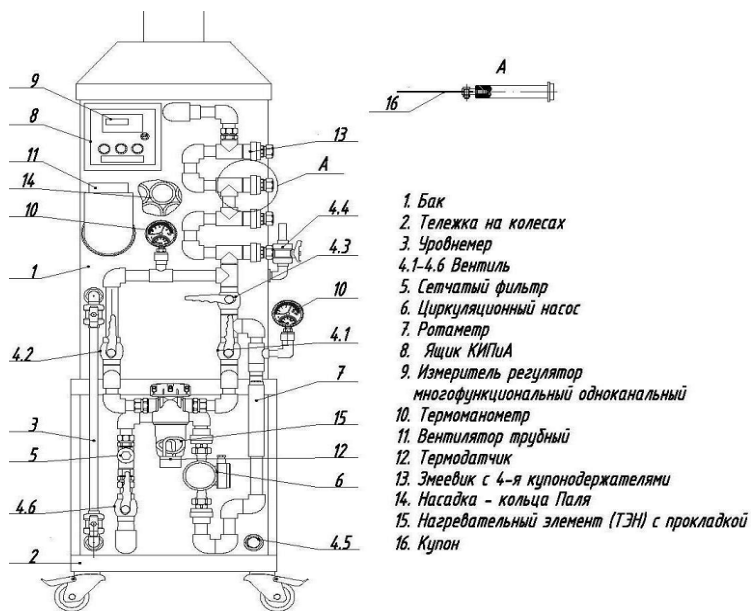


Рис. 2. Схема мобильной стендовой установки для определения скорости коррозии и накипеобразования

Работы по испытаниям корректирующих реагентов проводятся в соответствии с нормативной литературой, в том числе, согласно ГОСТ 9.905-2007 «Методы коррозионных испытаний. Общие требования» и ГОСТ 9.514-99 «Ингибиторы коррозии металлов для водных систем. Электрохимический метод определения защитной способности». Нормы контролируемых параметров представлены в табл. 1.

В качестве добавочной воды при испытаниях на стенде использовалась добавочная вода системы обратного охлаждения

каждой рассматриваемой в работе ТЭС. В качестве дозируемых реагентов применялись штатные (зачастую импортные) и новые отечественные реагенты марки ВТИАМИН.

Таблица 1. **Нормы контролируемых параметров**

Наименование показателя	Норма
1. Транспорт кальция	Не менее 90%
2. Скорость накипеобразования	Не более 0,25 г/(м ² *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

Наряду с отмеченным выше, экспериментальная часть работы включала лабораторные испытания биоцидов, применяемых в настоящее время для обработки циркуляционной воды. Для оценки эффективности биоцида с заданными дозами выполнялся контроль по следующим показателям: бихроматная окисляемость, перманганатная окисляемость, контроль по определению низших форм биообрастаний с применением тестов (общее микробное число – ОМЧ).

В третьей главе представлены результаты испытания стендовой установки и исследования реагентов марки ВТИАМИН на московской воде. Испытания включали шесть этапов (опытов): 1 – без дозирования реагентов, 2 – с дозировкой реагента ВТИАМИН ТС-4 с концентрацией 10 мг/дм³, 3 – с дозировкой реагента ВТИАМИН ТС-6 (10 мг/дм³), 4 – реагента ВТИАМИН ТС-34 (5 мг/дм³), 5 – реагента PuroTech (10 мг/дм³), 6 – реагента PuroTechiChem 1032A(10 мг/дм³). Первые три реагента разработаны ООО «Водные Технологии» (г. Москва), последние два – ООО «ТехноХимРеагент» (Беларусь). Все реагенты представляют сбалансированную смесь ингибиторов коррозии и накипеобразования и предназначены для обработки циркуляционной воды систем оборотного охлаждения. Дополнительно к стендовым, проводились лабораторные исследования эффективности биоцидной обработки московской воды реагентами ВТИАМИН.

Проведение стендовых испытаний без дозирования реагентов показали: при создании условий упаривания воды в системе более чем в два раза показатель общей жесткости оборотной воды увеличился незначительно, жесткость кальциевая практически не изменилась, что соответствует процессу образования и выделения осадка на теплообменном элементе. Последнее обстоятельство убедительно подтверждается снижением показателя «Транспорт кальция» (Т_{Ca}) с 80,9% до 42,3%, что характеризует водный режим, как недопустимый с образованием отложений карбоната кальция. Расчеты интенсивности накипеобразования и скорости коррозии показали существенное

превышение допустимых значений (по образцу из углеродистой стали).

Проведение стендовых испытаний с дозированием органических реагентов показали, что при увеличении удельной электропроводности циркуляционной воды, аналогичном опыту на москворецкой 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 отвечает условиям безнакипного ВХР систем оборотного охлаждения. Скорости коррозии и накипеобразования во всех опытах находятся в допустимых пределах.

Испытание шести биоцидов марки «ВТИАМИН» с дозировками, рекомендуемыми производителем, показали увеличение окисляемости воды в первые сутки после дозирования реагентов с одновременным угнетением роста биообрастаний по ОМЧ, что свидетельствует об эффективности ингибирования. Начало роста биообрастаний отмечено не ранее чем на десятые сутки после прекращения дозирования реагентов.

В четвертой главе отражены результаты опытно-промышленных испытаний (ОПИ) комплексной методики в условиях эксплуатации системы оборотного охлаждения Приуфимской ТЭЦ (ПуТЭЦ) при постановке следующих задач: нахождение оптимальных условий ведения ВХР систем оборотного охлаждения; использование ВХР с применением ингибиторов коррозии медьсодержащих сплавов; увеличение эффективности реагентной обработки с использованием реагента ВТИАМИН.

В испытательный стенд было установлено три латунных и один стальной индикатор на период 24.05.18 – 02.07.18. (39 дней). Индикаторы готовились согласно методике гравиметрического метода определения скорости коррозии по РД 153-34.1-17.465-00. Для ввода ВТИАМИН ТС-5 было оборудовано временное место дозирования (на период ОПИ). Реагенты дозировали в товарном виде без разбавления пропорционально расходу подпиточной воды. Дозы реагентов регулировались по их остаточным концентрациям в циркуляционной воде и с учетом величины транспорта кальция.

Реагент ВТИАМИН ТС-5 представляет собой аналог (по механизму действия) зарубежного - Активос 640 Т, используемого для ведения ВХР системы оборотного охлаждения ПуТЭЦ. В связи с этим схемы ввода и принципы химико-аналитического контроля остались прежними.

На рис. 3 представлено изменение величины Tr_{Ca} во время испытаний. Прямая линия – линейная аппроксимирующая зависимость,

показывающая закономерность изменения величины Tr_{Ca} . Как видно из графика, несмотря на наличие максимальных и минимальных пиков, среднестатистическое значение Tr_{Ca} находится в пределах от 90 до 100%. При этом, значения меньше допустимых 90% приходятся на период стабилизации системы после начала ввода реагента и на период пусковых операций. Рост Tr_{Ca} происходил на фоне постоянного уровня дозирования реагента, что говорит об его эффективном срабатывании в системе оборотного охлаждения.

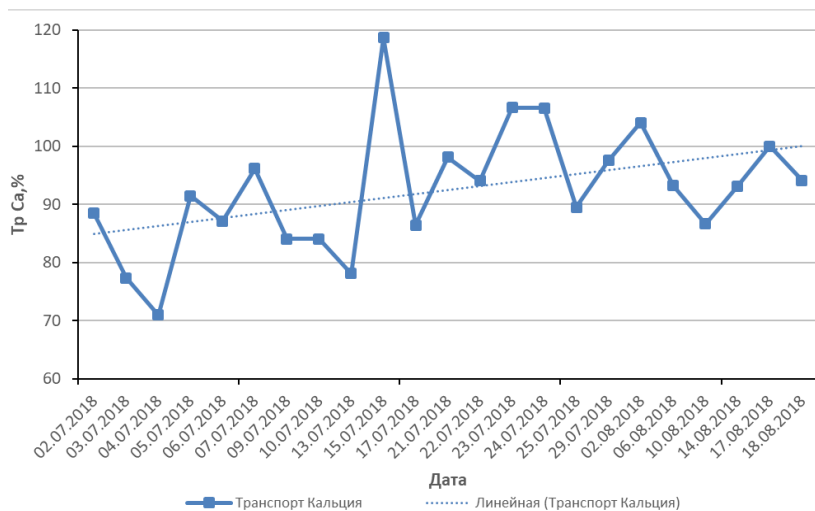


Рис. 3. Зависимость транспорта кальция во время испытаний

Анализ ведения ВХР системы оборотного охлаждения ПуТЭЦ за последние 10 лет показал стабильно высокое содержание соединений меди в циркуляционной воде независимо от качества речной воды, что может говорить об отсутствии противокоррозионной защиты, несмотря на применение соответствующих реагентов для коррекционной обработки системы оборотного охлаждения.

В связи с этим, на следующем этапе ОПИ решались вопросы борьбы с коррозией конструкционных материалов. Достижение результата по снижению содержания меди в водах системы оборотного охлаждения планировалось получить за счет применения ингибитора коррозии медьсодержащих сплавов. Использование этого реагента при постоянном дозировании во время работы оборудования предполагает торможение локального растворения меди за счет образования комплексов с бензотриазолом. Вещества на основе азолов могут

действовать также и по принципу образования плотной защитной пленки. В период ОПИ исследовался вариант защиты оборудования с постоянным минимально допустимым уровнем избытка реагента в системе. Начало стабильного периода антикоррозионной защиты можно считать с 18.07.18 г. (когда была восстановлена работа насоса-дозатора ВТИАМИН ЗС-6) по 05.08.18 г. (когда начались переключения). На рис. 4, 5 представлена динамика изменений содержания меди, избытка ВТИАМИН ЗС-6 за период наладки и стабильной работы.

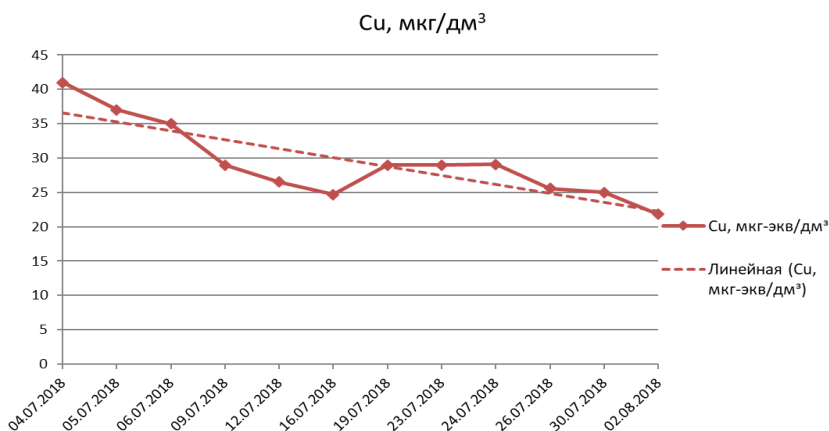


Рис. 4. Изменение содержания меди в циркуляционной воде в период опытно-промышленных испытаний ВТИАМИН ЗС-6, мг/дм³

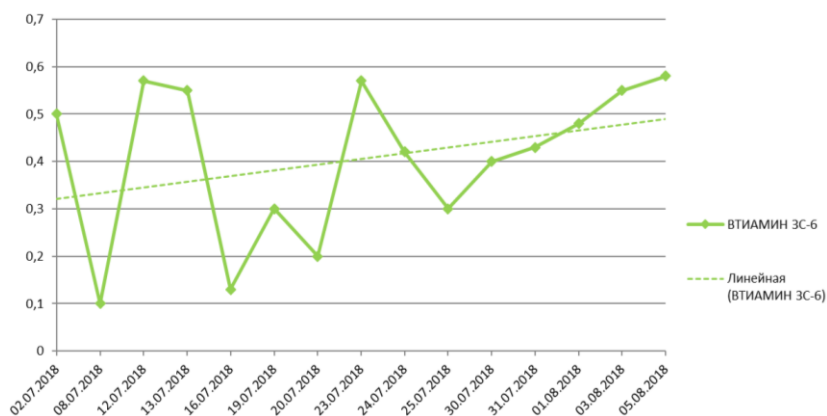


Рис. 5. Изменение концентрации реагента ВТИАМИН ЗС-6 в период опытно-промышленных испытаний

С повышением концентрации реагента, количество меди в циркуляционной воде падает. Этот процесс происходит на фоне неизменной дозировки реагента ($5 \div 5,7$ г/т) при практически постоянном коэффициенте упаривания 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 19.06.18 г. связано с переборами дозирования ингибитора.

За период стабильной работы избыток ВТИАМИН ЗС-6 достиг уровня $0,64$ мг/дм³. При этом доза реагента оставалась неизменной, что свидетельствует о насыщении системы и замедлении скорости срабатывания реагента. С этого времени целесообразным было снижение его дозировки.

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

На рис. 6 приведены сравнительные данные по скорости коррозии без протока (имитация простоя) и в протоке (как во время работы), где наблюдается высокая скорость стояночной коррозии и подтверждается необходимость консервации оборудования на период простоя.

Наряду с оценкой интенсивности отложений и скорости коррозии латунных сплавов конденсаторов паровых турбин, согласно комплексной методике испытаний проводилась оценка степени бактериального (биологического) обрастания конструктивных элементов системы оборотного охлаждения ПТЭЦ и испытание биоцидной обработки циркуляционной воды.



Рис. 6. Скорость коррозии в протоке и при простое

Проведенные промышленные испытания показали эффективность комплексной методике оценки состояния ВХР систем оборотного

охлаждения. Было установлено, что реагент ВТИАМИН ТС-5 проявил высокую антинакипную эффективность (во время проведения ОПИ транспорт кальция, поддерживался на уровне не ниже 90%). Реагент ВТИАМИН ЗС-6 обеспечивает достаточную защиту от коррозии медьсодержащих сплавов во время работы оборудования в концентрациях 5,5 г/т (доза насыщения) – 2,5 г/т (поддерживающая доза). При продолжительном применении реагента и достаточной наработанной защитной пленки возможно снижение дозы реагента.

В пятой главе представлены результаты промышленных исследований водно-химического режима систем оборотного охлаждения ТЭС на основе применения реагентов семейства ВТИАМИН. Исследования проводились на ряде электростанций России, отличающихся качеством добавочной воды, степенью упаривания циркуляционной воды, требованиями к утилизации сбросных вод, составом оборудования и тепловым режимом оборотных систем.

Так, система оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 предназначена для бесперебойного снабжения охлаждающей водой конденсаторов паровых турбин и вспомогательного оборудования двух блоков ПГУ-450 МВт. На ТЭЦ применяется коррекционная обработка с добавлением серной кислоты для подкисления и снижения щелочности подпиточной и циркуляционной воды, а также дозированием оксиэтилидендифосфоновой кислоты (ОЭДФК) для предотвращения образования накипных отложений. Среднее значение коэффициента транспорта кальция в 2017-2018 гг. составило 81 %. При этом минимальные значения транспорта кальция составляли (46÷53) %, т.е. (47÷54) % карбонатных солей из объема воды переходили в отложения на теплообменном оборудовании. Визуальный осмотр образцов-свидетелей из углеродистой стали (Ст. 20) после экспозиции в системе оборотного охлаждения Калининградской ТЭЦ-2 показал значительные коррозионные поражения образцов. На образцах присутствовали плотные отложения продуктов коррозии, занимавшие до 80 % поверхности, а также отложения механических примесей и шлама. Отбор проб для определения биологической загрязненности циркуляционной воды показал присутствие дрожжей и грибов на уровне 103 КОЕ/мл, что является недопустимым.

Исследование эффективности реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» по снижению скорости коррозионных процессов и предотвращению процессов накипеобразования проводилось в условиях работы стендовой установки с использованием реальной подпиточной (речной) воды. ОПИ проводились в четыре этапа. На Этапе испытаний

№1 добавление реагента в емкость не проводилось, на Этапах №2 и №3 реагент дозировался со средней дозировкой 8 и 25 мг/дм³ на объем добавляемой в стенд подпиточной воды. На Этапе №4 подбирались оптимальная дозировка реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» для обеспечения наилучшего технического и экономического эффекта, реагент дозировался периодически. На рис. 7 представлен график изменения кальциевой жесткости в циркуляционной и подпиточной воде.

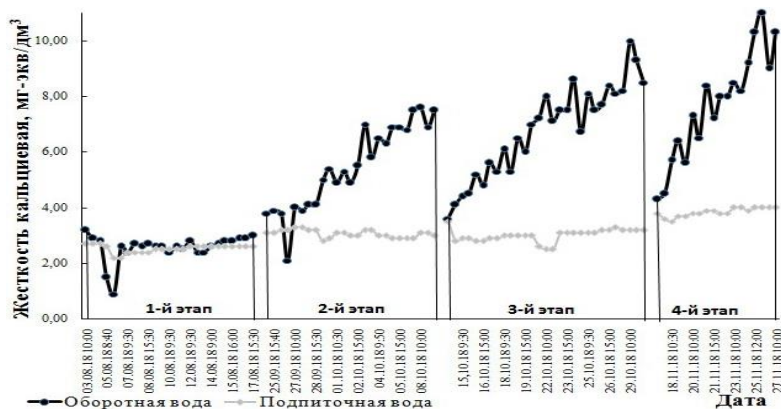


Рис. 7. График изменения кальциевой жесткости циркуляционной и подпиточной воды во время стендовых испытаний

Из рис. 7 видно, что на Этапе №1 в отсутствие реагентной обработки значения кальциевой жесткости циркуляционной воды при упаривании практически равны значениям кальциевой жесткости в подпиточной воде. Таким образом, циркуляционная вода обладает интенсивными накипеобразующими свойствами, протекают процессы отложения солей. На Этапах №2, №3 и №4 наблюдаются значительные отличия кальциевой жесткости в циркуляционной и подпиточной воде, схожие с изменением содержания хлоридов на данных этапах. Это связано с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1», который препятствует отложению солей (накипи) на нагревательном элементе установки, в результате чего основной объем кальция продолжит циркулировать в циркуляционной воде.

На Этапе №1 среднее значение коэффициента транспорта кальция составило 44,87 %, то есть в среднем, 57,13 % карбонатных солей выпали в виде отложений на теплонагревающей поверхности. На Этапе №2 при применении реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 8 мг/дм³ среднее значение коэффициента транспорта кальция составило 85,29 %, на Этапе №3 - 103,73 %, т.е. основной объем карбонат-ионов оставался в воде. При этом на Этапе №3 при больших

дозировках реагента происходило образование фосфатных отложений на ТЭНе. Поэтому на Этапе №4 реагент «ВТИАМИН ЭКО-1» дозировался периодически, в зависимости от содержания органических фосфатов в циркуляционной воде. В результате этого на Этапе №4 удалось получить значение коэффициента транспорта кальция на уровне 95 % и практически полное отсутствие отложений на ТЭНе. Для оценки коррозионной агрессивности циркуляционной воды, циркулирующей в стендовой установке, применялся гравиметрический метод контроля. В табл. 2 представлены результаты расчета скорости коррозии.

Таблица 2. Скорость коррозии образцов в период ОПИ (мм/год)

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.		
Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Ст. 20	Латунь
0,243	0,138	0,023	0,132	0,002	0,019	0,008	0,0112	0,003	0,013	0,089	0,016

Визуальный осмотр образцов-свидетелей из углеродистой стали (Ст. 20) после завершения Этапа №1 без реагентной обработки показал значительные коррозионные повреждения образцов. 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 коррозионных поражений не было. После завершения Этапа №2 с применением реагента «ВТИАМИН ЭКО-1» в дозировке 8 мг/дм³ визуальный осмотр показал незначительные коррозионные повреждения образцов, в результате проведения Этапов №3 и 4 явных коррозионных поражений образцов выявлено не было. На Этапе №4 средняя скорость коррозии по двум образцам из углеродистой стали не превысила нормативное значение (0,1 мм/год) и составила 0,0517 мм/год. Таким образом, установлено, что на рекомендованном Этапе №4 для условий работы Калининградской ТЭЦ-2 удалось снизить скорость коррозии углеродистой стали в 3,7 раза (по сравнению с этапом №1), а скорость коррозии латуни снизилась в 1,42 раза.

В результате исследований на Салаватской ТЭЦ ООО «БГК» была осуществлена замена режима стабилизационной обработки воды оборотного цикла импортными реагентами KURITA на отечественные реагенты 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.

Для оценки эффективности обработки реагентом ВТИАМИН системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ автором был произведен технико-экономический расчет показателей паротурбинной установки. В результате введения ингибитора отложений ВТИАМИН ТС-5 увеличился вакуум в конденсаторе в среднем на 0,29%, абсолютное давление в конденсаторе при этом уменьшилось на 0,0026 ата. Температурный напор, который является важнейшей характеристикой эффективности работы конденсатора, в среднем уменьшился на 4,2°C. Расчетное увеличение мощности турбогенератора в результате уменьшения абсолютного давления в конденсаторе составляет в среднем 700 кВт. Осмотр трубной системы конденсатора паровой турбины в феврале 2019 года подтверждает эффективность применяемого ВХР системы оборотного охлаждения Салаватской ТЭЦ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

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 москворецкой 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 конструкционных элементов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из списка ВАК МИНОБРНАУКИ России

1. **Козловский, В.В.** Методика исследования состояния водного режима системы оборотного охлаждения на ТЭС / В.В. Козловский, А.Б. Ларин // Вестник ИГЭУ, 2019, вып. 3. С.14-21.
2. 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, вып. 4. С.14-22.
3. Кирилина, А.В. Разработка водного режима системы оборотного охлаждения 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.
4. **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. №2, С.86-92.

В патентах на изобретения

5. Патент на изобретение РФ №2693243, СПК С23F 11/167 (2019.05); С23F 14/02 (2019.05). Ингибитор коррозии и накипеобразования для обработки воды теплосетей и других теплофикационных систем / С.Ю. Суслов, В.И. Козловский, **В.В. Козловский**, заявл. №2019103540, 07.02.2019.
6. 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 / Е.Ф. Нартя, В.И. Козловский, **В.В. Козловский**, заявл. №2019120629, 02.07.2019.
7. Патент на изобретение РФ №2725925, СПКС23F 11/14 (2020.02). Способ защиты от коррозии конденсаторов паровых турбин /А.В. Кирилина, **В.В. Козловский**, Н.Ф. Галимова, Ю.В. Улановская, Е.Ф. Нартя, И.Р. Исхаков, заявл. №2019132272, 11.10.2019.

Прочие публикации

8. Ларин, А.Б. Проблемы организации водно-химического режима систем оборотного охлаждения на ТЭС / 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.168-171.
9. 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.
10. **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.
11. Кирилина, А.В. Применение реагента ВТИАМИН КР-33 для ведения водно-химического режима на ТЭС/ А.В. Кирилина, С.Ю. Сулов, **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.
12. Нартя, Е.Ф. Опыт применения аминных водно-химических режимов на ТЭЦ среднего давления / Е.Ф. Нартя, А.В. Кирилина, С.Ю. Сулов, **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.
13. **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.
14. Зидиханова, А.А. Проведение опытно-промышленных испытаний по применению комплексного реагента для обработки сетевой воды контура теплофикационной установки Уфимской ТЭЦ-2 / А.А. Зидиханова, **В.В. Козловский**, Е.Ф. Нартя, А.В. Кирилина, С.Ю. Сулов // Матер. V науч.-практ. конф. «Теоретические и практические вопросы применения приборов контроля ВХР в энергетике». – г. Н. Новгород, ООО «ВЗОР», 2019. С. 33-34.
15. Ларин, Б.М. Состояние технологии обработки воды на тепловых электростанциях / Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, **В.В. Козловский** // Сб. докл. VII междунар. науч.-техн. конф. «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС: цели и задачи». – М.: ОАО «ВТИ», 2020. С. 93-99.
16. **Козловский, В.В.** Применение реагента «ВТИАМИН ТС-5» в системах оборотного охлаждения ТЭС / В.В. Козловский, А.В. Чельшева, А.Б. Ларин // Матер. XV всеросс. (VII междунар.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия – 2020». – Иваново: ИГЭУ, 2020. С. 70.

Козловский Владислав Вадимович
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА
СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС НА ОСНОВЕ РЕАГЕНТОВ ВТИАМИН

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать __. __. 2021 г. Формат 60x84^{1/16} Печать плоская. Усл. Печ. л. 1, 16.

Тираж 100 экз. Заказ № ____.

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34. Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ